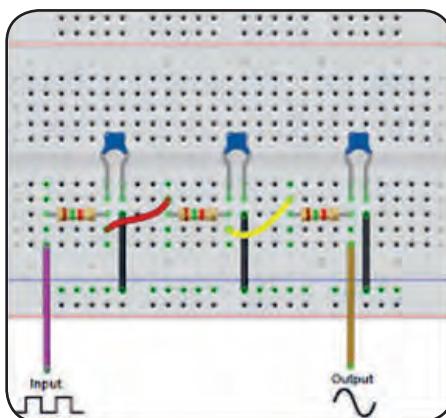


پودمان سوم

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

۱-۹- مقاومت در جریان متناوب

تنها شامل اندوکتانس باشد، مقدار جریان به نیروی ضد محركه ایجاد شده بستگی دارد، که با عبور جریان مخالفت می‌کند. اما چون نیروی ضدمحركه (Cemf) بر حسب ولت بیان می‌شود، نمی‌توان آن را به جای اهم قرار داد و جریان را به دست آورد.

لذا تأثیر نیروی ضدمحركه بر مدار را می‌توان بر حسب اهم به دست آورد. این اثر را مقاومت القایی می‌گویند و با X_L نمایش می‌دهند.

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

$$X_L = 2\pi f L \quad \text{يعني:}$$

در رابطه فوق، X_L مقاومت القایی بر حسب اهم، $2\pi f L$ ثابت و برابر $6/28$ و f فرکانس جریان بر حسب هرتز و L اندوکتانس بر حسب هانزی است که در رابطه قرار می‌گیرد. با توجه به رابطه ياد شده هرچه فرکانس يا اندوکتانس بيشتر باشد مقاومت القایی بيشتر و هرچه فرکانس كمتر باشد، مقدار مقاومت القایی كمتر خواهد بود.

از طرفی $2\pi f L$ همان سرعت زاویه‌ای (ω) است که سرعت تغییرات جریان را نمایش می‌دهد و بر حسب رادیان بر ثانیه بیان می‌شود. هرقدر جریان با سرعت بیشتری تغییر کند، افت ولتاژ القایی در دوسر سلف نیز زيادتر خواهد شد. بنابراین با توجه به قانون اهم می‌توان رابطه زير را نوشت:

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

رفتار مقاومت در جریان متناوب با رفتار آن در جریان DC تفاوتی نمی‌کند. همانطور که در درس عرضه تخصصی قطعات الکتریکی و الکترونیکی فراگرفتید، مقاومت‌ها ارزشی الکتریکی را به صورت توان مفید (مؤثر) تلف می‌کنند، فقط باید توجه داشته باشید که هنگام محاسبه توان در جریان متناوب، از مقدار موثر جریان و ولتاژ استفاده کنید. مقدار جریان و ولتاژ در مقاومت‌ها برای جریان متناوب براساس قانون اهم محاسبه می‌شود.

۲-۹- بوبین در جریان متناوب

برخلاف مدارهای DC که در آنها جریان فقط هنگام باز و بسته شدن مدار تغییر می‌کند، در مدارهای AC جریان به صورت بی‌دریی تغییر می‌کند. لذا اندوکتانس اثری دائمی بر کار مدار می‌گذارد. یعنی از لحظه بسته شدن مدار تا لحظه قطع مدار اندوکتانس بر عملکرد مدار تأثیر دارد. بوبین‌ها معمولاً ایده‌آل نیستند. لذا هر بوبین در مدار AC علاوه بر خاصیت القایی از خاصیت اهمی نیز برخوردار است.

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

۳-۹- مقاومت القایی

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

۹-۴- اتصال موازی

برای دستیابی به اندوکتانس مناسب اغلب مجبور به بینندها را به صورت سری یا موازی بیندیم. در چنین مواردی بدون درنظر گرفتن اثر میدان‌ها بر یکدیگر، اندوکتانس کل عیناً شبیه مقاومت معادل در مدارهای سری و موازی به دست می‌آید.

الف - اتصال سری بینندها : با اتصال بی‌دریپی (متوالی) بینندها، اندوکتانس کل برابر مجموع تک تک اندوکتانس‌های موجود در مدار است که از رابطه زیر بدست می‌آید :

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

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

$$L_T = nL$$

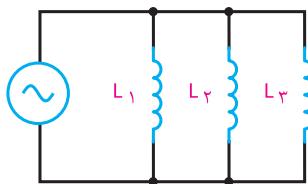
ب - اتصال موازی بینندها : در اتصال موازی بینندها اندوکتانس کل از رابطه زیر به دست می‌آید :

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

در صورت مساوی بودن بینندها اندوکتانس کل برای n بیننده برابر است با :

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

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



شکل ۹-۲- اتصال موازی بینندها

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

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

مدار موازی :

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

نکته

در هر یک از اتصالات سری یا موازی بینندها مقاومت

القایی کل را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد :

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

مثال ۱: سه بیننده با اندوکتانس‌های ۱۵، ۶ و ۱۰ میلی‌هانزی 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 :

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3$$

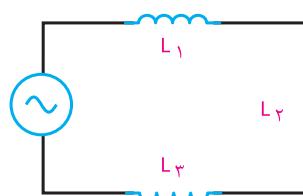
$$L_T = 15 + 6 + 10 = 31 \text{ mH}$$

۲- اتصال موازی :

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} = \frac{1}{15} + \frac{1}{6} + \frac{1}{10}$$

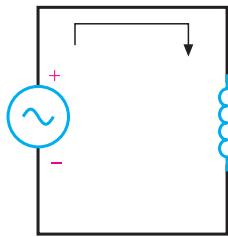
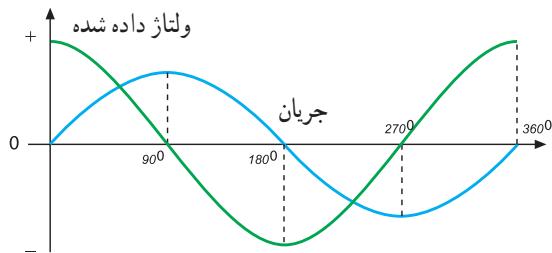
$$\frac{1}{L_T} = \frac{2+5+3}{30} = \frac{10}{30} (\text{mH})$$

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



شکل ۹-۱- اتصال سری بینندها

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



شکل ۹-۳- اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ

در برابر خالص (بدون مقاومت اهمی)

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 مجدور جریان عبوری از سیم پیچ بستگی دارد و از رابطه زیر محاسبه می شود :

$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

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

مثال ۲ : از یک سیم پیچ با ضریب خود القایی ۳ هانری، جریان مستقیم برابر 6 آمپر می گذرد. هنگام قطع این سیم پیچ چقدر انرژی آزاد می شود؟

$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

$$W = \frac{1}{2} \times 3 \times (6)^2 = \frac{3 \times 36}{2} = 54 \text{ ج} = 5 / 4 \text{ کج}$$

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.

۸- القاء متقابل

هرگاه دو سیم پیچ طوری در تزدیکی یکدیگر قرار گیرند که خطوط قوای تولید شده توسط یکی از حلقه ها، سیم پیچ دیگر 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 با هم ندارند، به این عمل القاء متقابل می گویند. مقدار ولتاژ القایی ناشی از القاء متقابل بین دو برابر بستگی به وضع قرار گرفتن آنها نسبت به یکدیگر و تعداد خطوط قوای ارتباطی بین دو برابر دارد.

مفهوم تزویج کامل (سفت) و ناقص (سست) را باید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.



پژوهش

۹- منحنی تغییرات جریان و ولتاژ برابر 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 محركه و تأخیر ایجاد شده توسط اندوکتانس در جریان، بین ولتاژ داده شده و جریان عبوری از آن اختلاف فاز ایجاد می کند.

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

فیلم



نرم افزار



فیلم مقاومت و سیم پیچ در جریان متناوب را بینید.

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

۷ دو بین با ضرب خودالقاء 100 میلیهانزی را یک بار به طور سری و بار دیگر به طور موازی به هم وصل می کنیم. ضرب خودالقایی کل را در هر دو حالت محاسبه کنید. (جواب : 200 و 50 میلیهانزی)

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

۹ چهار بین با ضرب خودالقاء 50 ، 100 و 250 میلیهانزی را یکبار سری و یکبار موازی بینندید. ضرب خودالقاء کل را در هر حالت به دست آورید.

(جواب : 200 و 9 میلیهانزی)

۱۰ از یک بین با ضرب خودالقایی $mH = 10 \text{ جریان متناوبی}$ با فرکانس 50 هرتز عبور می کند. مقاومت القایی بین چند اهم است؟ اگر فرکانس به 1 کیلو هرتز تغییر یابد، مقاومت القایی بین را محاسبه کنید. (جواب : $62/8$ و $3/14$)

الگوی پرسش (ارزشیابی و احديادگيري 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 بین را با رسم نمودار شرح دهید.

واحدیادگیری ۱۰

خازن در جریان متناوب

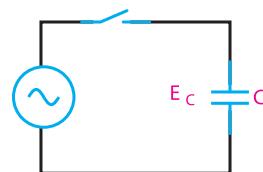
۱۰-۱- مدارهای جریان متناوب خازنی

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_4 تا T_5) 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 آمپرتری 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.

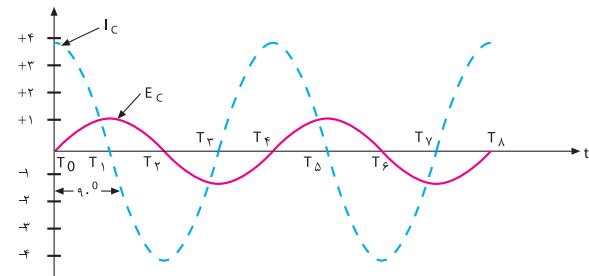


نتیجه

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 ۲-۱- منحنی تغییرات ولتاژ نسبت به

جریان عبوری از خازن

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

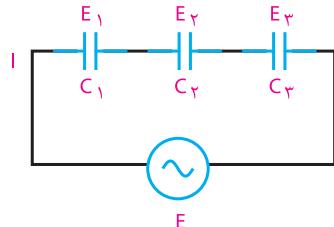
مخالفت خازن در مقابل جاری شدن جریان را عکس‌العمل (راکتانس) خازنی یا مقاومت خازنی می‌گویند و آن را با X_C نمایش می‌دهند.

۲-۱- عوامل مؤثر بر عکس‌العمل خازنی
عوامل مؤثر در عکس‌العمل (مقاومت) خازنی فرکانس و ظرفیت خازنی است.

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

$$IX_{ct} = IX_{c1} + IX_{c2} + IX_{c3}$$

$$X_{ct} = X_{c1} + X_{c2} + X_{c3}$$



شکل ۳-۱۰- اتصال سری خازنها

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

ب - اتصال موازی خازنها :

مدار شکل ۴-۱۰ اتصال چند خازن موازی را نشان می‌دهد. با موازی بستن خازن‌ها ظرفیت کل افزایش می‌باید، زیرا سطوح صفحات افزایش یافته است.
برای محاسبه مقاومت معادل چند خازن موازی با استفاده از قانون جریان‌های کیرشهف می‌گوییم که شدت جریان کل از جمع شدت جریان‌های شاخه‌های موازی بدست می‌آید،

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

$I = \frac{E}{X_c}$ به علاوه، طبق قانون اهم می‌دانیم که:
همچنین می‌دانیم که در مدار موازی، ولتاژ برای همه شاخه‌ها 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 و باستگی معکوس دارد، یعنی با افزایش فرکانس عکس العمل خازنی کاهش و با کاهش فرکانس عکس العمل خازنی افزایش می‌باید.
عکس العمل خازنی با اندازه ظرفیت خازنی نیز وابستگی معکوس دارد، یعنی اگر فقط ظرفیت خازن زیاد شود، جریان بیشتری از مدار می‌گذرد و اجازه شارژ بیشتری را می‌دهد. در نتیجه، عکس العمل خازنی کاهش می‌باید و بر عکس، با کم شدن ظرفیت خازن عکس العمل خازنی زیاد می‌شود.

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

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

عکس العمل خازنی (X_C) با نام‌های راکتانس خازنی و کاپاسیتیو نیز بیان می‌شود.

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

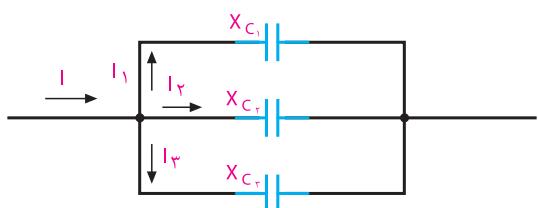
$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 1000 \times 10^{-6}} = 1600\text{ }\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{6/28} = 15.92\text{ K}\Omega$$

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

با استفاده از قانون اهم می‌دانیم که به طور کلی:

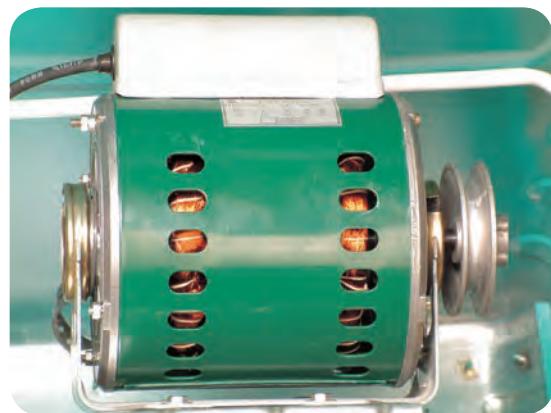
$$E = IX_C \Rightarrow \text{ مقاومت} \times \text{جریان} = \text{ولتاژ}$$



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 ۱۰-۵-۱- موتور الکتریکی تک فاز

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

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

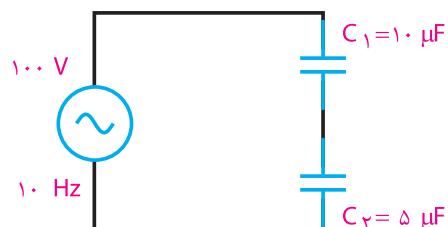


نکته

در مورد نقش خازن در راه اندازی در موتور الکتریکی
تک فاز شکل ۱۰-۵-۲ تحقیق کرده و نتیجه را در کلاس
ارائه دهید.



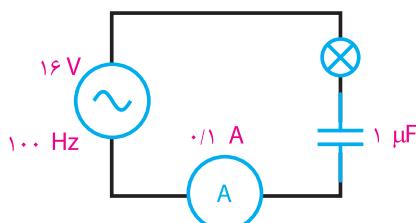
پژوهش



شکل ۸-۱۰- مدار سؤال ۷

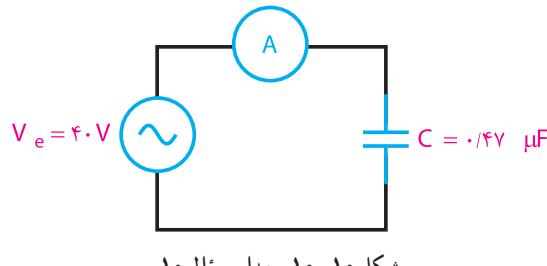
- ۱** افت ولتاژ دوسری یک خازن $10 \mu\text{F}$ در فرکانس 1 kHz برابر 5 ولت است. شدت جریان عبوری از خازن چقدر است؟
(جواب : 0.0629 A)

- ۲** 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

- ۳** در مدار شکل ۱۰-۱۰ آمپر متر 100 mA میلی آمپر مؤثر را نشان می دهد. فرکانس منع چقدر است?
(جواب : $F=847 \text{ Hz}$)



شکل ۱۰-۱۰- مدار سؤال ۱۰

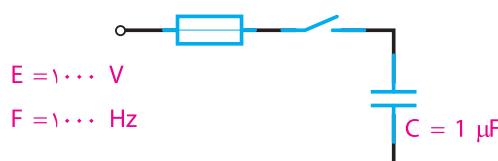
- ۴** در مدار شکل ۱۱-۱۰ X_{C1} معادل چند اهم است؟ اگر C_2 دوبرابر شود، X_{C2} چقدر می شود؟ چنانچه فرکانس

الگوی پرسش (ارزشیابی و احديادگيري ۱۰ از فصل سوم) :

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

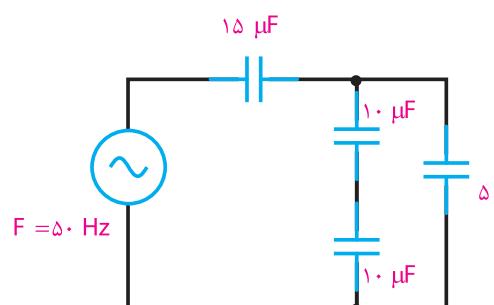
- ۴** رابطه X_C و واحد آن را بنویسید.
۵ در مدار شکل ۶-۱۰ با ستن کلید چه اتفاقی می افتد؟
(جواب : فیوز عمل می کند)

۴ آمیر



شکل ۶-۱۰- مدار سؤال ۵

- ۶** در مدار شکل ۷-۱۰ مقدار X_C کل چقدر است?
(جواب : 53°)



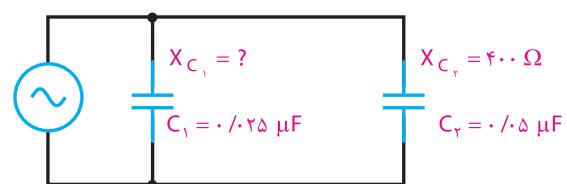
شکل ۷-۱۰- مدار سؤال ۶

- ۷** در مدار شکل ۸-۱۰ صفحات کدام خازن بالاترین مقدار بار را دارد؟ ولتاژ دوسر خازن چقدر است؟
(جواب : هر دو خازن در یک لحظه دارای بار ذخیره ای برابرند) $\frac{100}{3} \text{ V}, \frac{200}{3} \text{ V}$

مدار کم شود، X_{C_1} (افزایش - کاهش) می‌بادد.

(جواب: ۲۰۰، ۸۰۰۰، افزایش)

راهنمایی: از تناسب استفاده کنید.



شکل ۱۱-۱۱- مدار سؤال ۱۱

ارزشیابی شایستگی پودمان ۳ : مدارهای الکتریکی AC

		سال تحصیلی : ۱۳۹۶-۹۷		پایه : دهم	رشته تحصیلی : الکترونیک		
		کد کتاب : ۲۱۰۲۷۵		کد درس :	کد رشته : ۷۱۴۱۰		
نمره	شاخص تحقیق			استاندارد عملکرد	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)	عنوان پودمان	
۳	اجرای همه بندها و طرح مسائل سری و موازی خازن و سلف و حل آنها	بالاتر از حد انتظار	نتایج ممکن	۱- تعاریف و مفاهیم سلف و خازن در جریان AC	۱- سلف در جریان AC	پودمان ۳ : مدارهای الکتریکی AC	
۲	اجرای بند ۲ و ۳	در حد انتظار		۲- اتصال سری و موازی بویین ها			
۱	اجرای بند ۱	پایین تر از حد انتظار		۳- اتصال سری و موازی خازن ها	۲- خازن در جریان AC		
نمره مستمر از ۵							
نمره شایستگی پودمان							
نمره پودمان از ۲۰							
<ul style="list-style-type: none"> - نمره شایستگی پودمان منحصرأً شامل نمرات ۱، ۲، ۳ است. - زمانی هنرجو شایستگی کسب می کند که در ارزشیابی پودمان حداقل نمره شایستگی ۲ را اخذ کند. - حداقل نمره قبولی پودمان ۱۲ از ۲۰ است. - نمره کلی درس زمانی لحاظ می شود که هنرجو در کلیه پودمان ها، شایستگی مورد نیاز را کسب نماید. 							



پودهان 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



واحدیادگیری ۱۱

انرژی و توان

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 ۱ ولت، شدت جریانی معادل ۱ آمپر در مدار برقرار شود، توان مصرف شده در مدار برابر با ۱ وات است. واحد توان به احترام جیمزوات بر حسب وات(W) نام‌گذاری 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 «اسب‌بخار» (horse power=hp) نیز بیان می‌کنند. این واحد در سیستم انگلیسی و آمریکایی به صورت زیر تعریف شده است.

$1\text{ hp} = 736\text{ w}$ (یک اسب بخار در سیستم انگلیسی)

$1\text{ hp} = 746\text{ w}$ (یک اسب بخار در سیستم امریکایی)



پژوهش

در مرور اسب‌بخار پژوهش کنید و بررسی نمایید، چرا این واژه وارد مبحث الکتریسیته شده است.

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

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) قرار داده 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 یکبار به جای q و یکبار به جای V معادل آنها را قرار می‌دهیم.

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

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

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

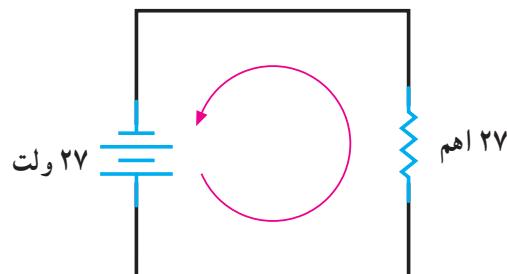
در این رابطه واحدهای کمیت‌ها به صورت زیر قرار داده می‌شود: ثانیه \times آمپر \times ولت = ژول

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

۱۱-۲ توان الکتریکی (Electrical Power)

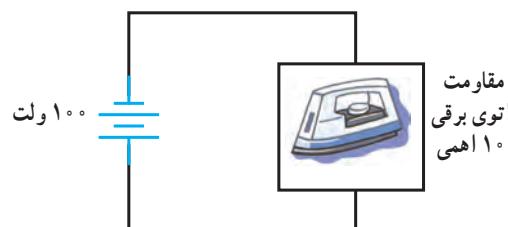
مقدار کار انجام شده در واحد زمان را «توان» یا «قدرت»

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



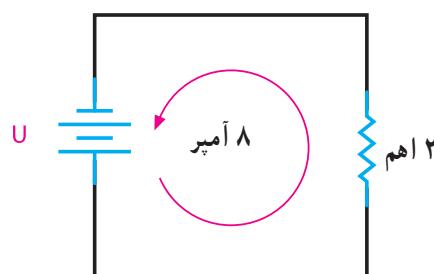
شکل ۱۱-۲- مدار تمرین

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

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 می‌توان سایر مشخصات آن، مانند مقاومت (R) و جریان (I) آن را حساب کرد.

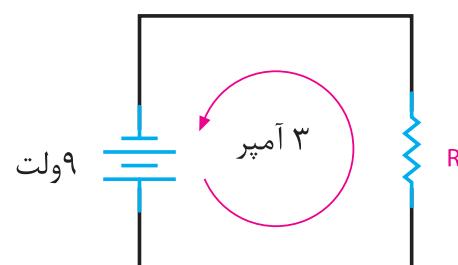
■ معادلات توان

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

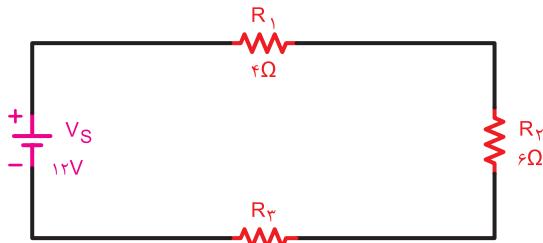


$$R = \frac{U}{I} = \frac{9}{3} = 3\Omega$$

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

شکل ۱۱-۱- مدار مثال ۱

مثال ۳: در مدار شکل ۱۱-۶ توان مصرفی مقاومت‌های R_1 و R_2 را بدست آورید.



شکل ۱۱-۶-مدار مثال ۳

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

$$I_t = \frac{V_t}{R_t} = \frac{12}{22} = 0.54 \text{ A} \quad P_1 = R_1 \times I^2$$

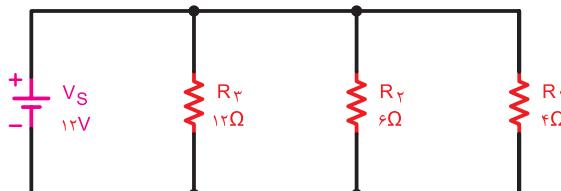
$$P_1 = 4 \times (0.54)^2 = 1.16 \text{ W}$$

$$P_2 = 6 \times (0.54)^2 = 1.75 \text{ W}$$

$$P_3 = 12 \times (0.54)^2 = 3.5 \text{ W}$$

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

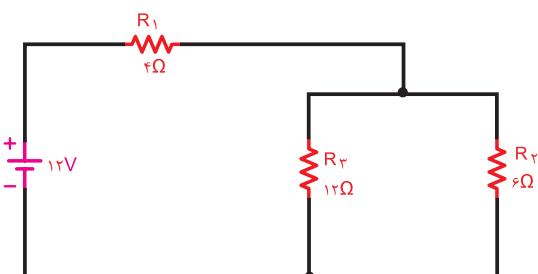
تمرین: توان مصرفی هریک از مقاومت‌ها و توان کل مدار شکل ۱۱-۷ را محاسبه کنید.



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 ۲۲° ولتی به مدت ۲۰ دقیقه کار می‌کند، را حساب کنید.

حل :

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

$$P = V \times I \rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{736}{22} = 33.45 \text{ A}$$

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

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



شکل ۱۱-۵

توان مصرفی کل یک مدار الکتریکی که از چند جزء تشکیل شده است از حاصل جمع توان‌های تک‌تک عناصر مدار بدست 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 I ، V و R معلوم باشد تا به توان یکی از روابط P را به کار برد. 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 :

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

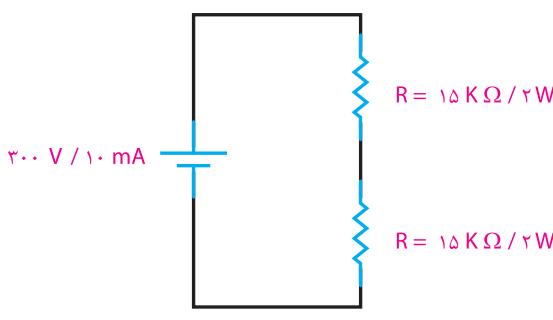
حل :

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

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

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

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 پیش‌نمی‌آید.



شکل ۱۱-۱۲- مدار اصلاح شده مثال ۴

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

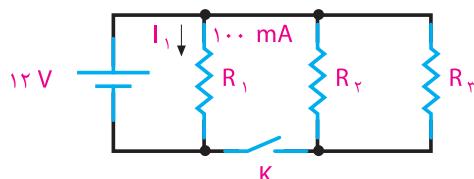
تمرین: روی لامپی مقادیر $20V / 20W$ و $30V / 30W$ به چشم می‌خورد. شدت جریان و مقاومت آنرا محاسبه کنید. در صورت کاهش ولتاژ به میزان $18V$ ولت، شدت جریان و توان مصرفی توسط لامپ چقدر می‌شود؟

۳-۱۱- 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

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.

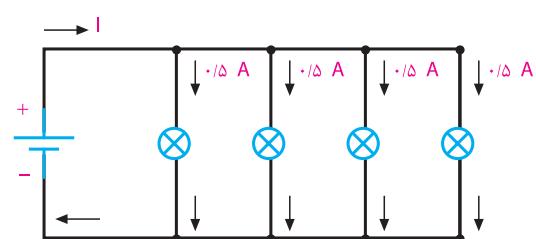


شکل ۱۱-۹- شکل مدار تمرین

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

تمرین: برای تغذیه لامپ‌های مشابه شکل ۱۱-۱ که

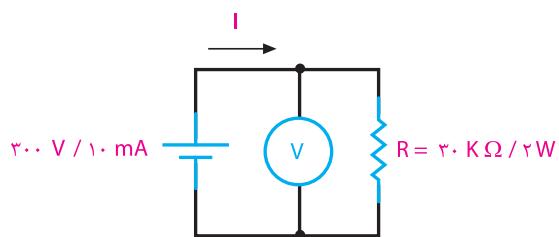
به طور موازی بسته شده‌اند، چه توانی از منبع به لامپ‌ها منتقل می‌شود؟



شکل ۱۱-۱

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

(P₁) و توان خروجی را با (P₂) و ضریب بهره را با (η) اتا 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؟

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

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

وات = P₁ = قدرت ورودی

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

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

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

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



شکل ۱۱-۱۴—مولد جریان متناوب

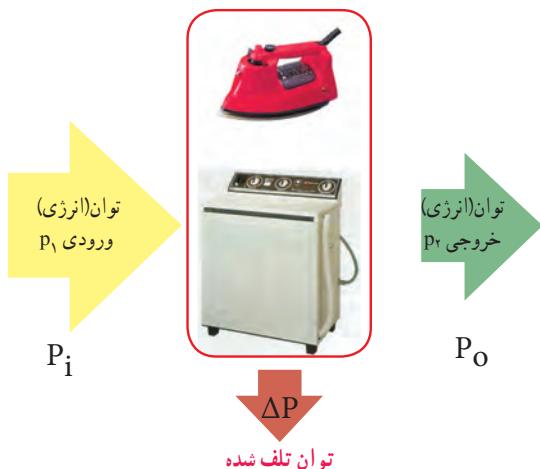
که مورد نظر ما نیست. این انرژی را «انرژی تلف شده» می‌نامند. مثلاً در یک موتور الکتریکی که انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود، بخشی از انرژی الکتریکی موتور به صورت‌های زیر تلف می‌شود :

الف – اصطکاک قسمت‌های مکانیکی گردنه

ب – حرارت در سیم‌های حامل جریان

پ – حرارت در سیم پیچی و هسته

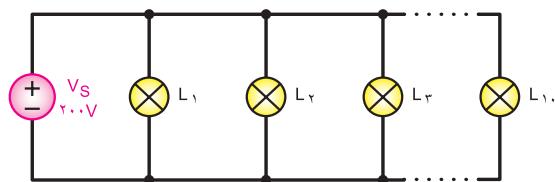
در عمل تمام انرژی الکتریکی دریافتی از شبکه به انرژی مکانیکی تبدیل نخواهد شد. با توجه به توضیحات بالا می‌توان نتیجه گرفت که انرژی یا توان داده شده به هر وسیله‌ای از انرژی یا توان دریافت شده از آن بیشتر است. از طرف دیگر مقدار توان تلف شده در همه دستگاه‌ها یکسان نیست. لذا لازم است تا با عاملی میزان کارآئی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



شکل ۱۱-۱۳—وضعیت مصرف کننده‌ها از نظر توان

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

مثال ۶: اگر ده لامپ ۱۰۰ واتی طبق شکل ۱۱-۱۶ به مدت ۲ ساعت روشن باشد، هزینه برق مصرفی آنها چقدر است؟ قیمت هر کیلووات ساعت برق مصرفی را ۵۰ ریال در نظر بگیرید.



شکل ۱۱-۱۶- مدار مثال ۶

حل :

$$\begin{aligned} P &= 10 \times 100 = 1000 \text{ W} = 1 \text{ Kw} \\ t &= 2 \text{ h} \\ W &= P \times t = 1 \times 2 = 2 \text{ KWh} \\ C_T &= C \times W = 50 \times 2 = 100 \text{ Rial} \end{aligned}$$

مثال ۷: اگر به جای ۱۰ لامپ رشتہ‌ای ۱۰۰ وات مثال ۶، از ۱۰ لامپ LED که توان هر لامپ ۱۰ وات است استفاده کنیم، هزینه برق مصرفی را محاسبه کنید.

$$\begin{aligned} P &= 10 \times 10 = 100 \text{ W} = 0.1 \text{ Kw} \\ t &= 2 \text{ h} \\ W &= P \times t = 0.1 \times 2 = 0.2 \text{ KWh} \\ C_T &= C \times W = 50 \times 0.2 = 10 \text{ Rial} \end{aligned}$$

تمرین: در یک منزل مسکونی در شب‌نوروز تلویزیون با توان ۲۴ وات ۵ ساعت و رایانه شخصی با توان ۱۰۰ وات ۸ ساعت روشن است، قیمت برق مصرفی را در مدت ۳۰ روز به ازاء هر کیلووات ساعت برابر ۵۰ ریال محاسبه کنید.



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

۱۱-۴- محاسبه هزینه برق مصرفی:

کار الکتریکی به وسیله دستگاهی به نام «کنتور» اندازه‌گیری می‌شود. تصویری از این وسیله را به همراه علامت اختصاری آن در شکل ۱۱-۱۵ مشاهده می‌کنید. کار الکتریکی را از رابطه زیر می‌توان محاسبه کرد:

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



شکل ۱۱-۱۵- کنتور و علامت فنی

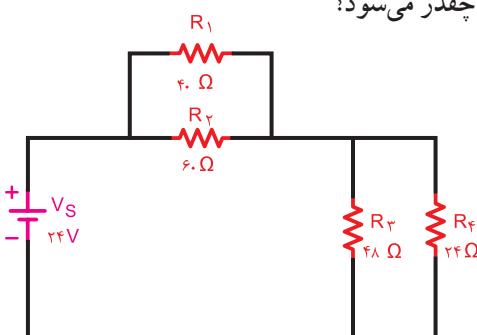
در رابطه کار الکتریکی اگر P بر حسب وات و t بر حسب ثانیه باشد، W بر حسب وات ثانیه یا ژول به دست می‌آید. چون وات ثانیه یا ژول واحد کوچکی است، لذا برای محاسبه هزینه برق مصرفی منازل و کارخانجات از واحدهای بزرگ‌تر استفاده می‌شود. در مقیاس تجاری توان را بر حسب کیلووات (KW) و زمان را بر حسب ساعت (h) در نظر می‌گیرند. به همین دلیل مبنای محاسبه قیمت برق مصرفی بر حسب کیلووات ساعت (kwh) سنجیده می‌شود. رابطه‌ای که برای محاسبه هزینه برق مصرفی به کار می‌رود برابر است با:

$$\begin{aligned} C_T &= C \cdot W \\ C &- \text{قیمت یک کیلووات ساعت برق} \\ W &- \text{انرژی (کار الکتریکی) مصرفی بر حسب کیلووات ساعت} \\ C_T &- \text{قیمت کل برق مصرفی} \end{aligned}$$

همان‌گونه 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.

الگوی پرسش (ارزشیابی و احیادگیری ۱۱ از فصل چهارم):

- ۱ رابطه کار الکتریکی ($W=V \cdot I \cdot t$) 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 بمحاسبه اسب بخار انگلیسی و آمریکایی به دست آورید.
- ۴ مقدار جریان و انرژی مصرفی یک موتور به قدرت ۲۰۰ وات بخار آمریکایی را در شرایطی که ولتاژ کار آن 220V باشد و به مدت ۲۵ دقیقه کار کند، محاسبه کنید.
- ۵ در مدار شکل ۱۱-۱۷، 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 ۱۱-۱۷

- ۶ با مراجعه به فضای مجازی، پلاک یک نمایشگر لامپ اشعه کاتدیک و یک نمایشگر LCD را بخوانید و توان مصرفی هریک را بنویسید. در صورتی که قیمت هر کیلووات ساعت برق مصرفی 55Rial باشد و هر رایانه در روز به مدت 10 hours ساعت روشن بماند، در یک سال (12 months و 30 days روز) با جایگزین کردن نمایشگر LCD با CRT چقدر صرفه جویی می شود؟
- ۷ با مراجعه به سایتهاي 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 با ساید قدیمی برای برطرف کردن برفک از یک رشته حرارتی با توان یک کیلووات استفاده می کند و در طول شبانه روز هر 8 hours ساعت یک بار این رشته حرارتی به مدت 20 seconds دقیقه روشن می شود. در صورتی که قیمت برق مصرفی کیلووات ساعتی 55Rial باشد، تعیین کنید:

الف - میزان انرژی مصرفی توسط رشته حرارتی در طول یک سال (365 days)

ب - در صورتی که در یخچال های جدید، رفع برفک با برگشت گاز حد اکثر 100 Wats انرژی مصرف کند، با جایگزین کردن یخچال قدیمی با یخچال جدید، چقدر در هزینه صرفه جویی می شود؟

واحد یادگیری ۱۲

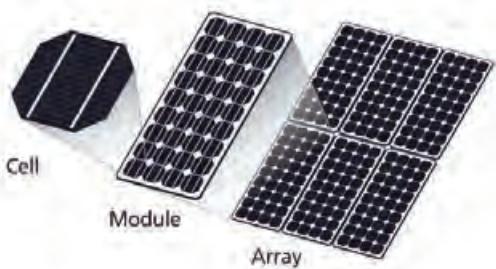
انرژی‌های نو

۱۲-۱- انرژی‌های نو

انرژی‌های نو یا جایگزین، به آن دسته از انرژی‌های گفته می‌شود که در تولید آنها، از منابع سوخت‌های فسیلی استفاده نمی‌شود. از انواع این انرژی‌ها می‌توان انرژی خورشیدی، باد و امواج، «زمین-گرمایی»، دریابی، آب و «زیست-توده» را نام برد. چون این نوع انرژی‌ها معایب نیروگاه‌های با سوخت‌های فسیلی را ندارند، سبب افزایش دمای کره زمین نمی‌شوند و تغییرات آب و هوایی و آلودگی زیستمحیطی را ایجاد نمی‌کنند.

۱۲-۲- انرژی خورشیدی (Solar Energy)

یکی از بهترین و تمیزترین روش‌های تولید انرژی الکتریکی، استفاده از سلول‌های خورشیدی است، این سلول‌ها بدون هیچ‌گونه آلایندگی و صدا، می‌توانند برق تولید کنند. سلول‌های فتوولتائیک (PV-Photovoltaic Cell) که آن را با نام سلول خورشیدی می‌شناسیم، از مواد نیمه‌رسانای جامد تشکیل شده‌اند. مهم‌ترین ماده نیمه‌رسانا در طبیعت سیلیسیوم (سیلیکون) است که به علت فراوانی، از آن در ساخت سلول‌های خورشیدی استفاده می‌کنند. شکل ۱۲-۱ یک نمونه سلول فتوولتائیک را نشان می‌دهد.

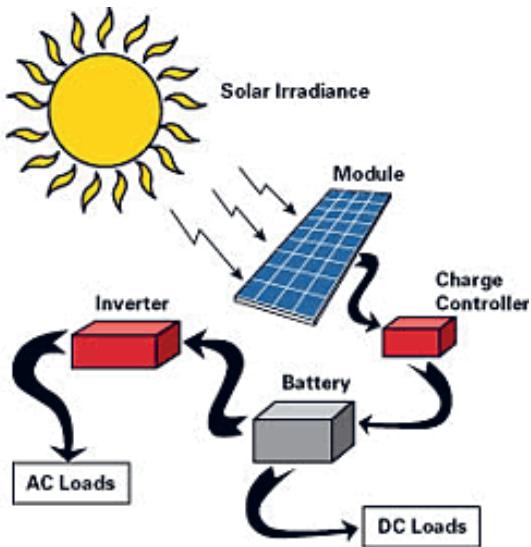


شکل ۱۲-۲- آرایه‌های خورشیدی

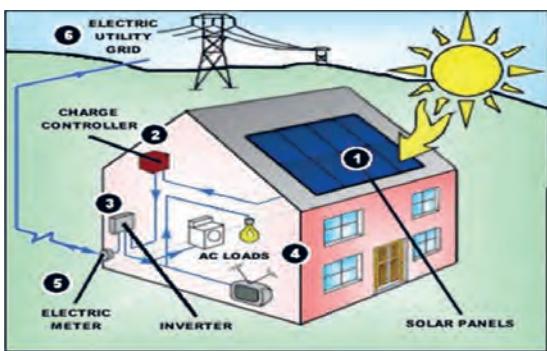
ولتاژ خروجی یک سلول خورشیدی در حالت بی‌باری (بدون مصرف‌کننده) برابر با 0.6 ولت است. بنابراین با سری کردن مثلاً 50 سلول خورشیدی، یک پانل خورشیدی 30 ولتی ساخته می‌شود. همانطور که قبلاً گفته شد، این ولتاژ عبارت از ولتاژی است که پانل در حالت بی‌باری به ما می‌دهد. تعداد 12 عدد از این پانل‌ها که یک آرایه را می‌سازند، ولتاژی برابر با 36 ولت ایجاد می‌کنند. ولتاژ پانل‌ها معمولاً در استاندارد 12 ، 24 ، 36 ، 48 و 60 ولت ساخته می‌شوند. با اتصال یک پانل به بار و کشیدن جریان از آن، ولتاژ خروجی افت می‌کند.



شکل ۱۲-۱- سلول خورشیدی



شکل ۱۲-۳- مراحل استفاده از انرژی خورشیدی



شکل ۱۲-۴- مراحل استفاده از انرژی خورشیدی



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 باهم بحث و گفت و گو 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 $17/47$ ولت و در حالت مدار باز مقدار ولتاژ خروجی $22/2$ ولت می‌شود. یعنی میزان افت ولتاژ $4/73$ ولت است.

آرایه‌ها در توان‌های DC متفاوت مثلاً از 100 تا 320 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 220 واتی با راندمان 8 درصد دارای مساحتی دو برابر آرایه‌ای 230 واتی با راندمان 16 درصد است. آرایه‌ها در حالت ثابت یا با ردیاب متحرک نصب می‌شوند. ردیاب متحرک با توجه به فصل و با زاویه تابش خورشید، زاویه خود را تطبیق می‌دهد.

هر چند 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.

گلخانه‌خورشیدی استفاده می‌کند. در شکل ۱۲-۵ تعدادی از وسایلی که انرژی آن از طریق سلول‌های خورشیدی تأمین می‌شود را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱۲-۵—کاربرد انرژی خورشیدی

اطلاعات فنی مربوط به پانل‌های خورشیدی در برگه‌های اطلاعات ارائه شده توسط کارخانه‌های تولیدکننده نوشته می‌شود. در شکل ۱۲-۶ یک نمونه برگه اطلاعات را مشاهده می‌کنید.

	CS6P-200P	CS6P-210P	CS6P-220P	CS6P-230P	CS6P-240P
Nominal Maximum Power at STC (Pmax)	200W	210W	220W	230W	240W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	28.9V	28.9V	29.3V	29.8V	30.4V
Optimum Operating Current (Imp)	6.93A	7.26A	7.52A	7.71A	7.91A
Open Circuit Voltage (Voc)	36.2V	36.4V	36.6V	36.8V	37.0V
Short Circuit Current (Isc)	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	Pmax	-0.45%/°C			
	Voc	-0.35%/°C			
	Isc	0.060%/°C			
	NOCT	45°C			

شکل ۱۲-۶—برگه اطلاعات یک نمونه پانل خورشیدی



اگر بخواهیم یک دستگاه با توان 400 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. به طور کلی با جایگزینی انرژی برق - بادی «به جای 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.

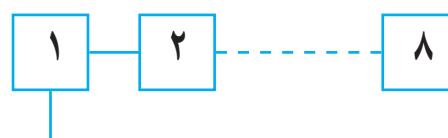
- ۱- حداکثر توان نامی
- ۲- ولتاژ کار مطلوب
- ۳- جریان کار مطلوب
- ۴- ولتاژ مدار باز
- ۵- جریان اتصال کوتاه
- ۶- درجه حرارت کار
- ۷- کدام نوع از پانل‌های خورشیدی شکل ۱۲-۶ بیشترین توان نامی را دارد؟
- ۸- کدام مدل از پانل‌های خورشیدی شکل ۱۲-۶ کم‌ترین جریان اتصال کوتاه را دارد؟

۹- خطای توان در این مدل‌ها چند وات است؟

مثال ۱: اگر با استفاده از پانل CS6P-۲۰۰W در شکل ۱۲-۶ بخواهیم یک دستگاه با ولتاژ کار در محدوده $۲۰\text{--}۲۴$ ولتی و با توان $۲۰\text{--}۴۰$ وات را راه اندازی کنیم، چند پانل و به چه صورت (سری - موازی) باید استفاده کنیم؟

$$\text{حل: } \frac{۲۴}{۲۸/۹} = \frac{۲۴}{۳} = 8/3$$

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 ۱۲-۱- یک توربین بادی

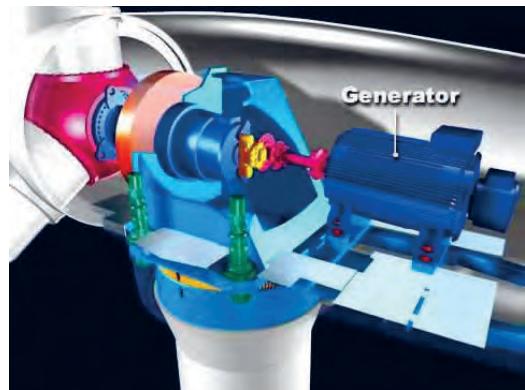
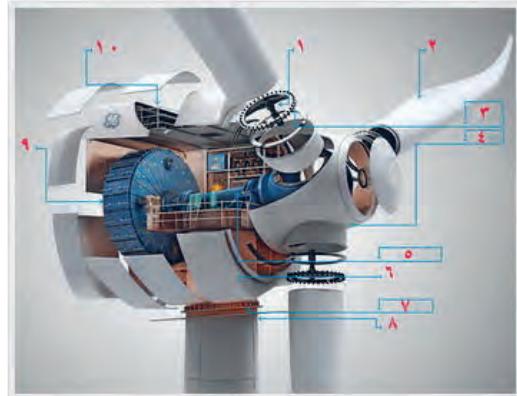
برخی مزایای استفاده از انرژی باد عبارت اند از :

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



پژوهش

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؟



اجزای یک توربین بادی

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

شکل ۱۲-۲- اجزای داخلی توربین‌های بادی

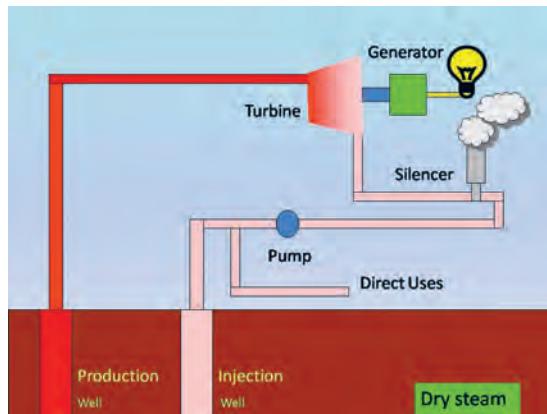


نکته

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

نیروگاه بادی تکی مانند شکل ۱۲-۱ 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.

۱۲-۳- انرژی «زمین- گرمایی»(Geothermal Energy)
رُئو 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 تدریج‌آساند 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 چشممهای آب گرم و آبغشان‌های طبیعی، مناطقی مناسب برای استفاده از انرژی «زمین- گرمایی» هستند. در شکل ۱۱-۱ یک نیروگاه «زمین- گرمایی» نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۱۲- نیروگاه زمین‌گرمایی با بخار خشک در انتهای، مجموعه بخار و آب خروجی وارد یک صداخفه کن (Silencer) می‌شود تا آن قسمت از سیال که به صورت بخار است به فضای منتقل شود. از مایع گرم خروجی توربین، برای مصارف مستقیم حرارتی استفاده می‌کنند، یا آن را دوباره به داخل چاه تزریق (Injection Well) بر می‌گردانند.

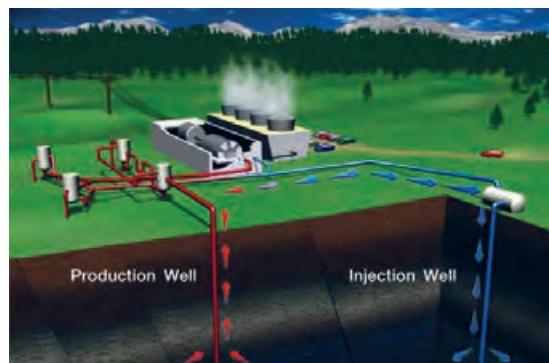
ب- نیروگاه بخار حاصل از آب داغ: این نوع نیروگاهها از آب داغ حاصل از مخازن زیرزمینی استفاده می‌کنند. به این ترتیب که با حفر چاه، آب داغ به سطح می‌آید و به دلیل آزادشدن از فشار مخازن، بخشی از آن به بخار تبدیل می‌شود. بخار حاصل برای چرخاندن توربین به کار می‌رود.

پ- نیروگاه ترکیبی (بخار و آب داغ): در این نوع نیروگاه، آب گرم خارج شده از زمین، قادر هرگونه بخار است. این آب از میان مبدل‌های گرمائی (Heat Exchanging) می‌گذرد و گرما را به نوعی مایع دیگر انتقال می‌دهد. چون این مایع نسبت به آب دارای نقطه جوش پائین‌تری است. با گرمای حاصل از مایع اول گرم شده و به بخار تبدیل می‌شود. این نیروگاه را نیروگاه دوسیاله هم می‌نامند. شکل ۱۲-۱۴ عملکرد این نوع نیروگاه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۱۲- نیروگاه زمین‌گرمایی

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



شکل ۱۲-۱۲- نیروگاه زمین‌گرمایی

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 می‌شود و نیروی لازم را برای چرخاندن توربین ژنراتور فراهم می‌کند.

شکل ۱۲-۱۳ عملکرد این نوع نیروگاه را نشان می‌دهد.

کلمات انگلیسی مندرج در شکل ۱۲-۱۵ 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 ۱۲-۱۶ تعدادی از کاربردهای بیوگاز را نشان می‌دهد.



الف - تولید سوخت با استفاده از زیست توده

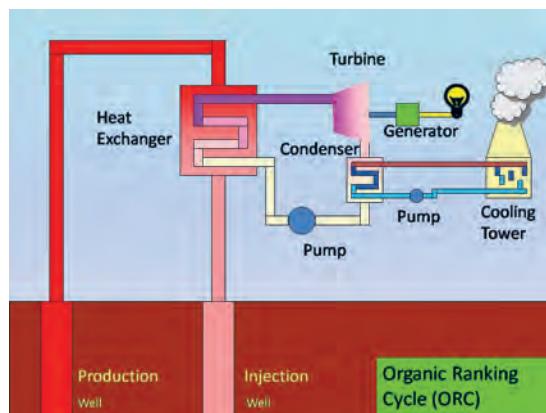


ب - سوخت وسیله نقلیه با استفاده از بیوگاز



پ - ژنراتور برق که با سوخت حاصل از بیوگاز کار می‌کند.

شکل ۱۲-۱۶ - مواردی از کاربرد بیوگاز



شکل ۱۲-۱۴ - نیروگاه دو سیاله زمین‌گرمایی

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.

۱۲-۱۵ - 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، زاندات حیوانی، پسماندهای شهری و غذائی، فاضلاب‌های شهری جزء «زیست - توده» هستند. این مواد قابلیت ذخیره انرژی را در خود دارند. شکل ۱۲-۱۵ تعدادی از منابع «زیست - توده» را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲-۱۵ - منابع زیست توده

جهت آبیاری مزارع، ورزش‌های آبی و بروزش موجودات آبزی و تأمین آب شرب مناطق پائین دست سد می‌توان استفاده کرد.

■ انرژی اقیانوس (Ocean Energy) : انرژی موجود در اقیانوس‌ها 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 اقیانوس‌ها، به دلیل نیاز به فناوری ویژه و هزینه زیاد برای بهره‌برداری، معمولاً از این انرژی در حد قابل قبول استفاده نمی‌شود. در شکل ۱۲-۱۹ یک نمونه از توربین‌های نصب شده در عمق اقیانوس و زیر آب را ملاحظه می‌کنید.



شکل ۱۲-۱۹ - توربین‌ها در زیر آب

۶-۱۲- انرژی آبی (Hydropower)

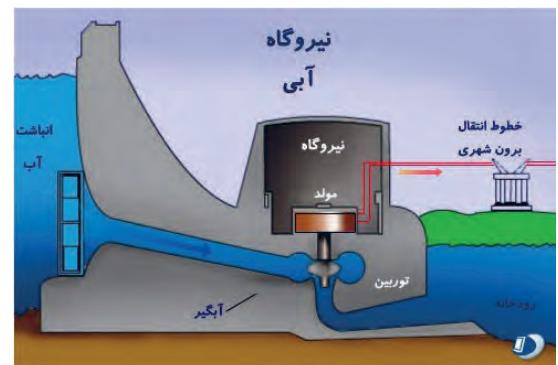
این انرژی از اختلاف سطح و حرکت آب به دست می‌آید. انرژی آب مانند انرژی خورشید، از منابع طبیعی انرژی است. با ایجاد سد در مقابل رودخانه‌ها می‌توان انرژی جنبشی آب را به صورت انرژی پتانسیل ذخیره کرد. (شکل ۱۲-۱۷)



شکل ۱۲-۱۷ - ذخیره آب در سد

در نیروگاه‌های «برق-آبی» با استفاده از انرژی آب، انرژی الکتریکی تولید می‌شود.

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



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

بیشترین مزیت نیروگاه‌های «برق-آبی» عدم نیاز به سوخت و کاستن آلایندگی زیست‌محیطی است. همچنین در این نیروگاه‌ها هزینه‌های مربوط به تأمین سوخت حذف می‌شود. معمولاً عمر نیروگاه‌های «برق-آبی» بیشتر از نیروگاه‌های گرمایی است. در ضمن از آب ذخیره شده در پشت سد



(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.

SunmoduleTM
SW 250 mono / Version 2.0

PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*

	SW 250
Maximum power	P _{max} 250 Wp
Open circuit voltage	V _{oc} 37.8 V
Maximum power point voltage	V _{mpp} 31.1 V
Short circuit current	I _{sc} 8.28 A
Maximum power point current	I _{mpp} 8.05 A



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

الگوی پرسش (ارزشیابی و احیادگیری ۱۲ از فصل چهارم):

۱ انواع انرژی‌های نور 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 عشاپری 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، لب تاپ و تبلت از شکل الف-۱۲-۲۱ استفاده می‌شود.

درست نادرست



(الف)



شکل ۱۲-۲۵— نمونه دیگری از آسیاب بادی



شکل ۱۲-۲۶— یک نمونه نیروگاه برق—بادی



پژوهش

در شکل ۱۲-۲۷ 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 نماید.



شکل ۱۲-۲۷— یک نمونه بادگیر مناطق کویری

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

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؟

Biomass_۲ Hydropower_۱

Ocean Energy_۴ Geothermal_۲

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

۴ مرحله نشان داده شده در شکل را شرح دهد.



شکل ۱۲-۲۳— شکل سوال ۹

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



شکل ۱۲-۲۴— یک نمونه آسیاب بادی

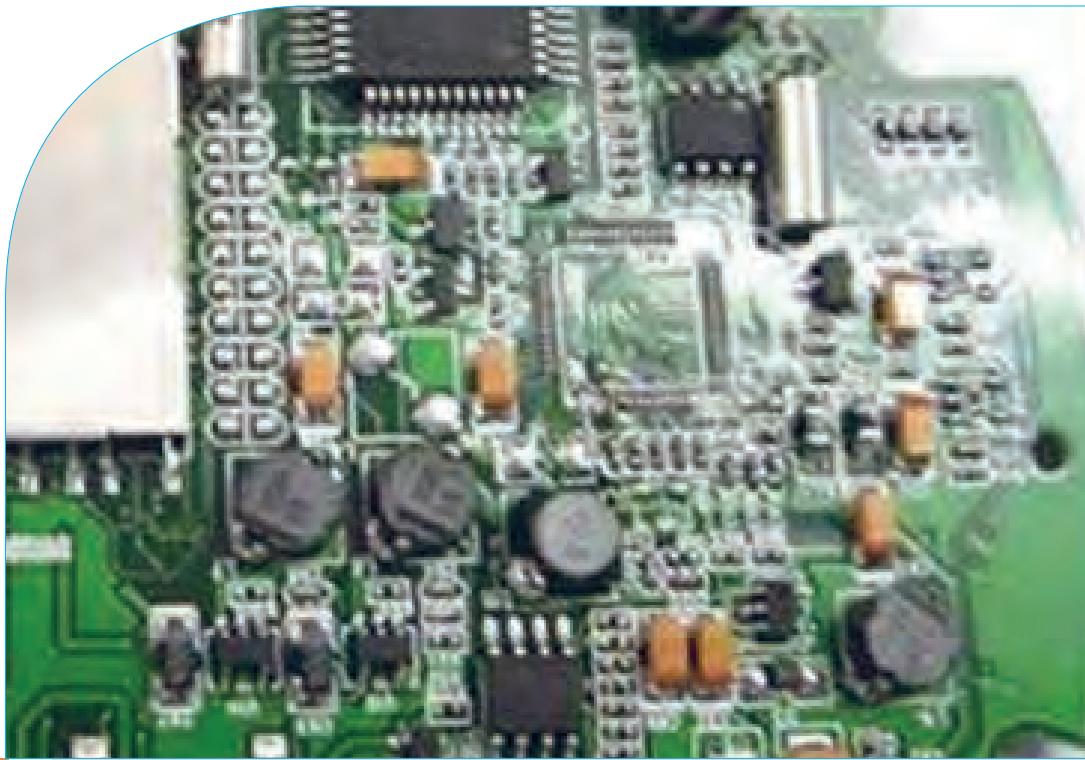


پژوهش

ارزشیابی شایستگی پودمان ۴ : کار و توان الکتریکی

سال تحصیلی: ۱۳۹۶-۹۷		پایه: دهم	رشته تحصیلی: الکترونیک	
کد کتاب: ۲۱۰۲۷۵		کد درس:	کد رشته: ۷۱۴۱۰	
نمره	شاخص تحقق		استاندارد عملکرد	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)
۳	اجرای همه بندها و ارائه نمونه های جدید از انرژی های نو	بالاتر از حد انتظار	۱- مفاهیم مرتبط با کار و توان الکتریکی	۱- انرژی و توان
۲	اجرای بند ۲، ۳ و ۴	در حد انتظار	۲- محاسبه توان و ضریب بهره در مدار	
۱	اجرای ۱ یا ۲ بند	پایین تر از حد انتظار	۳- محاسبه هزینه برق مصرفی ۴- انرژی های نو	۲- انرژی های نو
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 می کند که در ارزشیابی پودمان حداقل نمره شایستگی ۲ را اخذ کند.
- حداقل نمره قبولی پودمان ۱۲ از ۲۰ است.
- نمره کلی درس زمانی لحاظ می شود که هنرجو در کلیه پودمان ها، شایستگی مورد نیاز را کسب نماید.



پودهمان 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.

واحدیادگیری ۱۳

دیود

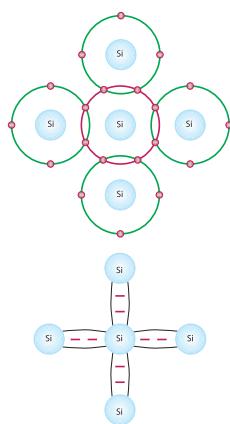
۱۳-۱- نیمههادی‌ها

۱۳-۳- پیونداشتراکی (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. نیمههادی‌ها 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 الکtron را 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 "پیونداشتراکی" یا "کووالانس" گویند. در شکل ۱۳-۲ پیونداشتراکی 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 الکtron آزاد ندارند و عایق هستند.



شکل ۱۳-۲- پیونداشتراکی بین اتم‌های سیلیکون

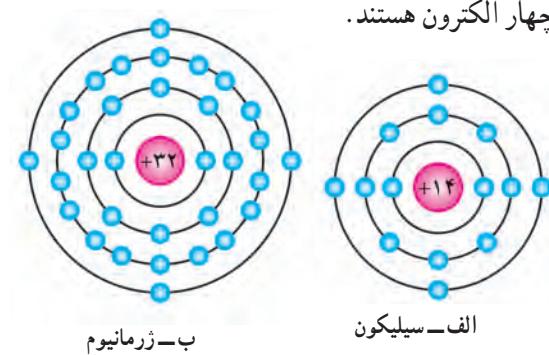
به عناصری که اتم‌های آن در مدار آخر خود چهار الکترون دارند «نیمههادی» گویند. نیمههادی‌ها در صفر مطلق (${}^{\circ}\text{C}$ - ${}^{\circ}\text{273}$) تقریباً عایق هستند. در درجه حرارت معمولی (${}^{\circ}\text{25}$) انرژی حرارتی محیط باعث آزاد شدن تعدادی از الکترون‌های لایه ظرفیت می‌شود و هدایت الکتریکی در جسم بالا می‌رود. البته افروden ناخالصی هم می‌تواند هدایت الکتریکی جسم را بالا ببرد. عناصری نظیر کربن، سیلیکون و ژرمانیوم جزء نیمههادی‌ها به شمار می‌آیند. دو عنصر نیمههادی 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.



پژوهش

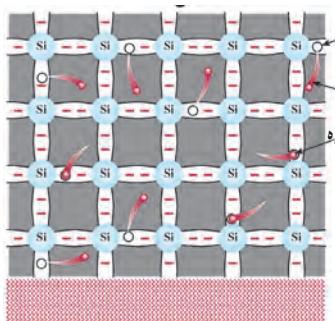
۱۳-۲- ساختمان اتمی سیلیکون و ژرمانیوم سیلیکون دارای عدد اتمی ۱۴ است. یعنی دارای ۱۴ پروتون و ۱۴ الکترون است. ژرمانیوم دارای عدد اتمی ۳۲ است، یعنی ۳۲ پروتون و ۳۲ الکtron دارد. در شکل ۱۳-۱ ساختمان اتمی سیلیکون (Si) و ژرمانیوم (Ge) نشان داده شده است. هر دو عنصر سیلیکون و ژرمانیوم در لایه ظرفیت دارای چهار الکtron هستند.



شکل ۱۳-۱- ساختمان اتمی سیلیکون و ژرمانیوم

۱۳-۴- ایجاد حفره (Hole)

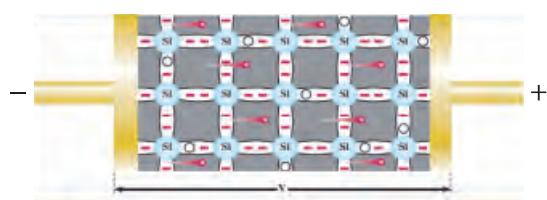
انرژی‌های خارجی نظیر حرارت می‌توانند باعث شکسته شدن پیوند شوند و در نتیجه الکترون از قید هسته آزاد گردد. آزاد شدن یک الکترون از مدار ظرفیت، یک جای خالی الکترون ایجاد می‌کند که به این جای خالی الکترون حفره می‌گویند. در شکل ۱۳-۳ الکترون آزاد و محل خالی آن یعنی حفره نشان داده است. چون محل خالی الکترون می‌تواند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



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 با تری حرکت می‌کنند و شارشی را در مدار بوجود می‌آورند که ناشی از حرکت الکترون‌ها است و به این شارش جریان الکترون‌ها گویند.

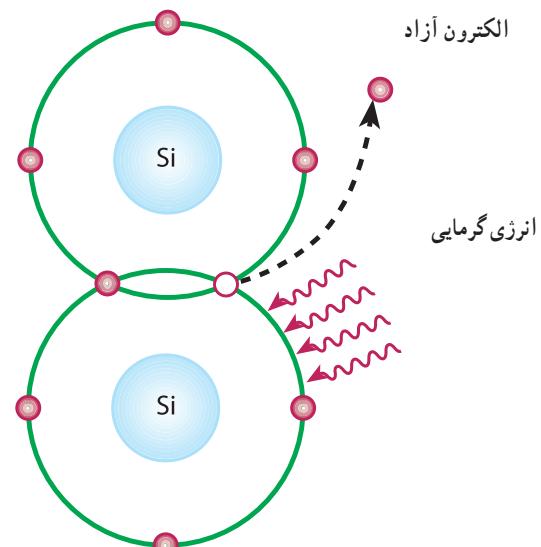


شکل ۱۳-۵- جریان الکترون‌ها

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 در حرکت است. این جریان فرضی را جریان حفره‌ها می‌نامند.

۷-۱۳- افودن 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 ترازیستور استفاده کرد. برای افزایش هدایت نیمه‌هادی به آن ناخالصی اضافه می‌کنند.



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 نا منظم ادامه می‌یابد. در شکل ۱۳-۴ چگونگی تولید زوج «الکترون-حفره» و ترکیب مجدد الکترون با حفره نشان داده شده است.

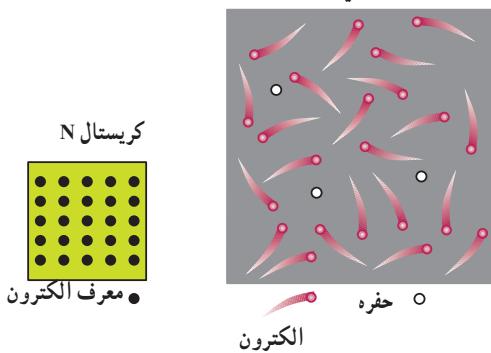
به این کریستال که حامل‌های اکتریت برای هدایت الکتریکی در آن الکترون‌ها هستند، کریستال نوع N می‌گویند. در شکل ۱۳-۷ الکترون‌ها و حفره‌های کریستال نوع N نشان داده شده است.

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.

کارگروهی

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

ناخیمه



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

بارش فکری

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

جدول ۱۳-۱- جمع‌بندی

جمع‌بندی کریستال نوع P	جمع‌بندی کریستال نوع N
۱- حامل‌های اکتریت حفره است و در اثر افزودن ناخالصی سه ظرفیتی به وجود می‌آید.	۱- حامل‌های اکتریت الکtron است و در اثر افزودن ناخالصی پنج ظرفیتی به وجود می‌آید.
۲- حامل‌های اقلیت حفره است و در اثر حرارت به وجود می‌آید.	

در صورت اتصال ولتاژ به کریستال N یا P، جریان کل از مجموع حامل‌های اکتریت و اقلیت شکل می‌گیرد. چرا؟

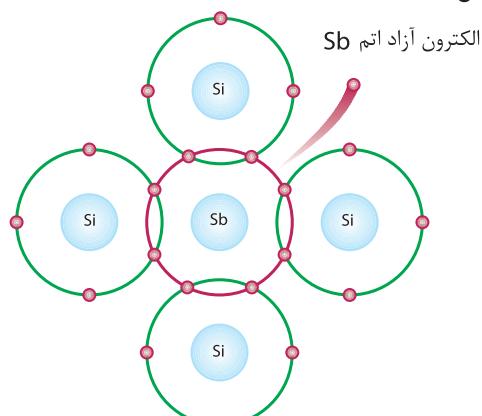
به عبارت دیگر: حامل‌های اقلیت + حامل‌های اکتریت = جریان کل
ناشی از حامل‌های اکتریت $I_T = I_{\text{اکتریت}} + I_{\text{اقلیت}}$

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)

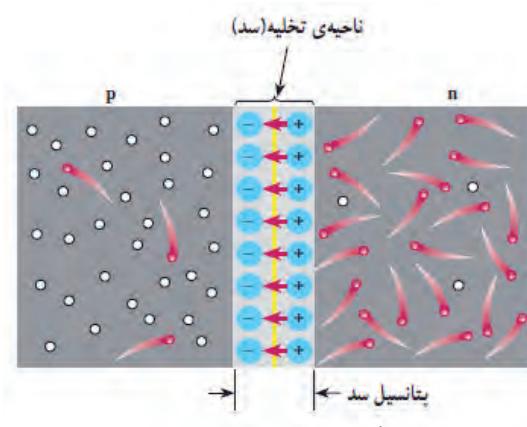
هرگاه یک عنصر پنج ظرفیتی مانند ارسنیک (As)، آنتیموان (Sb) یا فسفر (P) را که در لایه ظرفیت خود پنج الکترون آزاد دارند، به کریستال سیلیسیوم یا رزمانیوم اضافه کنیم، اتم ناخالص با چهار اتم سیلیسیوم مجاور خود تشکیل می‌یابند (اشتراکی می‌دهد). از طرفی در لایه ظرفیت آنتیموان (Sb) یک الکترون می‌تواند به راحتی 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).



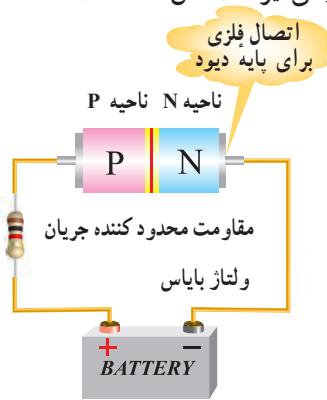
شکل ۱۳-۶- اتم

که مانع عبور الکترون از محل اتصال شود، ولتاژ 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 $7/0^\circ$ و برای دیود ژرمانیومی حدود $2/0^\circ$ ولت است. در شکل ۱۳-۹ 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 ۱۳-۹ ناحیه تخلیه (سد)

۱۳-۱۰- 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. 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 ۱۳-۱۰).

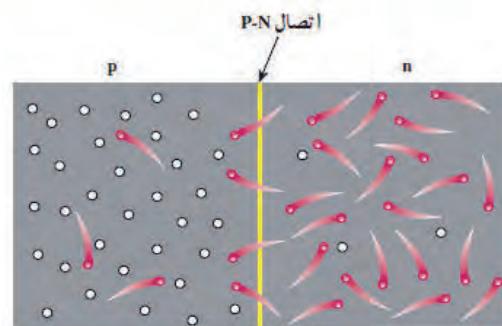


شکل ۱۳-۱۰ پیوند PN در بایاس موافق

فیلم چگونگی تشکیل پیوند را ملاحظه کنید.

۱۳-۹- 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 تزدیک 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 ۱۳-۸ ترکیب الکترون‌ها با حفره‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۸ پیوند

عبور یک الکtron از محل اتصال سبب ایجاد یک جفت یون می‌شود. هنگامی که ناحیه N یک اتم بنج ظرفی، الکترونی از دست می‌دهد، آن اتم به یون مثبت تبدیل می‌شود. در مقابل در ناحیه P اتم‌های سه ظرفیتی الکtron دریافت می‌کنند و تبدیل به یون منفی می‌شوند. ترکیب بی‌دریای 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.

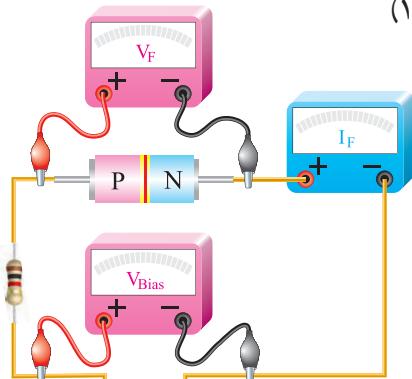
یون‌های مثبت و منفی در ناحیه تخلیه سبب ایجاد میدان الکتریکی می‌شود و نمی‌گذارد الکترون‌های آزاد از محل اتصال عبور کند. هرگاه میدان ایجاد شده به حدی برسد

بارش فکری

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

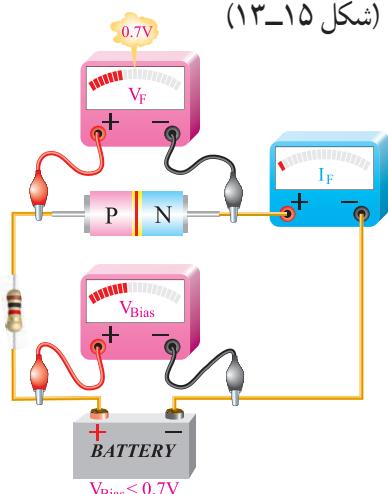
۱۳-۱۲- منحنی مشخصه ولت آمپر دیود در بایاس مستقیم

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

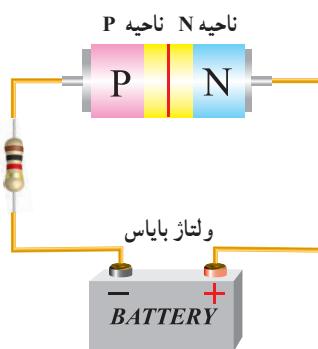
با افزایش ولتاژ جریان عبوری از دیود هم افزایش می‌یابد. هنگامی که ولتاژ بایاس برای یک دیود سیلیکونی کمتر از 7 V است، جریان بسیار ناچیزی از دیود عبور می‌کند. (شکل ۱۳-۱۵)



شکل ۱۵- ۱۳- ولتاژ کمتر از 7 V ولت، جریان بسیار کم

ب- دیود در بایاس معکوس (مخالف) (Reverse Bias)

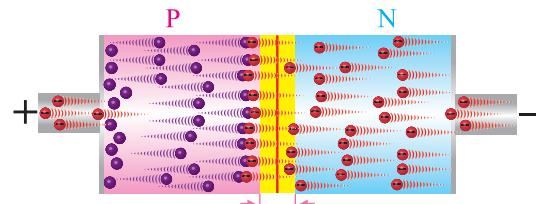
در صورتی که نیمههادی نوع P را به قطب منفی باتری و نیمههادی نوع N را به قطب مثبت آن وصل نماییم، این حالت را بایاس معکوس می‌نامند. (شکل ۱۳-۱۱).



شکل ۱۱- ۱۳- پیوند PN در بایاس مخالف

۱۳-۱۳- رفتار دیود در بایاس مستقیم

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

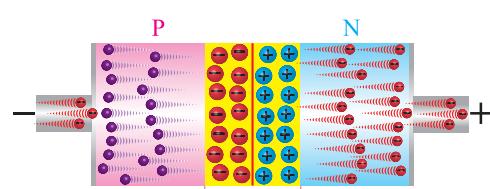


شکل ۱۳-۱۲- رفتار دیود در بایاس مستقیم



کارگروهی

با توجه به لایه سدکه در شکل‌های ۱۳-۱۲ و ۱۳-۱۳، 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)

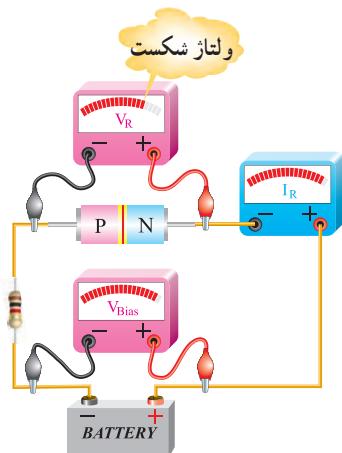
۱۳-۱۳- منحنی مشخصه ولت آمپر دیود در بایاس معکوس

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 بینید.

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.



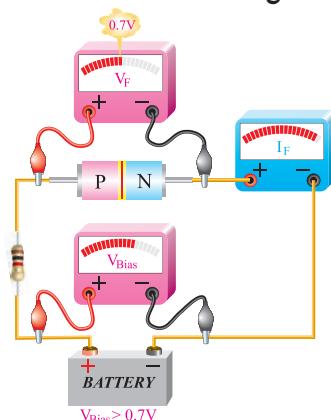
شکل ۱۳-۱۸- ولتاژ شکست دیود در بایاس مخالف

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

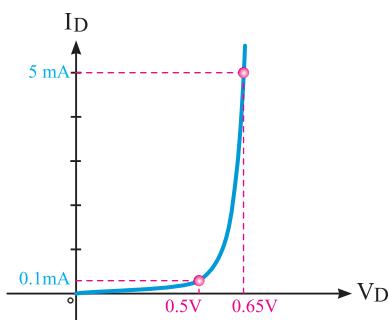


با مراجعه به منابع مختلف درباره جریان نشستی دیود پژوهش کنید و نتیجه را در کلاس به بحث بگذارید.

اگر ولتاژ بایاس زیاد شود (یعنی پتانسیل خارجی بیشتر از 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 بینندیم، شکل ۱۳-۱۶.



شکل ۱۳-۱۶- ولتاژ بیشتر از 7V ولت، از دیود جریان عبور می‌کند. چنان‌چه در محورهای مختصات، به محور x مولفه ولتاژ و به محور y مؤلفه 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 نرم افزاری که در اختیار دارید، مدار بایاسینگ دیود را بیندید و آن را تجربه کنید.



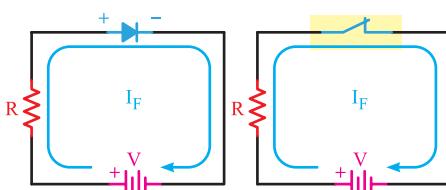


جستجو کنید

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

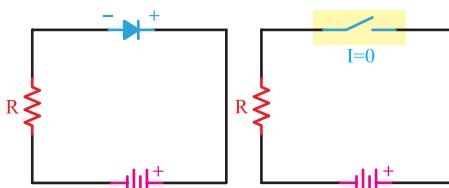
۱۳-۱۵- بررسی دیود در حالت ایدهآل

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 ایدهآل در بایاس مستقیم مانند هادی و در بایاس معکوس مانند عایق عمل می‌کند. عملکرد دیود را در حالت ایدهآل در بایاس موافق می‌توان با یک کلید وصل مقایسه کرد. در بایاس معکوس یک دیود ایدهآل مانند یک کلید باز عمل می‌کند. در شکل ۱۳-۲۲ دیود ایدهآل در بایاس موافق نشان داده شده است. مقاومت R در مدار به عنوان محدود کننده جریان بکاررفته است.



شکل ۱۳-۲۲- دیود ایدهآل در بایاس موافق

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



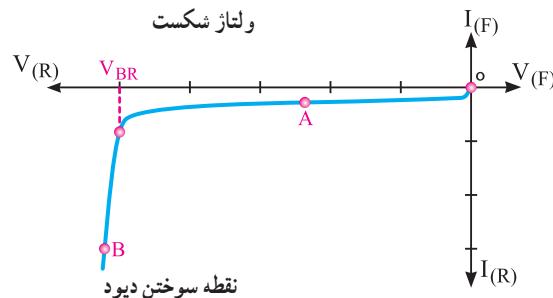
شکل ۱۳-۲۳- دیود ایدهآل در بایاس مخالف

۱۳-۱۶- انواع دیودهای نیمه‌هادی و نمایشگرهای

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 واراکتور، فتو دیود،

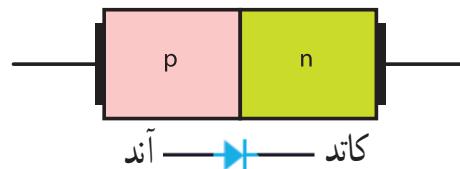
با استفاده از یک دیود زنر(zener) موضوع شکست

دیود را در ولتاژ مخالف تجربه کنید.



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

۱۳-۱۴- 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

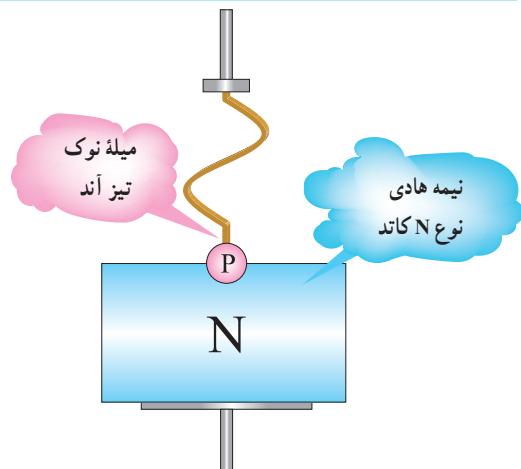
نیمه‌هادی نوع P آند و نیمه‌هادی نوع N کاتد نام دارد. همان‌گونه که دیده می‌شود علامت اختصاری دیود مانند یک پیکان از سمت آند به جانب کاتد بوده که معرف این نکته است که جریان قرار دادی به راحتی از سمت آند به کاتد عبور می‌کند. در شکل ۱۳-۲۱ شکل ظاهری چند نمونه دیود را مشاهده می‌کنید. در این شکل پایه‌های آند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



شکل ۱۳-۲۱- شکل ظاهری چند نمونه دیود



معمولًاً مشخصات فنی و کاربرد دیودهای 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 ۱۳-۲۵-نمایش ساختمان دیود اتصال نقطه‌ای

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 (معمولًاً سینوسی) به کار می‌رود و با جریان متوسط (I_F) حدود ۵۰۰۰ mA تا ۵۰۰۰۰ 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 ۱۳-۲۴ شکل ظاهری چند نمونه از دیود یکسوکننده معمولی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳-۲۴-چند نمونه دیود یکسوکننده معمولی

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

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 ۱۳-۲۵ ساختمان ساده یک دیود اتصال نقطه‌ای را نشان می‌دهد.



پژوهش

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

معمولًاً مقدار تولرنس را روی بدنه دیود زنر می‌نویسند.
برای تلرانس ۵ درصد از حرف C و برای تلرانس ۱۰ درصد از حرف D استفاده می‌کنند. مثلاً ولتاژ دیود زنر $5\text{V}_9/2\text{C}^3\text{BZX}2\text{V}_9$ درصد است. در نامگذاری دیود علامت V به جای ممیز بکار می‌رود.

توان زنر : جربانی که در بایاس معکوس، از دیود زنر عبور می‌کند اگر زیاد شود به سوختن دیود منجر می‌شود. مقدار جربان ماقریزمی که دیود زنر می‌تواند تحمل کند به توان دیود زنر و ولتاژشکست زنر بستگی دارد.

$$P_Z = I_Z \times V_Z$$

نکته

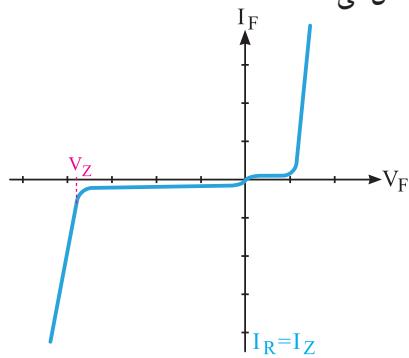
معمولًاً مشخصات فنی و کاربرد دیودهای زنر را با توجه به شماره فنی آن در برگه اطلاعات دیود (data sheet) می‌نویسند. این موارد شامل توان مجاز، ولتاژ موافق و مخالف است. امروزه دیودهای زنر را همراه با سایر قطعات در داخل آی‌سی رگولاتور مانند 7805 قرار می‌دهند، این آی‌سی می‌تواند ولتاژ ۵ ولت و جربان یک آمپر تولید کند و جایگزین دیود زنر شود.

دیود جربان ثابت (Constant Current Diode)
این دیود که به آن رگولاتور جربان گفته می‌شود بر عکس دیود زنر که ولتاژ دوسران ثابت و جربان عبوری از آن تغییر می‌کند، جربان را ثابت نگه می‌دارد. به عبارت دیگر از این دیود می‌توان به عنوان رگولاتور جربان استفاده کرد. نماد فنی دیود در شکل ۱۳-۲۹ رسم شده است.



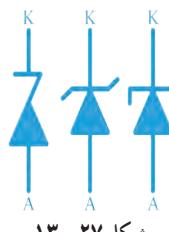
شکل ۱۳-۲۹ - نماد مداری دیود جربان ثابت

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 جربان‌های 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

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



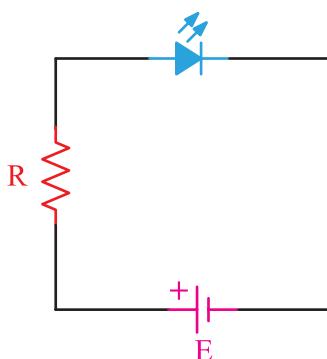
شکل ۱۳-۲۸

نکته

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

!
نکته

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



شکل ۱۳-۳۲ – نحوه بایاس نمودن LED

پژوهش

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

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



شکل ۱۳-۳۳ – چند نمونه LED

معمولًاً 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) می‌نویسنند.

!

جستجو کنید

با مراجعه به فضای مجازی مشخصات دیودهای ۱N5214 و ۱N5283 را پیدا کنید و به کلاس ارائه دهید.

Light Emitting Diode (LED): دیود نوردهنده (LED) همان طور که از نام آن پیداست این دیود مولد نور است. دیود نوردهنده، از دو قطعه نیمه‌هادی نوع N و P 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 ۱۳-۳۰ و ۱۳-۳۱ چند نمونه LED و ساختمان داخلی و نماد فنی آن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۳۰ – نماد فنی و ساختمان داخلی LED



شکل ۱۳-۳۱ – نمونه‌هایی از انواع LED

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

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

LED با نور فوق العاده زیاد

LED های با نور فوق العاده زیاد نوع دیگری از LED است که با نام Ultra Bright LED ساخته شده است. میزان نوردهی آنها فوق العاده زیاد است و ددها 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 فوق العاده زیاد

استفاده از LED های پر نور امروزه در سطح بسیار گسترده‌ای توسعه یافته است. استفاده از ریسه‌های LED، ترمز اتومبیل، تابلوی روان و نور تزئینی، تعدادی از موارد کاربرد LED های پرنور است. آرایه‌های LED پرنور 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 پرنور سفید و رنگی به خانه‌ها، مغازه‌ها و مراکز تجاری نیز وارد شده‌اند و جای لامپ‌های کوئنی را گرفته‌اند. همچنین این نوع LED ها وارد صنایع اتومبیل‌سازی نیز شده‌اند. در چراغ‌های جلوی خودروها از LED های پرنور استفاده می‌شود.

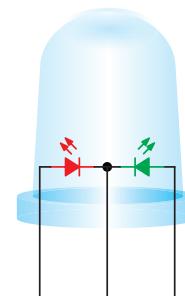
Organic LED(OLED) های ارگانیک

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

LED ها در انواع گوناگون ساخته می‌شوند که به ترتیب برخی از آنها می‌پردازم:

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 ۱۳-۳۷)

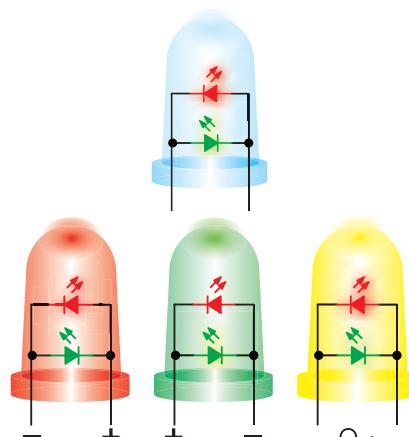


شکل ۱۳-۳۷ – LED دو رنگ

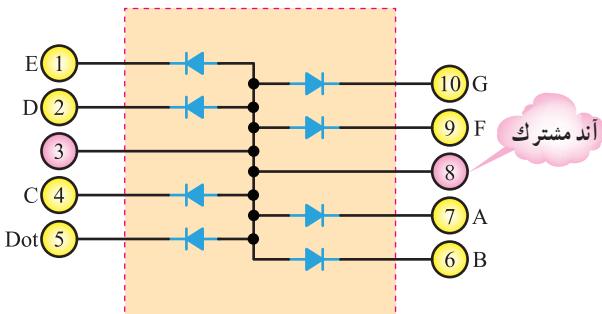
با استفاده از نرم‌افزار چند نمونه LED را بیندید و عملکرد آن را تجربه کنید.

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



شکل ۱۳-۳۸- نمایشگر آند مشترک

شوند، نور از هر دو طرف پخش می‌شود. در این حالت می‌توانیم از OLED‌ها برای صفحات نوردهنده دو طرفه 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 سیار 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.

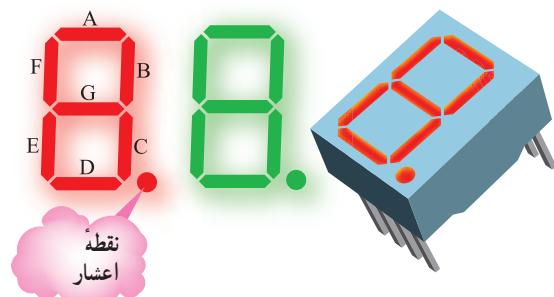
نقشه مدار نمایشگر کاتد مشترک

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

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 نظری، A، B، C، D، E، F و G را نمایش داد. شکل ظاهری نمایشگر ۷ قطعه‌ای با نقطه اعشار را در شکل ۱۳-۳۷ مشاهده می‌کنید.



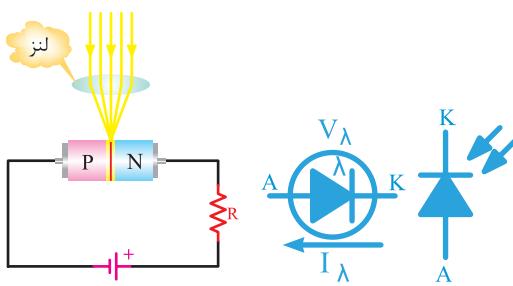
شکل ۱۳-۳۷- نمایشگر ۷ قطعه‌ای

نمایشگر ۷ قطعه‌ای به دو صورت

آند مشترک (Common Anode)

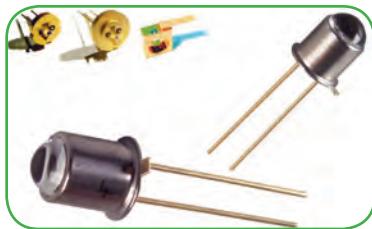
کاتد مشترک (Common Cathode)

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



شکل ۱۳-۴۱—نماد و بایاس فتو دیود

در شکل ۱۳-۴۲ شکل ظاهری چند نمونه فتو دیود نشان داده شده است. از این دیود برای مواردی مانند تشخیص نور، سنجش نور در دستگاه های نورسنج، شمارش سریع یا سوئیچ کردن استفاده می شود.



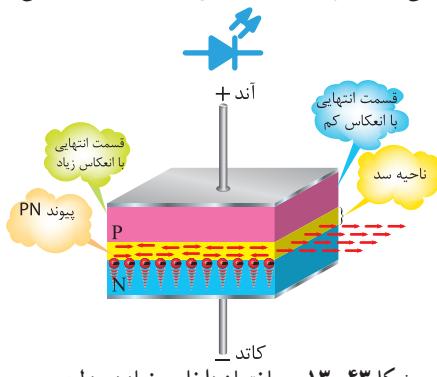
شکل ۱۳-۴۲—شکل ظاهری چند نمونه فتو دیود

نکته !

مشخصات فنی و کاربرد فتو دیودها را با توجه به شماره فنی آن در برگه اطلاعات دیود (data sheet) می نویسند.

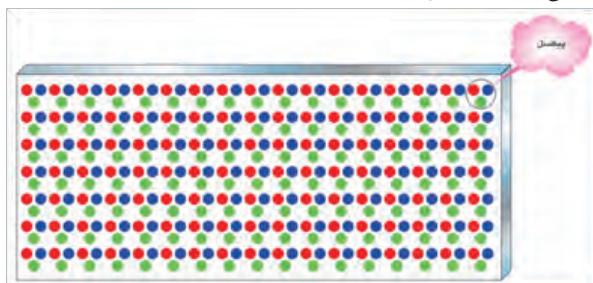
دیود لیزری : (Laser Diode)

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



شکل ۱۳-۴۳—ساختمان داخلی و نماد دیود لیزری

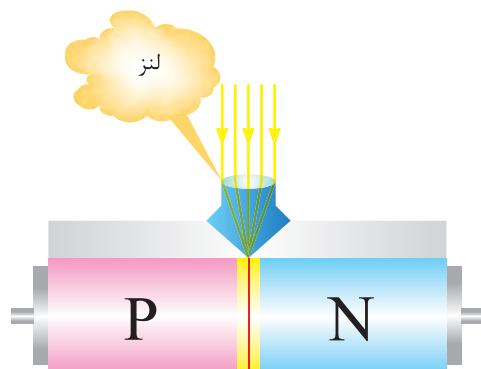
می شود. این نقاط رنگی را پیکسل (Pixel) می گویند. پیکسل ها از سه رنگ قرمز (R—Red) سبز (G—Green) و آبی (B—Blue) شکل می گیرند که اصطلاحاً آن را RGB می نامند. (شکل ۱۳-۳۹)



شکل ۱۳-۳۹—پیکسل های LED به کار رفته در صفحه نمایش

فتو دیود (Photo Diode)

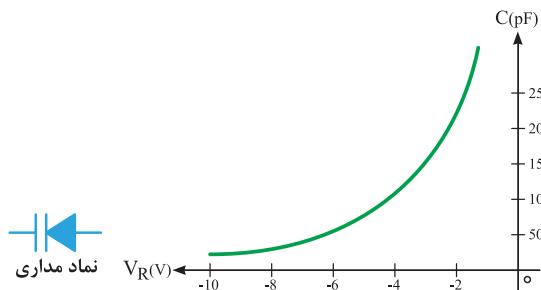
ساختمان فتو دیود، مانند یک دیود معمولی با پیوند PN است، با این تفاوت که محل پیوند PN را، جهت تابانیدن نور به آن از مواد پلاستیکی سیاه، نمی پوشانند. این ناحیه توسط شیشه یا پلاستیک شفاف پوشیده می شود تا نور بتواند به آسانی به آن بتابد. روی اکثر فتو دیودها، یک لنز بسیار کوچک نصب می شود تا نور تابانیده شده به آن را متتمرکز کند و به محل پیوند برساند. (شکل ۱۳-۴۰)



شکل ۱۳-۴۰—فتو دیود همراه با لنز

فتو دیود همیشه در بایاس معکوس به کار می رود و با تابش نور به محل پیوند آن، جریان معکوس آن افزایش می یابد. افزایش جریان به علت شکستن پیوندها با انرژی نور است. شکل ۱۳-۴۱ نماد فنی و چگونگی بایاس کردن دیود را نشان می دهد.

دیود خازنی (واراکتور) (Varactor)

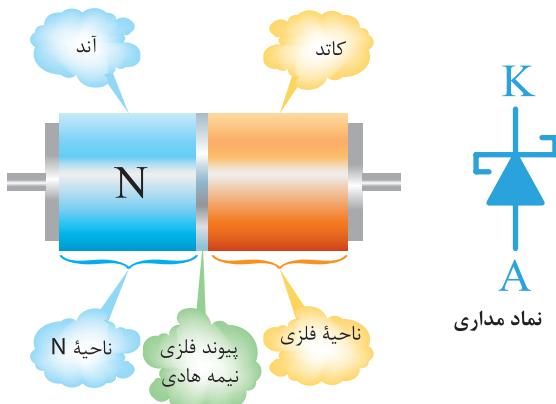


شکل ۱۳-۴۵— منحنی «ظرفیت—ولتاژ» و نماد دیود خازنی

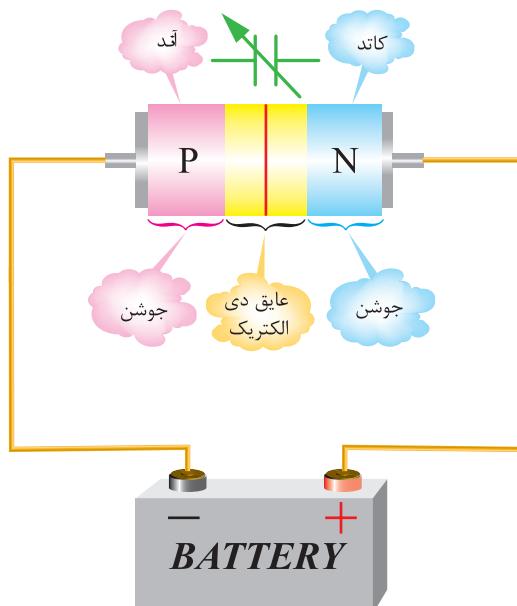
دیود خازنی، مانند یک دیود معمولی است و از دو قطعه نیمه‌هادی نوع P و N، که معمولاً از جنس سیلیسیوم است، ساخته می‌شود. همان‌طور که قبلاً باد گرفتیم، یک دیود معمولی، بدون بایاس در محل پیوند، یک لایه سد دارد. این لایه به صورت یک عایق بین نیمه‌هادی P و N قرار می‌گیرد. اگر دو نیمه‌هادی P و N را به عنوان دو 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)

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.



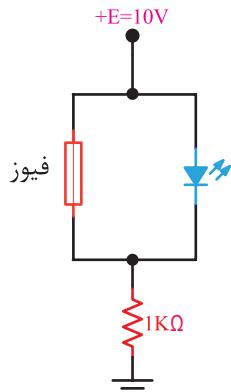
شکل ۱۳-۴۶— ساختمان و نماد دیود شاتکی



شکل ۱۳-۴۴— ایجاد ظرفیت خازنی در دیود واراکتور

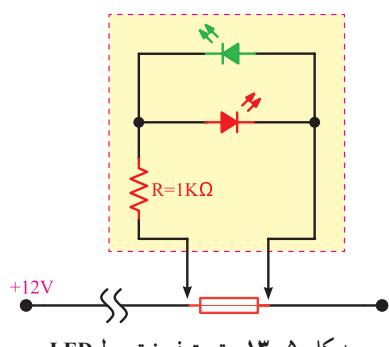
از دیودهای واراکتور، در مدارهای رادیو و تلویزیون به صورت یک خازن متغیر استفاده می‌شود، زیرا حجمی بسیار کم، ظرف و محکم دارند. شکل ۱۳-۴۵ منحنی تقریبی ظرفیت خازن نسبت به ولتاژ معکوس و نماد دیود خازنی را نشان می‌دهد.

۱۳-۴۹ در شکل ۱۳-۴۹، در صورتی که فیوز بسوزد یا سالم باشد، در نور LED چه تغییری به وجود می‌آید؟ شرح دهید.



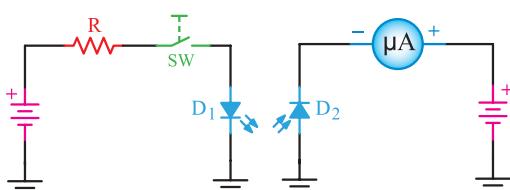
شکل ۱۳-۴۹—فیوز موازی با LED

۱۳-۵۰ 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

۱۳-۵۱ در شکل ۱۳-۵۱ چنانچه کلید SW بسته شود، در صورتی که دیودهای D₁ و D₂ از نظر نوری به هم کوپل شده باشند، چه تغییری در جریان میکروآمپر متر رخ می‌دهد؟



شکل ۱۳-۵۱—کوپل نوری توسط دیود

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

- ۱ خصوصيات و اصول کار دیود زنر را توضیح دهید.
- ۲ ولتاژ شکست و درصد خطای دیود زنر با شماره فنی BZX ۳۲ / C۳ V۹ 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 فتو دیود شود؟ نام ببرید.
- ۶ برای نوشتن هر یک از اعداد و حروف شکل ۱۳-۴۷ کدام LED‌ها در هفت قطعه‌ای باید روشن شود؟

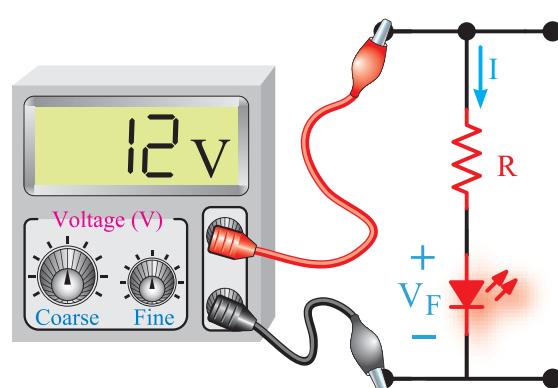


شکل ۱۳-۴۷— روشن کردن هفت قطعه‌ای

۱۳-۴۸ در شکل ۱۳-۴۸ در صورتی که ولتاژ تغذیه E=۱۲ ولت باشد، مقدار R را طوری محاسبه کنید که LED نور مناسب داشته باشد.

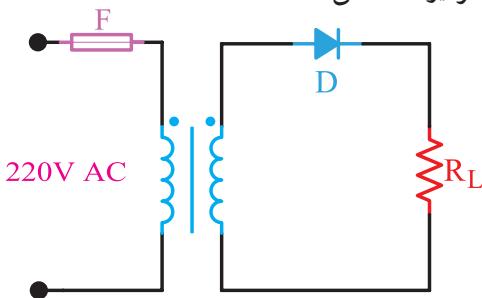
$$V_F = ۳V$$

$$I = ۱.۰ \text{ mA}$$



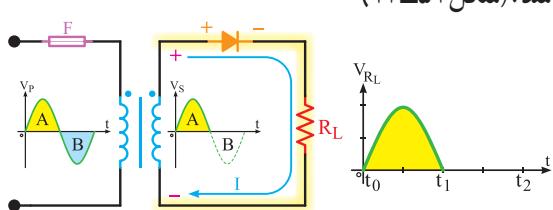
شکل ۱۳-۴۸— محاسبه مقاومت سری با LED

الف - مدار یکسوکننده نیم موج :
 یکسوکننده های نیم موج، نیم سیکل مثبت یا نیم سیکل منفی را یک طرفه (یکسو) می کنند. شکل ۱۳-۵۲ مدار یکسوکننده نیم موج را شناس می دهد. در این مدار یکسوکننده و مدارات دیگر، فرض می شود که دیودهای به کار برده شده ایده آل هستند، یعنی، هیچ گونه افت ولتاژی در دو سر آنها به وجود نخواهد آمد، ولی در عمل حدود ۷٪ تا ۱/۵ ولت (بسته به جریان عبوری از دیود) در دو سر دیود افت می کند.



شکل ۱۳-۵۳ - یکسو ساز نیم موج (دیود ایده آل)

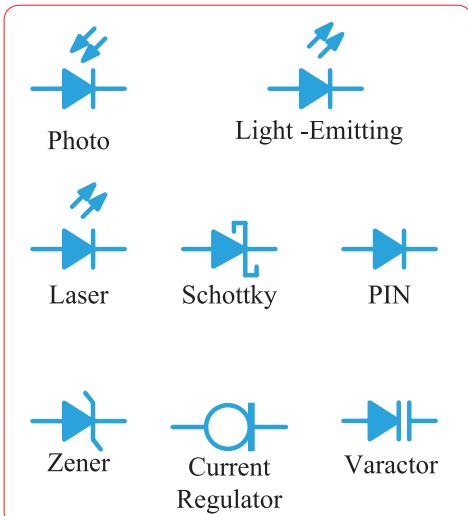
در مدار شکل ۱۳-۵۳، در مدت نیم سیکل مثبت ورودی، دیود در بایاس مستقیم قرار می گیرد و هادی است. لذا، جریان در نیم سیکل مثبت از دیود و مقاومت بار عبور می کند و مسیر خود را می بندد. بنابراین، تمام ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور در نیم سیکل مثبت دو سر بار، ظاهر خواهد شد. (شکل ۱۳-۵۴)



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 نمی کند. بنابراین، ولتاژ دو سر بار در نیم سیکل منفی، صفر است.

۱۱ هر یک از دیودهای شکل ۱۳-۵۲ در چه بایاسی می توانند عمل کنند (موافق یا مخالف)؟



شکل ۱۳-۵۲ - تعیین نوع بایاس در دیودها

۱۳-۱۷ - کاربرد دیودها

در مطلب گذشته به شرح ساختمان، مشخصات و معرفی انواع دیودهای نیمه هادی پرداختیم. در ادامه با کاربرد دیود در مدارهای مختلف، از جمله یکسوکننده های دیودی، چندبرابر کننده ها و تغییر دهنده های شکل موج آشنا خواهید شد. هر چند محدوده کاربرد دیودها زیاد است ولی اصول کار آن در زمینه های مختلف یکسان است.

۱۳-۱۸ - مدارهای یکسوکننده دیودی

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

فیلم یکسوکننده ها و صافی ها را ببینید.



فیلم

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

۱ - مدار یکسوکننده نیم موج Half wave rectifier

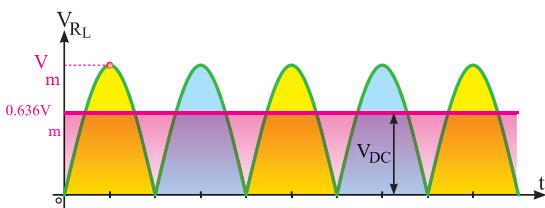
۲ - مدار یکسوکننده تمام موج با ترانس سروسط full wave rectifier

۳ - مدار یکسوکننده تمام موج جل Bridge rectifier

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

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} = 2 \times (\frac{1}{318} V_m) = 0.636 V_m$$

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



شکل ۱۳-۵۷ - ولتاژ متوسط یکسوساز تمام موج



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

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

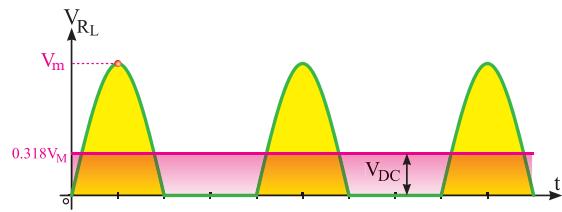
همان طور که می دانیم، یکی از پارامترهای مهم مشخصات الکتریکی دیود، تحمل حداکثر ولتاژی است که در بایاس معکوس دوسر دیود قرار می گیرد. باید دید در یکسوساز نیم موج حداکثر ولتاژی که دو سر دیود در بایاس معکوس قرار می گیرد تا دیود نسوزد، چقدر است؟

باتوجه به شکل ۱۳-۵۸ 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.

متوجه ولتاژ دو سر بار : اگر ولت متر جریان مستقیم (dc) را در دو سر 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 حالت ولتاژ مستقیم (یک طرفه) است. در این حالت ولت متر مقدار ولتاژ متوسط سیکل های یکسو شده را نشان خواهد داد. مقدار متوسط این ولتاژ یک طرفه، برابر است با :

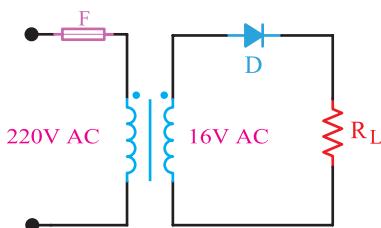
$$V_{DC} = \frac{V_m}{\pi} = 0.318 V_m$$

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



شکل ۱۳-۵۵ - ولتاژ متوسط یکسوساز نیم موج

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



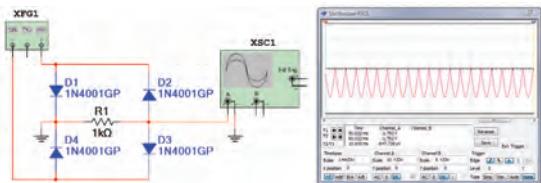
شکل ۱۳-۵۶ - محاسبه ولتاژ DC در یکسوساز نیم موج

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

$$V_m = \sqrt{2} \times V_e = 1 / 41 \times 16 = 22 / 56 V$$

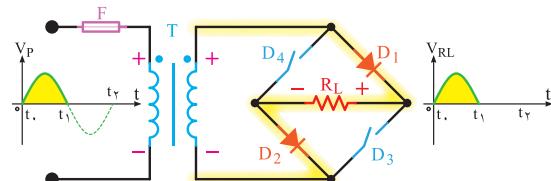
$$V_{dc} = 0.318 \times V_m = 0.318 \times 22 / 56 = 7 / 17 V$$

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



شکل ۱۳-۶۰- یکسوساز تمام موج پل در نرم افزار

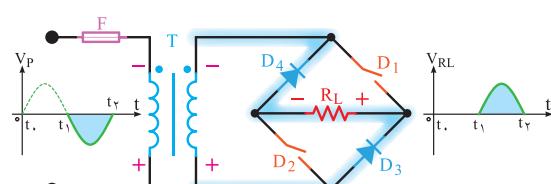
همان طوری که از شکل ۱۳-۵۹ پیداست، در این مدار یکسوکننده، از چهار دیود و یک سیم پیچ برای ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور استفاده شده است. با توجه به D_۱-۶۱، در مدت نیم سیکل مثبت، دیودهای D_۱ و D_۲ در بایاس مستقیم و دیودهای D_۳ و D_۴ در بایاس معکوس قرار دارند. بنابراین، جریان از دیود D_۱ و بار R_L و دیود D_۲ مسیر خود را می‌بندد. با توجه به اینکه دیودها ایده‌آل فرض شده‌اند، لذا تمام ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور در رو سر بر ظاهر می‌شود.



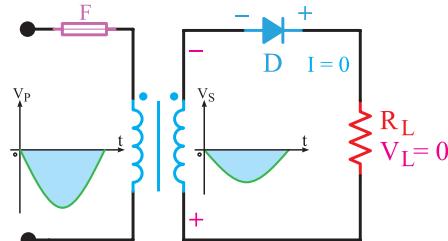
شکل ۱۳-۶۱- رفتار یکسوساز پل دیود در نیم سیکل مثبت



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



شکل ۱۳-۶۲- رفتار یکسوساز پل دیود در نیم سیکل منفی



شکل ۱۳-۵۸- ولتاژ دیود در بایاس معکوس

حداکثر این ولتاژ برابر با حداکثر دامنه (Vm) است. ولتاژ معکوسی که دو سر دیود قرار می‌گیرد با حروف PIV و به صورت رابطه زیر برای یکسوساز نیم موج نشان داده شده است.

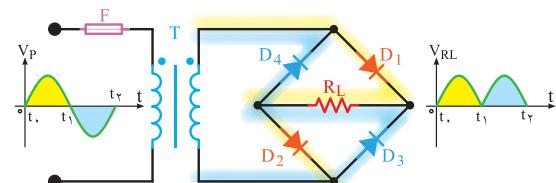
$$PIV = V_{max}$$

PIV = Peak Inverse Voltage

نکته

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 می‌نویسند.

ب- مدار یکسوساز تمام موج پل : نوع دیگری از یکسوکننده تمام موج، یکسوکننده پل است. شکل ۱۳-۵۹ یک مدار یکسوکننده پل را همراه با شکل موج یکسوشده، نشان می‌دهد. تصویر نرم افزاری این مدار را، که توسط مولتی‌سیم بسته شده است، در شکل ۱۳-۶۰ مشاهده می‌کنید.



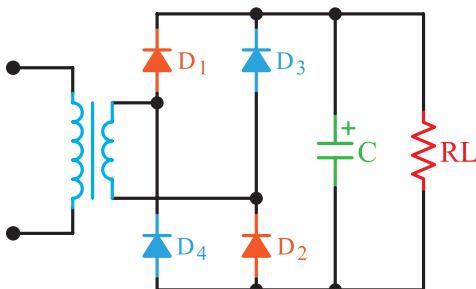
شکل ۱۳-۵۹- یکسوساز تمام موج پل

۱۳-۱۹- 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 ۵ هرتز در یکسوکننده نیم‌موج). در الکترونیک بیشتر به یک ولتاژ ثابت نیاز داریم. برای این‌که 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 ۱۳-۶۴)



شکل ۱۳-۶۴- مدار یکسوساز پل با صافی خازن

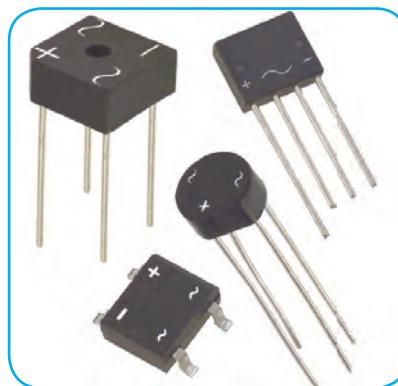
شکل ۱۳-۶۵- منحنی شارژ و دشارژ خازن را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود شکل موج دو سر بار دارای ضربان است.

مقدار ولتاژ متوسط یکسوساز پل نیز برابر با یکسوکننده تمام‌موج با ترانس سر و سط است.

$$V_{dc} = \frac{1}{2} V_m$$

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

معمولًاً چهار عدد دیود مجزا از هم را که به صورت پل بسته می‌شوند، به صورت قطعه یکپارچه می‌سازند. شکل ۱۳-۶۳ 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 بل، ولتاژ خروجی و یکسوشده را به ما می‌دهد که با علامت (+) (قطب مثبت) و (-) (قطب منفی) مشخص می‌شود.



شکل ۱۳-۶۳- نمونه‌هایی از پل دیود

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



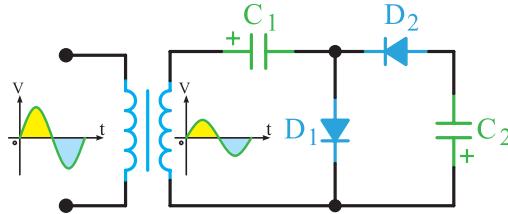
پژوهش

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



بارش فکری

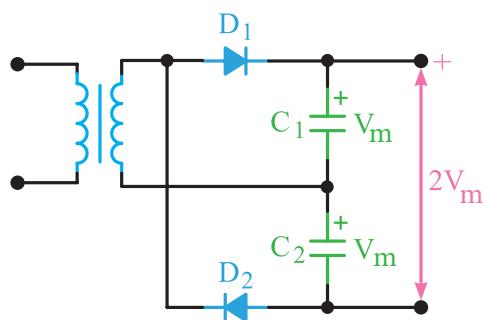
الف - دو برابر کننده های ولتاژ : شکل ۱۳-۶۶ یک مدار دو برابر کننده ولتاژ نیم موج را نشان می دهد.



شکل ۱۳-۶۶ - مدار دو برابر کننده ولتاژ

در این مدار، بعد از چند سیکل خازن C_1 تا ماکریم ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور (V_m) و خازن (C_2) تا $2V_m$ شارژ می شود. از توضیح چگونگی شارژ خازن ها 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



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 ضربان (ریپل) موج دوسر بار چه راهکاری وجود دارد؟ در این مورد تحقیق کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

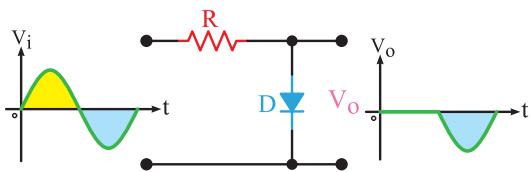


پژوهش

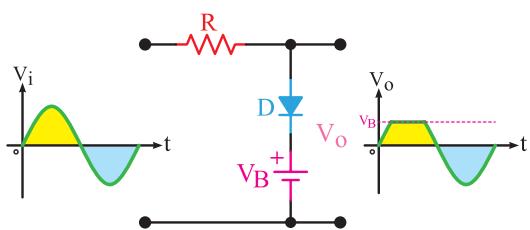
۱۳-۲۰ - چند برابر کننده های ولتاژ

با استفاده از دیود و خازن می توان، ضمن یک سو کردن ولتاژ متناوب، آن را چند برابر نیز نمود. کاربرد چند برابر کننده ها، در مواردی است که جریان زیاد مورد نیاز نباشد (حدود چند صد میکروآمپر). چند برابر کننده ها معمولاً در ولتاژ های بسیار بالا (حدود کیلوولت) به کار می روند. مواردی مانند قسمت ولتاژ زیاد (high voltage) تلویزیون ها و مانیتورهای قدیم، دستگاه های پزشکی و خودرو از مواردی هستند که نیاز به ولتاژ زیاد دارند. در این دستگاه ها ولتاژ در حدود ۲۵ کیلو ولت مورد نیاز است. ابتدا ولتاژ حدود ۵ کیلو ولت را توسط ترانسفورماتور ایجاد می کنند، سپس آن را توسط یک مدار ۵ برابر کننده به مقدار حدود ۲۵ کیلو ولت می رسانند. مزایای این عمل صرفه جویی در حجم و قیمت ترانسفورماتور افزاینده ولتاژ است. زیرا عایق کاری ترانسفورماتور ۲۵ کیلو ولت مشکل است، ضمن اینکه میدان های مغناطیسی زیادی را در اطراف خود تولید می نماید. همچنین ولتاژ معکوس در دیودهای به کار رفته در مدارهای یک سو کننده در مقایسه با دیودهای چند برابر کننده، کاهش می یابد. در این قسمت جهت آشنایی به تشریح اجمالی مدارهای ۲، ۳ و ۴ برابر کننده، می پردازیم.

الف—مدار برش‌دهنده مثبت: مدار برش‌دهنده مثبت، قادر است قسمت مثبت سیکل‌ها را، به هر مقدار که لازم باشد، محدود کند. شکل الف ب ۱۳-۷۰ یک مدار برش‌دهنده مثبت را نشان می‌دهد. برای سادگی کار، دیود را ایده‌آل در نظر می‌گیریم.



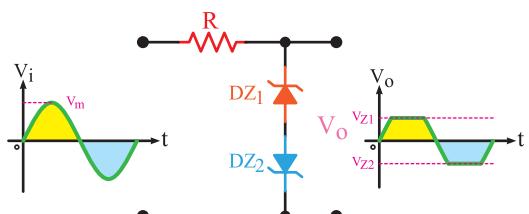
الف—مدار برش‌دهنده نیم سیکل مثبت



ب—مدار برش‌دهنده قسمتی از نیم سیکل مثبت
شکل ۱۳-۷۰—مدارهای برش‌دهنده مثبت

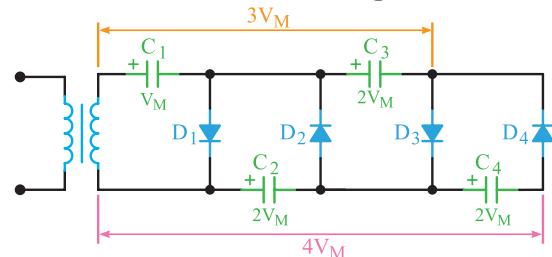


مدار شکل ۱۳-۷۱ ولتازهای دو سر دیود زنر و ولتاژ پیک ورودی را به دلخواه تعیین کنید و عملکرد مدار را به بحث بگذارید.



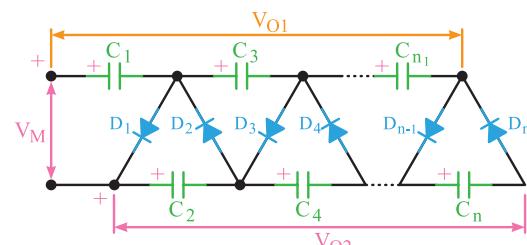
شکل ۱۳-۷۱—برش‌دهنده با استفاده از دیود زنر

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 متواالی دیودها و خازن‌ها به عنوان مدارهای پنج و شش برابرکننده، به کار آید.



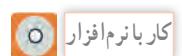
شکل ۱۳-۶۸—مدار سه و چهار برابرکننده ولتاژ

شکل ۱۳-۶۹، 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 ۱۳-۶۹—مدار n برابرکننده ولتاژ

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



فیلم مدارهای برش‌دهنده و قیچی‌کننده را بینید.



(Clipper) ۱۳-۲۱—برش‌دهنده‌ها

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.

این سه روش مطابق شکل ۱۳-۷۴ عبارت اند از:
۱- روش ژاپنی - ۲- روش اروپایی - ۳- روش آمریکایی



اینک چگونگی نام‌گذاری هر یک از سه روش فوق را

توضیح می‌دهیم:

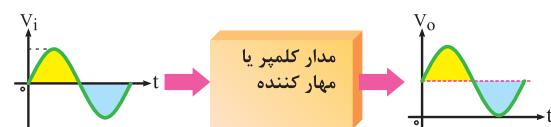
روش ژاپنی: در این روش نام‌گذاری از عدد ۱ و حرف S، که به دنبال آن می‌آید استفاده می‌شود و به دنبال آن تعدادی شماره خواهد آمد که با مراجعه به جدول می‌توان مشخصات الکتریکی آنها را به دست آورد. در این روش، جنس و نوع دیود مشخص نمی‌شود. برای مثال، دیود ۱SC1۰ دیود زنراست (در موارد زیادی برای دیودهای زنر حرف A را در انتهای شماره‌ها می‌آورند) و دیود ۱S31۰ یک دیود معمولی و دیود ۱S2۰۴۹ دیود واراکتور است.

روش اروپایی: در روش اروپایی تا سال ۱۹۶۰ تمامی دیودهارا 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 پیشتر در مدارات رادیو و تلویزیون به کار می‌رond، با دو حرف و سه شماره مشخص می‌شوند. دیودهایی که کاربرد آنها در مدارات مخصوصی است با سه حرف و دو شماره معین می‌گردد.

در ذیل 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

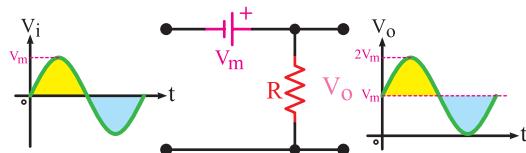
۱۳-۲۲ - مدارهای مهارکننده (Clampers)

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 ماکریم 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(ثبت) و یا زیر خط صفر (منفی) باشد، که به ترتیب مهارکننده مثبت و منفی نام دارد. شکل ۱۳-۷۲، مهارکننده را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳-۷۳ - مدار مهارکننده مثبت

عملکرد مدار شکل ۱۳-۷۳ را تحلیل کنید.



فعالیت



نکته

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

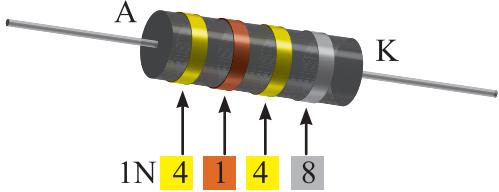


پژوهش

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 گوش و کنار دنیا از روش‌های دیگری برای نام‌گذاری استفاده می‌نمایند.



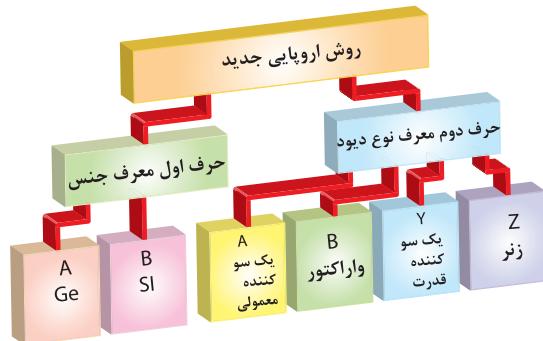
شکل ۱۳-۷۶— نامگذاری دیودها با نوار رنگی جدید

نکته !

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

را با حرف A و اگر از جنس سیلیسیم باشد با حرف B مشخص می‌نمایند. حرف دوم نوع دیود را مشخص می‌کند.

A— دیود معمولی یکسوکننده Y— دیود یکسوکننده قدرت B— دیود واراکتور Z— دیود زنر. (شکل ۱۳-۷۵)



شکل ۱۳-۷۵— نامگذاری دیودها به روش اروپایی

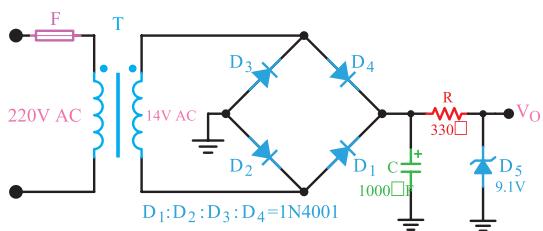
بعد از حروف، شماره‌هایی آورده می‌شود که می‌توان با مراجعه به جدول، مشخصات الکتریکی آن را به دست آورد. یادآوری می‌شود در اکثر موقع در مورد نامگذاری دیود زنر، ولتاژ زنر را نیز روی آن قید می‌نمایند.

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 ۱N⁴⁰⁰⁶ که یک دیود یکسوکننده است.

با مراجعه به شماره‌ای که بعد از N می‌آید، می‌توان با مراجعه به جدول مربوطه، مشخصات الکتریکی و نوع دیود را تعیین کرد. بعضی مواقع نیز به جای ارقام بعد از N، از کدهای رنگی استفاده می‌شود. زمانی که از کدهای رنگی استفاده می‌شود از چاپ حرف و عدد N صرف نظر می‌گردد. کدهای رنگی مانند مقاومت‌ها هستند، با این تفاوت که شماره رنگ‌ها به دنبال هم قرار می‌گیرند، مثلاً شکل ۱۳-۷۶ دیود ۱N⁴¹⁴⁸ را نشان می‌دهد.

- الگوی پرسشن (ارزشیابی و احیادگیری ۱۳ از فصل پنجم) :**
- ۱ یکسوسازی را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.
- ۲ یکسوسازی نیم موج را با رسم شکل و شکل موج‌های ورودی و خروجی، توضیح دهید.
- ۳ حداکثر ولتاژ معکوس دوسر دیود یکسوساز نیم موج، چقدر است؟
- ۴ یکسوساز پل را توضیح دهید. شکل مدار و شکل موج‌های ورودی و خروجی آن را رسم کنید.
- ۵ رابطه حداکثر ولتاژ معکوس دیود در یکسوکننده تمام موج را بنویسید.
- ۶ صافی (فیلتر) را تعریف کنید و اثرات آن را در یکسوکننده‌های نیم موج، تمام موج و پل با هم مقایسه کنید.
- ۷ اصول کار چند برابرکننده‌های ولتاژ را توضیح دهید.
- ۸ مدار شکل ۱۳-۶۸ را توضیح دهید.
- ۹ کاربرد چند برابرکننده‌های ولتاژ را نام ببرید.
- ۱۰ اصول کار مدارهای محدودکننده را توضیح دهید.

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

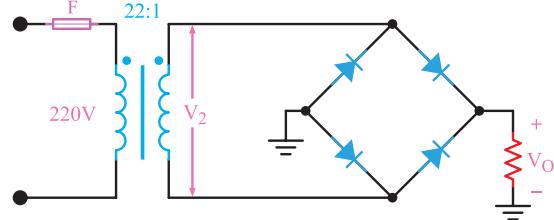


شکل ۱۳-۷۸ - مدار سؤال ۱۴

۱۵ نام‌گذاری دیود با روش ۱N4148
و OA۹۰ نام‌گذاری دیود با روش
است.

۱۶ برش‌دهنده‌های مثبت و منفی را با رسم شکل توضیح دهید.

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

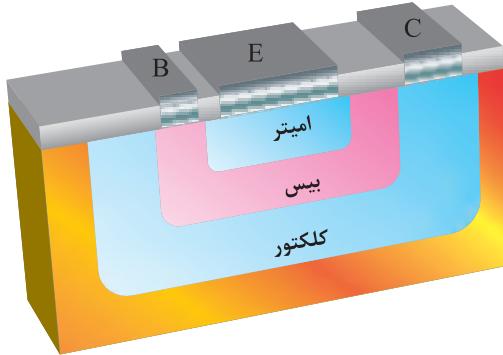


شکل ۱۳-۷۷ - مدار سؤال ۱۳

واحدیادگیری ۱۴

ترانزیستور

۱۴-۱ ساختمان ترانزیستور



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 میکرومتر است (عملًاً حدود $20\text{ }\mu\text{m}$) و سطح تماس آن نیز به میزان فرکانس وقدرت 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 عملًاً از چند میکرومتر تجاوز نمی‌کند.

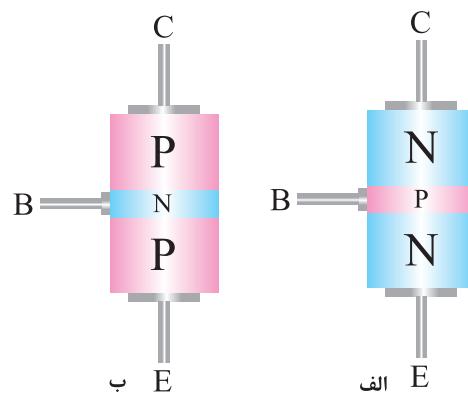
ناخالصی لایه کلکتور از امیتر کمتر و از بیس بیشتر است. ضخامت این لایه به مراتب از امیتر بزرگ‌تر است، زیرا تقریباً تمامی تلفات حرارتی ترانزیستور در کلکتور ایجاد می‌شود. شکل ۱۴-۳ تصویری از نسبت تقریبی لایه‌ها را نشان می‌دهد. سطح تماس کلکتور با بیس، حدوداً ۹ برابر سطح تماس امیتر با بیس است.

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 انجام پذیر 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 (منتشرکننده = Emitter = E)، بیس (پایه = Base = B) و کلکتور (جمعکننده = Collector = C) نامگذاری کرده‌اند. امیتر را با حرف E، بیس را با حرف B و کلکتور را با حرف C نمایش می‌دهند.

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

۱۴-۳-عملکرد ترانزیستور

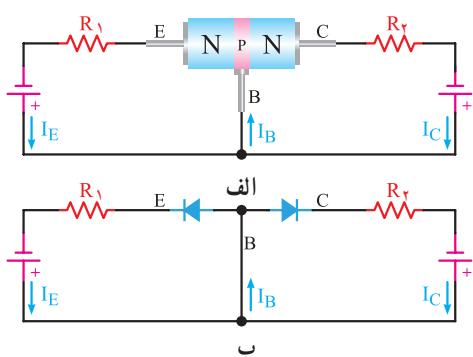
با یاس ترانزیستور: برای اینکه بتوان از ترانزیستور به عنوان مدارهایی مانند تقویت‌کننده و سوئیچ استفاده نمود، ابتدا باید ترانزیستور را از نظر ولتاژ DC تغذیه کرد، عمل تغذیه ولتاژ پایه‌های ترانزیستور را با یاس ترانزیستور می‌نامند.

با توجه به اینکه ترانزیستور دارای سه پایه مجزا است می‌توانیم یکی از پایه‌های 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 اینجا بیسین بین ورودی و خروجی، مشترک گرفته شده است.

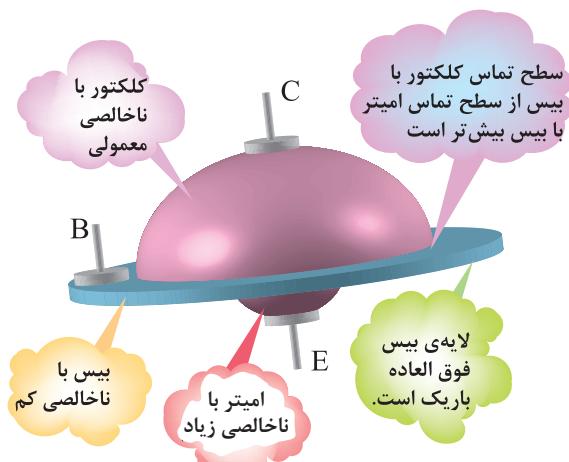
(الف) هر دو اتصال بیس-امیتر و اتصال بیس-کلکتور نیز در با یاس مستقیم است. شکل الف ۱۴-۵ این نوع با یاس را نشان می‌دهد. مقاومت‌های R_1 و R_2 در این شکل برای کنترل جریان به کار رفته است.

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



شکل ۱۴-۵- با یاس موافق در مدار معادل دیودی

همان‌طوری که از شکل مدار معادل پیداست، در این حالت با یاس، دو جریان I_E (جریانی که از امیتر عبور



شکل ۱۴-۳-نمایش نسبت تقریبی لایه‌های ترانزیستور

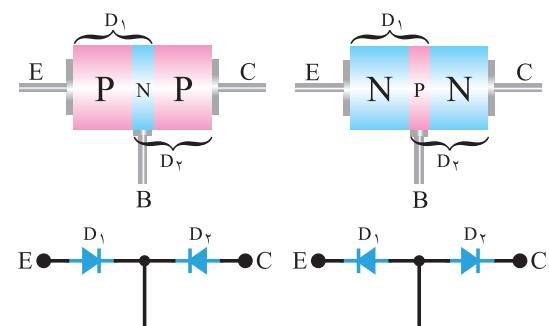
این نوع ترانزیستورها را به اختصار ترانزیستور دو قطبی تک پیوندی یا (Bipolar Junction Transistor) یا BJT می‌نامند.

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



۱۴-۲-معادل دیودی ترانزیستور

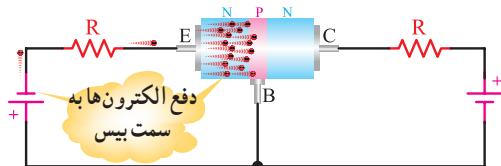
هر ترانزیستور، دارای سه پایه و ۲ پیوند است. هر پیوند را می‌توان به صورت یک دیود نشان داد. در نتیجه، معادل دیودی یک ترانزیستور به صورت شکل ۱۴-۴ نشان داده می‌شود.



شکل ۱۴-۴-معادل دیودی ترانزیستور

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

در بایاس مستقیم است، لذا بایدیک جریان در مدار بیس-امیتر داشته باشیم. (در این قسمت استثنائً جهت جریان را در جهت واقعی الکترون‌ها در نظر می‌گیریم). (شکل ۱۴-۸) (شکل ۱۴-۸)



شکل ۱۴-۸ - حرکت الکترون‌ها

همان‌طوری که از شکل ۱۴-۸ بیدا است، الکترون‌های نیمه‌هادی نوع N، توسط ولتاژ منفی باتری به سمت بیس رانده می‌شوند. گفتم که لایه بیس نسبت به امیتر و کلکتور ناخالصی کمتری دارد و ضخامت آن نیز، نسبت به دو لایه دیگر فوق العاده کم است. در اینجا سؤالی پیش 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 بیند، ولی عملاً این طور نیست و قسمت اعظم این جریان از طریق کلکتور بسته می‌شود. دلیل این عمل به شرح زیر است :

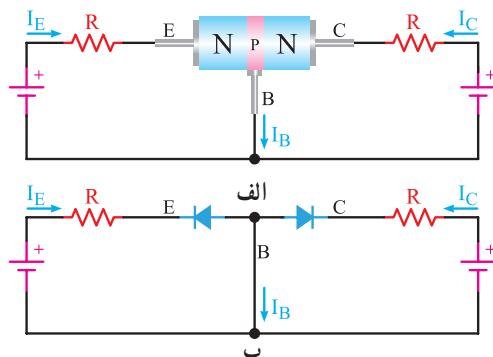
- به کلکتور ولتاژ مثبت وصل شده است و این ولتاژ قادر است، الکترون‌ها را به طرف خود جذب کند.

- 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

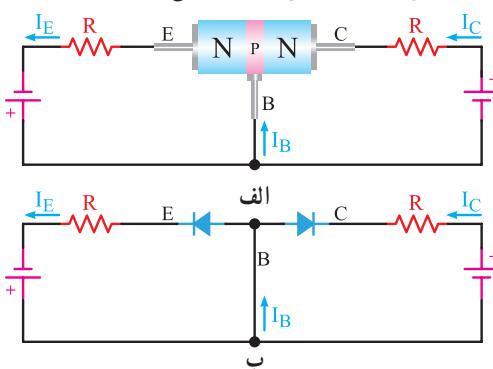
می‌کند) و I_C (جریانی که از کلکتور عبور می‌کند) هر کدام مسیر جداگانه‌ای در دو حلقه طی می‌کنند، فقط در پایه بیس با یکدیگر جمع می‌شوند و دوباره تقسیم می‌گردند.

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



شکل ۱۴-۶ - 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.



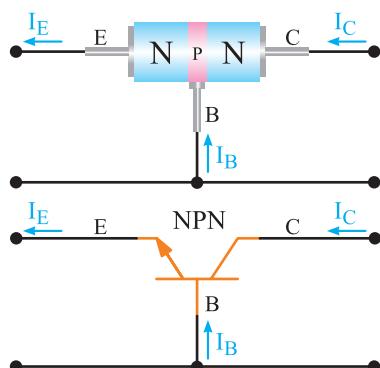
شکل ۱۴-۷ - بایاس موافق و مخالف

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

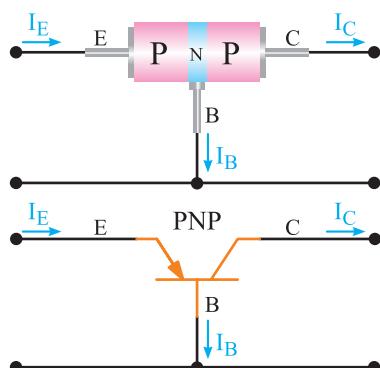
امیتر با مجموع جریان بیس و جریان کلکتور برابر است.

$$I_E = I_C + I_B$$

برای سادگی و در کجهت جریان، معمولاً جهت قراردادی را در نظر می‌گیرند. درجهت قراردادی، جریان از قطب مشبیت با تری یا منبع تغذیه خارج و پس از عبور از مدار خارجی، به قطب منفی آن وارد می‌شود. در شکل‌های ۱۴-۱۱ و ۱۴-۱۲ جهت قراردادی جریان در ترانزیستورهای NPN و PNP نشان داده شده است. جهت قراردادی جریان، همیشه با جهت دیود بیس-امیتر مطابقت دارد.



شکل ۱۴-۱۱- جهت قراردادی جریان در ترانزیستور NPN

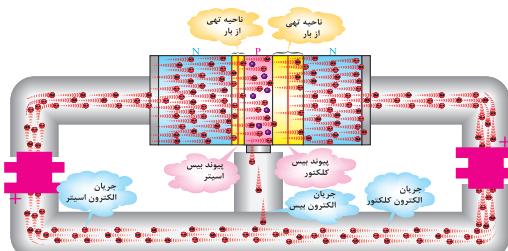


شکل ۱۴-۱۲- جهت قراردادی جریان در ترانزیستور PNP



با توجه به شکل‌های ۱۴-۱۱ و ۱۴-۱۲ 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.

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

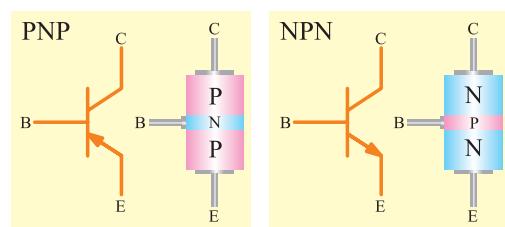


شکل ۱۴-۹- الکترون‌های عبوری از بیس و کلکتور

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

۱۴-۴- نماد فنی ترانزیستور

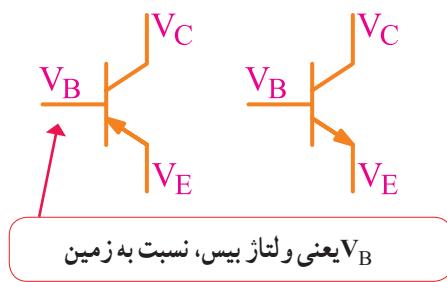
برای ساده‌تر نشان دادن ترانزیستورها در نقشه‌ها از علامت اختصاری استفاده می‌شود. شکل ۱۴-۱۰، نماد فنی ترانزیستورهای PNP و NPN را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴-۱۰- علامت قراردادی ترانزیستورهای PNP و NPN
جهت فلش در نماد فنی ترانزیستور نشان‌دهنده جهت دیود امیتر-بیس است.

۱۴-۵- 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 ۱۴-۱۱ 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



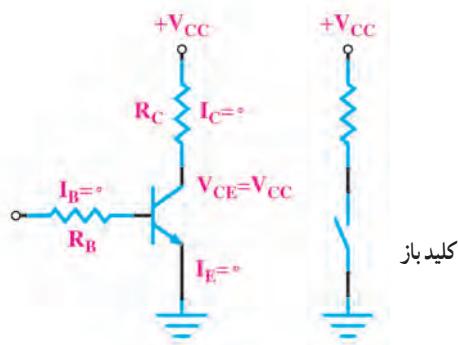
شکل ۱۴-۱۴—ولتاژ هر پایه ترانزیستور نسبت به زمین



فیلم حالات مختلف عملکرد ترانزیستور را بینید.

۱۴-۷—ترانزیستور در حالت قطع

در شکل ۱۴-۱۵ 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 $I_C = 0$ هم صفر است. در دو سر V_{CE} هیچ افت ولتاژی نداریم و همه ولتاژ منبع یعنی V_{CC} در دو سر کلکتور-امیتر ترانزیستور افت می‌کند. در این حالت ترانزیستور مانند یک کلید باز است.



شکل ۱۴-۱۵—ترانزیستور در حالت قطع

۱۴-۸—ترانزیستور در حالت اشباع

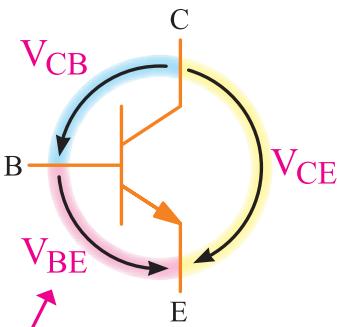
وقتی بیس امیتر ترانزیستور را بایاس موافق کنیم و I_B را افزایش دهیم، I_C هم افزایش می‌یابد، هرگاه I_C به حد اکثر مقدار خود برسد، $(I_{Cmax} = \frac{V_{CC}}{R_C})$ ولتاژ کلکتور امیتر صفر و ترانزیستور در حالت اشباع است. ترانزیستور

۱۴-۹—نام‌گذاری ولتاژهای ترانزیستور

برای اینکه بتوان از ترانزیستور به عنوان مداری مانند تقویت‌کننده سیگنال‌های الکتریکی استفاده کرد، باید ترانزیستور با ولتاژ DC تغذیه شود. در هر حالت، ولتاژهایی که به قسمت‌های مختلف ترانزیستور اعمال می‌شوند، با هم فرق می‌کنند در این قسمت به نام‌گذاری ولتاژ قسمت‌های مختلف می‌پردازیم.

ولتاژ که به پایه‌های بیس و امیتر وصل می‌شود با V_{BE} ، ولتاژی که به پایه‌های کلکتور-بیس داده می‌شود با V_{CB} ، ولتاژی که بین کلکتور-امیتر وصل می‌شود با V_{CE} ، ولتاژ منبع تغذیه کلکتور را با V_{CC} و ولتاژی که انرژی بیس را تأمین می‌کند با V_{BB} نشان می‌دهند.

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



يعني ولتاژ بیس، نسبت به امیتر

شکل ۱۴-۱۳—نام‌گذاری ولتاژ بین پایه‌های ترانزیستور

ولتاژ هر پایه، را نسبت به زمین یا نسبت به هر مرجع دیگری، با حرف V و نام پایه مورد نظر نشان می‌دهند. مثلاً V_C پتانسیل (ولتاژ) پایه کلکتور نسبت به زمین است. در شکل ۱۴-۱۴ ولتاژ نقاط مختلف یک ترانزیستور نسبت به زمین نشان داده شده است.

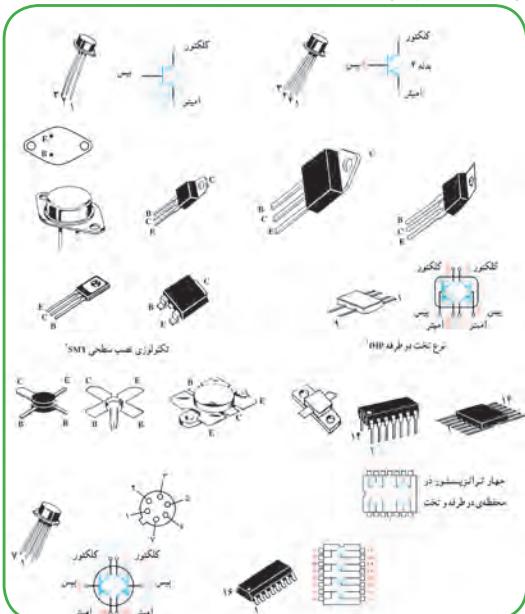


نرم افزار

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

۱۴-۱۰- شکل ظاهری چند نمونه ترانزیستور و پایه‌های آن

در شکل‌های ۱۴-۱۸ انواع ترانزیستور و پایه‌های آن را مشاهده می‌کنید. مانند سایر قطعات الکترونیکی مشخصات فنی ترانزیستور را نیز در برگه اطلاعات (Data Sheet) می‌نویسند. این اطلاعات قابل دسترسی در فضای مجازی است.



شکل ۱۴-۱۸- انواع ترانزیستور

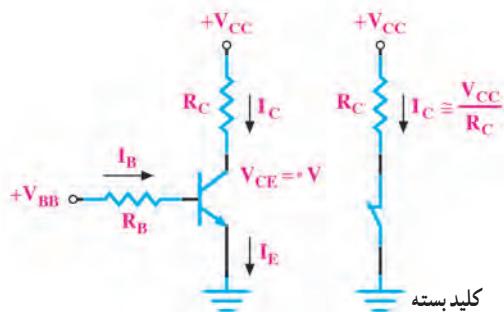


فیلم

فیلم عمل تقویت‌کنندگی در ترانزیستور را ببینید.

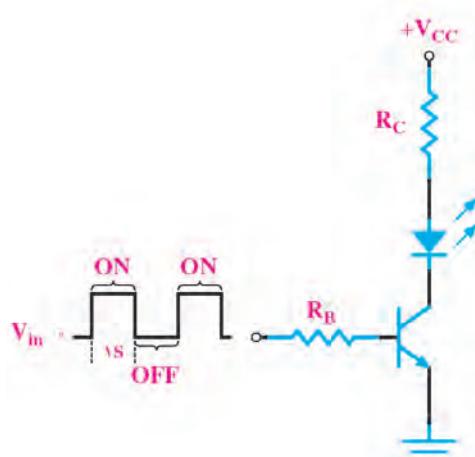
۱۴-۱۱- چگونگی عمل تقویت‌کنندگی در ترانزیستور برای تقویت یک سیگнал الکتریکی توسط ترانزیستور، باید سیگнал را به ورودی ترانزیستور داد و از خروجی آن، سیگнал تقویت شده را دریافت نمود، در شکل ۱۴-۱۹ پایه بیس پایه مشترک بین ورودی و خروجی، امیر-بیس

در حالت اشباع به طور ایده‌آل مانند یک کلید بسته عمل می‌کند. (شکل ۱۴-۱۶)



شکل ۱۴-۱۶- ترانزیستور در حالت اشباع

۱۴-۹- کاربرد ساده ترانزیستور به عنوان کلید در شکل ۱۴-۱۷ 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 می‌گیرد. در این شرایط جریان کلکتور از LED عبور نموده، آن را روشن می‌کند. بدین ترتیب، LED یک ثانیه روشن و یک ثانیه خاموش بوده و یشمک می‌زند.



شکل ۱۴-۱۷- کاربرد ترانزیستور به عنوان کلید

یک سیگنال متناوب با دامنه مثلاً 10V ولت را به ورودی ترانزیستور اعمال می‌کنیم. می‌خواهیم بینیم آیا این سیگنال تقویت خواهد شد یا نه؟ اگر مقاومت دیود امیتر-بیس را به هنگام اعمال سیگنال، معادل $2\text{k}\Omega$ فرض کنیم در حلقه ورودی، جریان ناشی از سیگنال متناوب برابر است با :

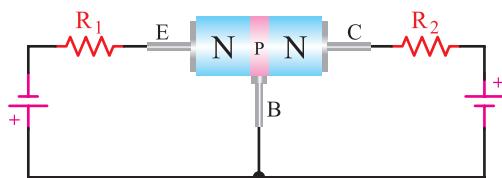
$$I = \frac{10\text{V}}{10\text{k}\Omega + 2\text{k}\Omega} = 0.83\text{mA}$$

همان‌گونه که بیان شد، قسمت اعظم جریان امیتر از طریق کلکتور مسیر خود را می‌بندد. از این رو، این جریان تقریباً از مقاومت $R_2 = 1\text{k}\Omega$ ، که با کلکتور سری شده است، عبور می‌کند و در دو سر مقاومت $1\text{k}\Omega$ افت ولتاژ متناوبی با دامنه $U_{R2} = 0.83\text{V}$ 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 :

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

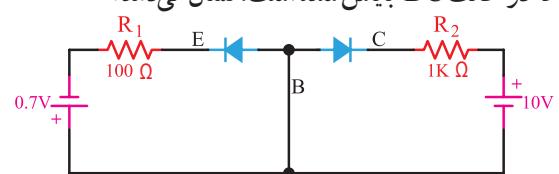
پس سیگنال متناوب ورودی $8/3$ مرتبه تقویت شده است. با طراحی مدارهای ترانزیستوری و با تغییر مقدار مقاومت‌ها می‌توان دامنه سیگنال خروجی را روی مقدار مورد نظر تنظیم نمود. همان‌گونه که مشاهده شد، تمام جریانی که از مقاومت R_2 می‌گذرد تقریباً از مقاومت R_2 هم عبور می‌کند. این عمل تنها به وسیله ترانزیستور صورت 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.



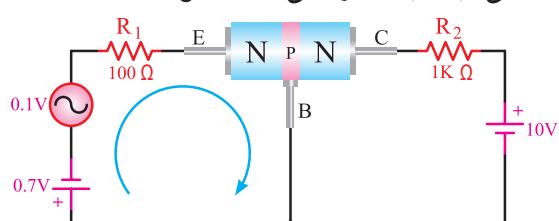
شکل ۱۴-۱۹- ترانزیستور بایاس شده

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



شکل ۱۴-۲۰- بایاس DC ترانزیستور

ولتاژ بایاس امیتر-بیس را حدود $7/0$ ولت (زیرا ولتاژ $7/0$ 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 ۱۴-۲۱)



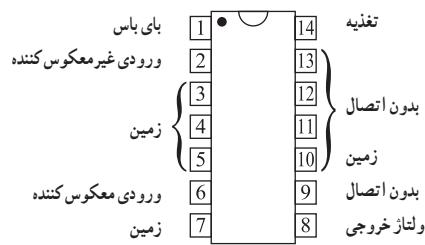
شکل ۱۴-۲۱- اتصال سیگنال متناوب به مدار



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



(ب) بسته‌بندی ۸ پایه



(ت) بسته‌بندی ۱۴ پایه

شکل ۱۴-۲۴- شکل ظاهري

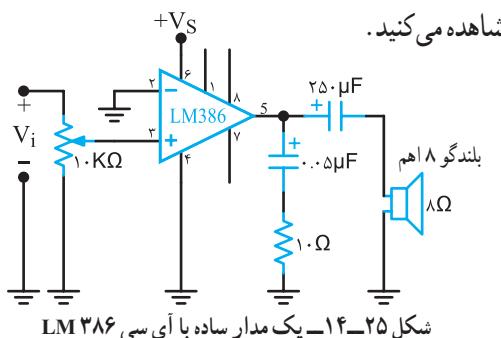
مشخصات فني مدارهای مجتمع را مانند سایر قطعات در برگه اطلاعات (Data Sheet) می‌آورند.

آي سى LM386 نوعی تقویت‌کننده صوتی است که می‌تواند تا چند صد میلیوات توان را به خروجی تحويل دهد، اين آي سى می‌تواند در ولتاژهای کم تا ۴V ۴۷ کار کند. در زیر تعدادی از مشخصات LM386 داده شده است.

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

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

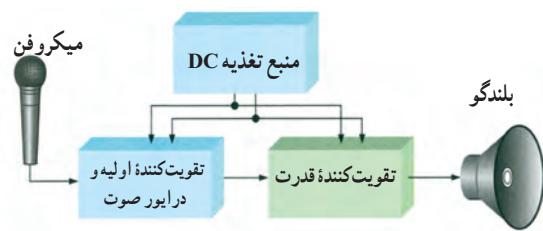
نقشه يك مدار ساده با استفاده از LM386 ، نماد فني و شکل ظاهري آي سى را در شکل های ۱۴-۲۷، ۲۶، ۲۵ مشاهده می کنيد.



شکل ۱۴-۲۵- يك مدار ساده با آي سى LM ۳۸۶

۱۴-۱۲- معرفی دو نمونه آي سى آمپلي فايير

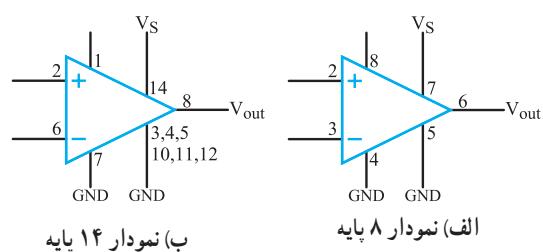
همان‌طور که اشاره شد امروزه مدارهای الکترونیکی را به صورت مدار مجتمع یا IC می‌سازند. در شکل ۱۴-۲۲ بلوک دیاگرام يك نمونه تقویت‌کننده صوتی (Audio amplifier) را مشاهده می‌کنيد.



شکل ۱۴-۲۲- بلوک دیاگرام يك نمونه آمپلي فايير صوت

در سال‌های اخیر تعداد متنوعی از تقویت‌کننده‌های قدرت که توانایی تحويل تا چند وات را به مقاومت‌های بارکوچک (مانند بلندگو) دارند، به صورت تراشه ساخته شده‌اند.

يکی از تراشه‌ها LM386 است که شکل ظاهري و نماد آن را در شکل‌های ۱۴-۲۴، ۲۳ مشاهده می‌کنيد. در بسته‌بندی درجه‌بندی‌های ۱۴ و ۸ پایه وجود دارد. در بسته‌بندی نوع ۱۴ پایه، تعدادی از پایه‌ها به زمین وصل شده‌اند و نقش رادياتور را بر عهده دارند.



شکل ۱۴-۲۳- نماد آي سى



شکل ۱۴-۲۸_روش‌های نام‌گذاری ترانزیستورها

فرایند نام‌گذاری قطعات مانند ترانزیستورها و آی‌سی‌ها در کتاب اطلاعات (Data Book) درج می‌شود و هنرجویان باید قادر باشند این اطلاعات را از منابع مربوطه استخراج و استفاده کنند.

■ نام‌گذاری به روش ژاپنی

نام‌گذاری ترانزیستورها با روش ژاپنی با عدد ۲ شروع می‌شود و به دنبال آن حرف S می‌آید. بعد از ۲S، یکی از چهار حرف A، B، C و D قرار می‌گیرد، که با توجه به کتاب اطلاعات مفاهیمی به شرح زیر دارد :

۱- حرف A نشان‌دهنده ترانزیستور از نوع PNP است و در فرکانس‌های بالا، نیز می‌تواند کار کند.

(High frequency=HF)

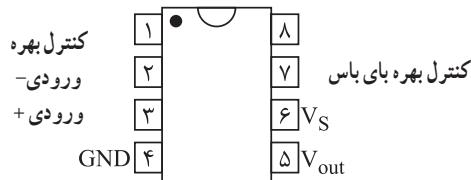
۲- حرف B نشان‌دهنده ترانزیستور از نوع PNP است در فرکانس‌های کم می‌تواند کار کند.

(Low frequency=LF)

۳- حرف C نشان‌دهنده ترانزیستور از نوع NPN است و در فرکانس‌های بالا، نیز می‌تواند کار کند.

۴- حرف D نشان‌دهنده ترانزیستور از نوع NPN است و در فرکانس‌های کم نیز می‌تواند کار کند.

- بعد از این حروف تعداد ۲ یا ۳ یا ۴ رقم عدد قرار می‌گیرد که با مراجعه به جدول می‌توان مقادیر مشخصه‌های الکتریکی آن را به دست آورد. در این سیستم، حروف روی ترانزیستور، مشخص‌کننده جنس نیمه‌هادی به کار



شکل ۱۴-۲۶_بسته بندی ۸ پایه



شکل ۱۴-۲۷_شکل ظاهری



فعالیت

- ۱- در یکی از نرم‌افزارها یکی از مدارهای تقویت‌کننده با IC را بیندید و تجربه کنید.
- ۲- با مراجعه به فضای مجازی، برگه اطلاعات (Data Sheet) آی‌سی تقویت‌کننده LM۳۸۶ را بارگیری کنید و مشخصات آن را با مشخصات داده شده در کتاب تطبیق دهید.

۱۴-۱۳_نام‌گذاری ترانزیستورها

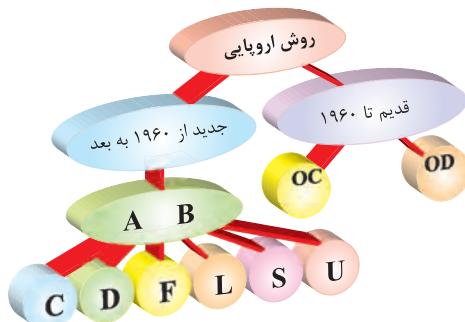
برای نام‌گذاری ترانزیستورها، سه روش مشهور در دنیا وجود دارد. گرچه تعدادی از کارخانجات در گوش و کنار دنیا از نام‌گذاری خاصی استفاده می‌نمایند.

این سه روش، عبارت اند از :

- نام‌گذاری به روش ژاپنی
- نام‌گذاری به روش اروپایی
- نام‌گذاری به روش امریکایی

شکل ۱۴-۲۸ نموداری از نام‌گذاری‌ها را نشان می‌دهد.

برای استخراج آن باید به منابع مربوطه مراجعه کنید.



شکل ۱۴-۳۰—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, U, D, F, L, S، یا U استفاده می‌نمایند که معانی هر یک از این حروف به شرح زیر است :

C : ترانزیستور کم قدرت – فرکانس کارکم.

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.

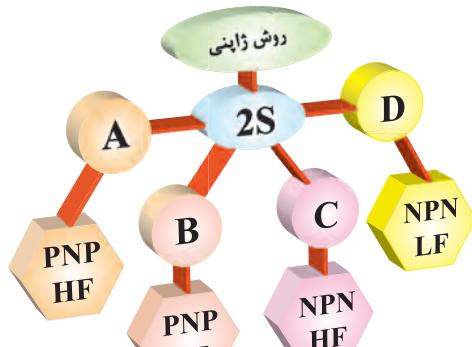
U : ترانزیستور قدرت، به صورت سوئیچ به کار می‌رود.

سه شماره بعد، نشان دهنده 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 ۱۴-۳۱ نشان داده شده است :



شکل ۱۴-۳۱—مشخصات ترانزیستور ۷BC107

رفته (ژرمانیوم یا سیلیسیم) و همچنین حدود قدرت آن نیست. مثلاً المان سه پایه به شماره ۲SC۸۲۹ نشان دهنده ترانزیستور از نوع NPN با محدوده فرکانسی بالا است. بر روی اکثر ترانزیستورها، حرف ۲S را قید نمی‌نمایند، مثلاً ۲SC829 همان ۲SC829 است. (شکل ۱۴-۲۹)



شکل ۱۴-۲۹—نامگذاری ترانزیستورها به روش ژاپنی

■ نامگذاری به روش اروپایی

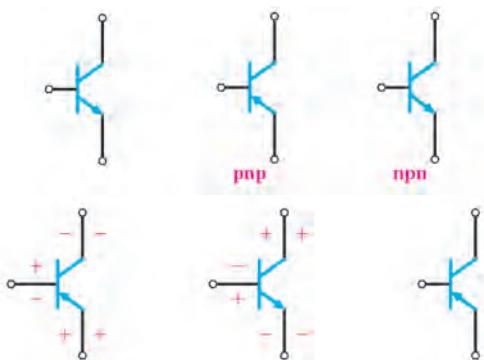
در نامگذاری روش اروپایی، تا سال ۱۹۶۰، ترانزیستور را با حرف OC و OD و با ۲، ۳ یا ۴ عدد به دنبال آن مشخص می‌کردند که OC برای ترانزیستورهای کم قدرت و OD برای ترانزیستورهای پرقدرت به کار می‌رفت. مانند ۲SC722، ۲SC723، ۲SC724 یا ۲SC725 در این روش نامگذاری، نوع ترانزیستور (PNP-NPN) یا جنس نیمههادی به کار رفته 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 یادرو سایل 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 ولتاژ زیاد به کار برده می‌شود. در این مبحث روش نامگذاری با دو حرف و سه شماره گفته خواهد شد. (شکل ۱۴-۳۰)

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

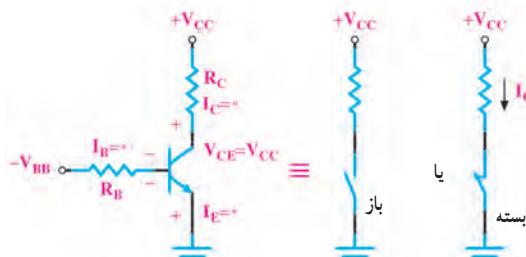
الگوی پرسش (ارزشیابی و احیدادگیری ۱۴ از فصل پنجم):

- 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 ۱۴-۳۲ را تعیین کنید.



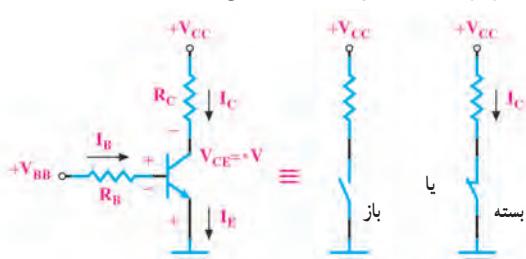
شکل ۱۴-۳۳—مدار سؤال ۵

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



شکل ۱۴-۳۴—مدار سؤال ۶

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



شکل ۱۴-۳۵—مدار سؤال ۷

همچنین برخی از مشخصات فنی ترانزیستور BF480°، ترانزیستور کم قدرت بوده، و جنس آن از سیلیسیم است و با فرکانس زیاد (10GHZ) 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 ۲ 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 ۲N2219 دست آورد. برای مثال مشخصات ترانزیستور ۲N2219 و چند المان سه قطبی را در شکل ۱۴-۳۲ مشاهده می‌کنید.

2N 2219



۲N3055= ترانزیستور قدرت (NPN)

که در فرکانس‌های کم کار می‌کند.

۲N2646= ترانزیستور تک اتصالی (UJT)

۲N1842= تریستور

۲N6139= تراپاک

شکل ۱۴-۳۲—مشخصات ظاهری چندالمان سه قطبی

ارزشیابی شایستگی پودمان ۵ : الکترونیک و کاربرد آن

سال تحصیلی: ۱۳۹۶-۹۷			پایه: دهم	رشته تحصیلی: الکترونیک	
کد کتاب: ۲۱۰۲۷۵			کد درس:	کد رشته: ۷۱۴۱۰	
نمره	شاخص تحقق			استاندارد عملکرد	تکالیف عملکردی (واحدهای یادگیری)
۳	اجرای همه بندها و ارائه موارد دیگری از کاربردهای دیود و ترانزیستور	بالاتر از حد انتظار	نتایج ممکن	۱- مفاهیم و تعاریف دیود و ترانزیستور و ولتاژبندی آنها	۱- دیود و کاربرد آن
۲	اجرای بند ۲، ۳ و ۴	در حد انتظار		۲- انواع دیود	۲- ترانزیستور و کاربرد آن
۱	اجرای فقط ۲ بند	پایین‌تر از حد انتظار		۳- کاربردهای دیود	کاربرد آن
۴- کاربردهای ترانزیستور					
نمره مستمر از ۵					
نمره شایستگی پودمان					
نمره پودمان از ۲۰					
<ul style="list-style-type: none"> - نمره شایستگی پودمان منحصراً شامل نمرات ۱، ۲، 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. 					

منابع و مأخذ مورد استفاده

- ۱- برنامه درسی رشته الکترونیک - دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کارداش - ۱۳۹۳
- ۲- اصول الکترونیک، گروب، ترجمه احمد ریاضی، سید محمود صموتی، محمود همتایی دانشکده شهید شمسی پور
- ۳- فلوبید توماس، اصول و مبانی مدارهای الکتریکی، مترجم مهرداد عابدی، انتشارات جهاد دانشگاهی، دانشگاه امیرکبیر
- ۴- اندرسن چارلز، دوره جامع برق و الکترونیک، مترجم محمدرضا محمدی فر، انتشارات سپهر Electronic devices and Circuit theory by robert Boylestad Louis Nashilsky
- ۵- Transistor Fundamentals by Robert J Brite _۶
- Transistor Circuit action by Henry C. Vealch _۷
- Electronic Devices Electron Flow Version Flord _۸
- ۹- مبانی برق کد ۳۵۸/۱۸ مؤلفان فریدون قیطرانی، عین‌الله 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 - فتح‌الله نظریان - محمود همتایی - سید محمود صموتی - شهرام نصیری سوادکوهی، ۱۳۹۴
- ۱۲- آزمایشگاه مجازی ۱، کد ۳۵۸/۳، مؤلفان مهین ظریفیان جولاوی - 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 جولاوی - سید محمود صموتی - سید علی صموتی - محمود شبانی، ۱۳۹۴، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران
- ۱۴- الکترونیک پایه، کد ۶۰۹/۱۷، مؤلفان فتح‌الله نظریان - سید محمود صموتی - شهرام نصیری سوادکوهی - فرشته داودی لعل آبادی - سهیلا ذوالفقاری، ۱۳۹۴، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران
- ۱۵- الکترونیک عمومی، کد ۴۹۰/۵، مؤلفان سید محمود صموتی - شهرام نصیری سوادکوهی - یدالله رضازاده - غلامحسین نصری - فتح‌الله 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)

