فصل ۱

الکترونیک

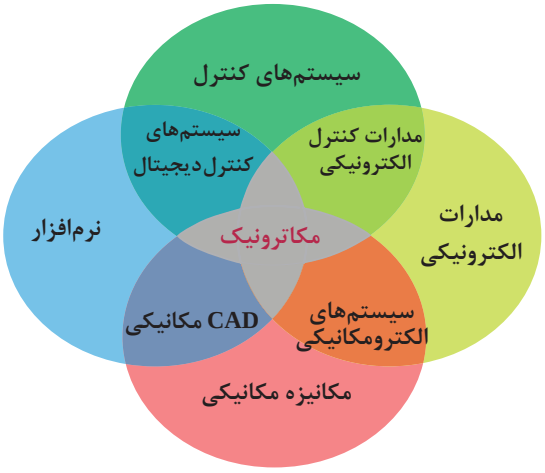
- اتصال سری و موازی مقاومت‌ها در یک مدار الکتریکی را تحلیل نماید.
- قوانین جریان و ولتاژ کیرشهف را تحلیل نماید.
- انواع جریان مستقیم و متناوب را توضیح دهد.
- بوبین را تعریف، نحوه ساخت و همچنین تغییرات میدان مغناطیسی را در بوبین توضیح دهد.
- اتصال سری و موازی سلف‌ها در یک مدار الکتریکی را تحلیل نماید.
- خازن را تعریف و نحوه شارژ و دشارژ آن را توضیح دهد.
- اتصال سری و موازی خازن‌ها در یک مدار الکتریکی را تحلیل نماید.
- اتصال نیمه هادی‌های نوع N و P و نحوه تشکیل دیود را شرح دهد.
- دیود را در بایاس مستقیم و معکوس با رسم مدار تحلیل، و منحنی ولت- آمپر آن را ترسیم نماید.
- مقاومت استاتیکی و دینامیکی دیود را در مدار با رسم منحنی تحلیل نماید.
- ویژگی‌های دیود را با رسم مدار داخلی و عملکرد آن تشریح نماید.
- انواع ترانزیستور را نام برده و با رسم مدار داخلی و شماتیک آن، بایاس نمودن ترانزیستور را تشریح نماید.
- کاربرد ترانزیستور به عنوان کلید و عملکرد آن را در مدار اعلام حریق تحلیل نماید.

مکاترونیک چیست؟

در اوایل قرن بیستم علوم مهندسی، برق، مکانیک، عمران، و شیمی در حوزه‌های تخصصی مجزا، منابع علمی و مشاغل مربوط به خود را داشتند. با گذشت زمان و پیشرفت فناوری‌های نوین، پردازنده‌های کامپیوتری، قطعات الکترونیکی و مکانیزم‌ها، نیاز به تخصص‌های ترکیبی برای طراحی و نگهداری دستگاه‌ها و سیستم‌های جدید بسیار پر اهمیت گردید. مکاترونیک یکی از این زمینه‌های تخصصی ترکیبی بوده و شامل بخش‌های الکترونیک، مکانیک و نرم‌افزار کامپیوتری است که توسط سیستم کنترل با یکدیگر مرتبط و هماهنگ شده‌اند.

به عبارت دیگر، سیستم مکاترونیکی حاصل کنار هم قرار دادن بخش‌های الکترونیکی، مکانیکی و سیستم کنترل با ترکیب بهینه و همراه با هم‌افزایی این سیستم‌ها است.

در یک سیستم مکاترونیکی مانند خودرو، مرز مشخصی بین بخش‌های الکترونیک، مکانیک و سیستم کنترل وجود ندارد، شکل ۱ـ۱ نحوهٔ ارتباط بخش‌های مختلف علم مکاترونیک را نشان می‌دهد.



شکل ۱ـ۱ـ حوزهٔ گستردگی علم مکاترونیک

صنایع و مشاغل مکاترونیکی

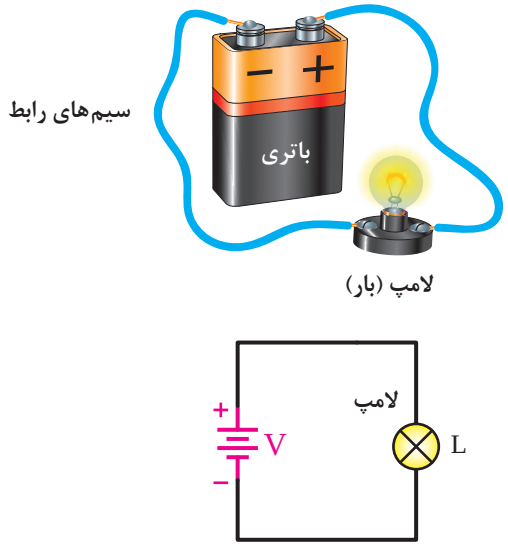
مهندسی مکاترونیک در صنایع متنوعی کاربرد دارد. کمک مهندس، تعمیرکار، نصاب، راه‌انداز، تکنسین، طراح سیستم اتوماسیون، اپراتور و برنامه‌ریز نمونه‌هایی از این مشاغل هستند که نمونه‌هایی از آنها به اختصار آورده شده‌اند.

نمونه‌هایی از مشاغل و صنایع مرتبط با مکاترونیک

صنایع اتومبیل (Automotive Technology)	سیستم‌های آموزش (Training Systems)	اتوماسیون (Automation)
صنعت جابه‌جایی (Handling & Transport)	فناوری اتاق تمیز (Clean Room Technology)	صنعت فرش (Carpentry Industry)
صنعت سرامیک (Ceramic Industry)	صنعت پلاستیک (Plastic Industry)	صنعت پوشاک (Garment Industry)
صنعت هیدرولیک (Hydraulic Industry)	صنعت برق و الکترونیک (Electronic and Electric Industry)	تست و مونتاژ قطعات ریز (Assembler)
صنعت غذایی (Food Industry)	صنعت نفت و گاز (Oil & Gas Industry)	صنعت پتروشیمی (Petrochemical Industry)
صنعت چوب (Wood Industry)	فلزکاری (Metal Working)	صنعت اسباب‌بازی (Toy Industry)
صنعت چاپ و کاغذ (Paper & Printing)	صنعت پزشکی (Medical Industry)	صنعت خودرو (Mobile Technology)
صنعت هوایی (Airspace Industry)	صنعت کشتی‌سازی (Shipping)	صنعت داروسازی (Medicine Industry)
صنعت بسته‌بندی (Packaging)	صنعت ساختمان (Building Industry)	صنعت ابزارآلات (Tools Technique)
صنعت بطری‌سازی (Filling & Botteling)	صنعت نوشیدنی (Drink Industry)	صنعت معدن (Mining)
صنعت شیشه (Glass Industry)	کنترل فرایند (Process Control)	ساخت ماشین‌آلات (Machinery)

منابع تغذیه

در یک باتری دو قطب مثبت و منفی وجود دارند. اگر باتری را به‌صورت شکل ۲-۱ در یک مدار الکتریکی قرار دهیم نیرویی بین دو قطب باتری به‌وجود می‌آید که بارهای الکتریکی را به حرکت در می‌آورد و بارهای منفی از قطب منفی به سمت قطب مثبت حرکت می‌کنند.

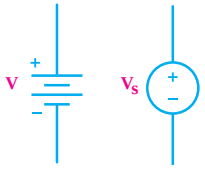


شکل ۲-۱- باتری و لامپ در یک مدار بسته

به این نیروی داخلی باتری **اختلاف پتانسیل یا ولتاژ** می‌گویند که واحد آن ولت است. حرکت بارهای الکتریکی در داخل مدار بسته را **جریان الکتریکی** می‌نامیم که واحد آن آمپر است. توجه شود که جهت جریان در مدار خلاف جهت حرکت بارهای منفی است. به باتری یک منبع ولتاژ می‌گوییم.

منابع تغذیه در مدارهای الکتریکی تولیدکننده انرژی هستند و باعث روشن شدن و عمل کردن مدار می‌شوند.

در حالت کلی **ولتاژ دو سر منبع ولتاژ ثابت یا تابع مشخصی از زمان است و جریان آن توسط بقیه اجزایی که در مدار بسته قرار گرفته‌اند تعیین می‌شود.** اگر ولتاژ منبع در طول زمان ثابت باشد آن را **منبع ولتاژ مستقیم** می‌نامیم. در این منابع دامنه و جهت ولتاژ همواره ثابت است و با زمان تغییر نمی‌کند. این منابع در اکثر دستگاه‌های الکترونیکی مانند تلویزیون، رادیو، موبایل، کامپیوتر و غیره وجود دارند. **منابع ولتاژ متناوب** نوع دیگری از منابع هستند که در آنها دامنه و جهت ولتاژ با زمان تغییر می‌کند. در مدارات منابع ولتاژ به‌صورت روبه‌رو نمایش داده می‌شوند.

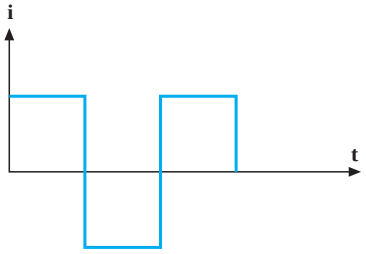
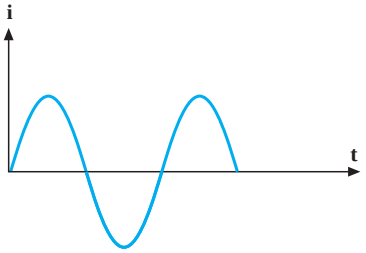
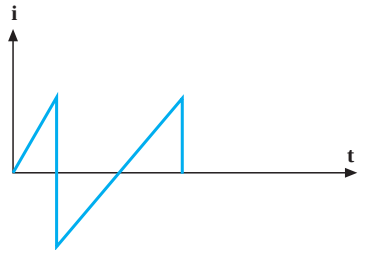
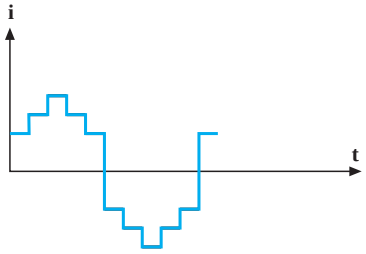


شکل سمت راست برای منابع ولتاژ در حالت کلی و شکل سمت چپ برای منابع ولتاژ مستقیم استفاده می‌شود.

انواع منبع متناوب

برای نشان دادن چگونگی تغییر جریان در زمان از شکل موج استفاده می‌کنیم. در شکل ۳-۱ چند نمونه شکل موج را مشاهده می‌کنید. یکی از انواع شکل موج‌ها، شکل موج جریان متناوب سینوسی است. هر نیمه از شکل موج جریان متناوب سینوسی قرینهٔ نیمه دیگر آن با قطب معکوس است.

جریان سینوسی معمول‌ترین نوع جریان متناوب است.

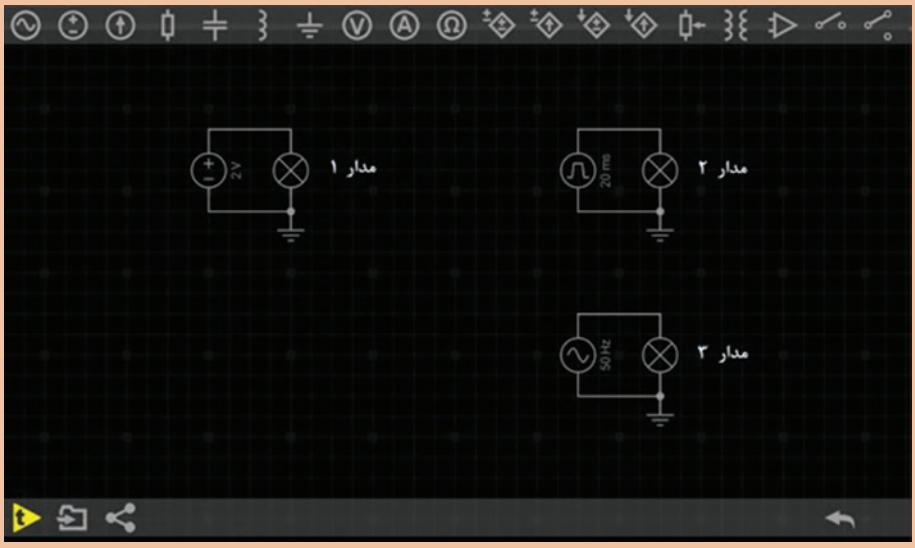
نام جریان	شکل جریان
موج مربعی	
موج سینوسی	
موج دندانه اره‌ای	
موج پله‌ای	

شکل ۳-۱- چند نمونه از شکل موج‌های جریان متناوب

فیلم کار با نرم افزار Every Circuit

فعالیت ۱

مدارهای زیر را در نرم‌افزار Every Circuit ببندید و میزان روشنایی لامپ‌ها را مشاهده کنید و نتیجه مشاهدات را یادداشت کنید.



.....

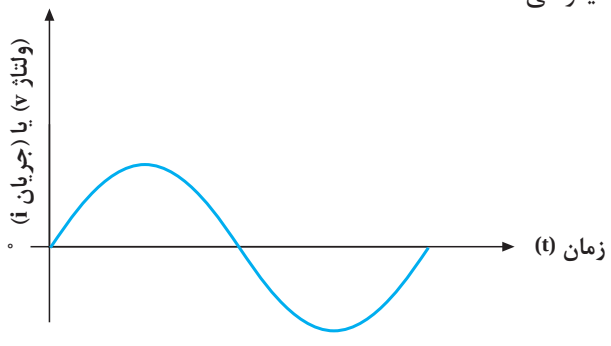
.....

.....

.....

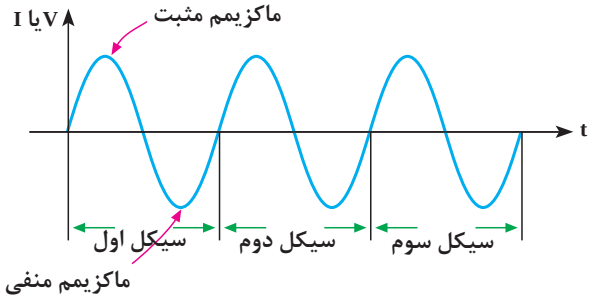
مشخصات جریان متناوب

در بررسی برخی مدارهای جریان متناوب (AC) با موج سینوسی سر و کار داریم. در این مدارها ولتاژ و جریان، هر دو متناسب و به شکل موج سینوسی هستند. شکل ۴-۱ یک موج سینوسی را نشان می‌دهد که بیانگر جریان یا ولتاژ سینوسی است.



شکل ۴-۱- موج سینوسی

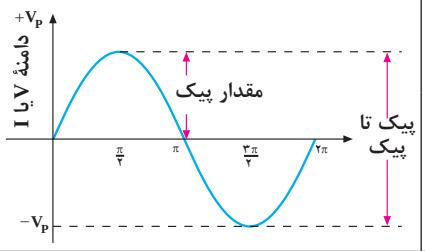
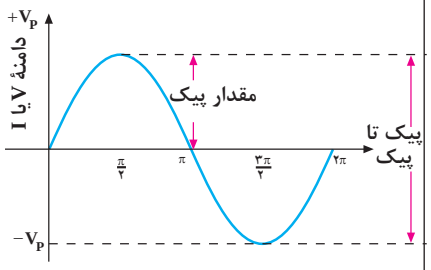
همان‌طور که می‌بینید، مقدار و جهت ولتاژ یا جریان با زمان تغییر می‌کند. یعنی از صفر شروع می‌شود به مقدار پیک یا ماکزیمم مثبت می‌رسد. آن‌گاه دوباره صفر می‌شود و سپس به پیک یا ماکزیمم منفی می‌رسد و باز صفر می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌کنید، هنگامی که موج سینوسی از صفر می‌گذرد، **جهت یا پلاریتهٔ** خود را عوض می‌کند. به عبارت ساده‌تر، موج سینوسی بین مقادیر مثبت و منفی تناوب می‌کند. مجموعهٔ یک تناوب مثبت و منفی را یک **سیکل یا دوره تناوب** (Period) گویند (شکل ۵-۱).

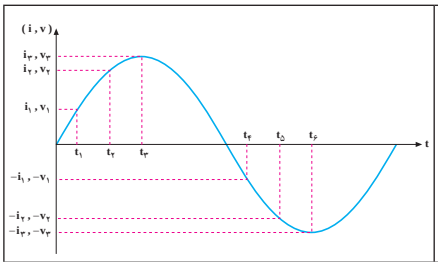
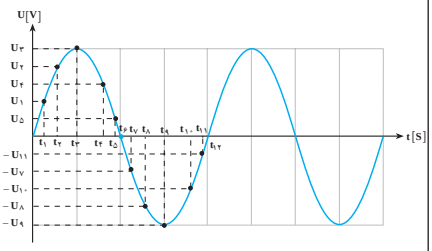
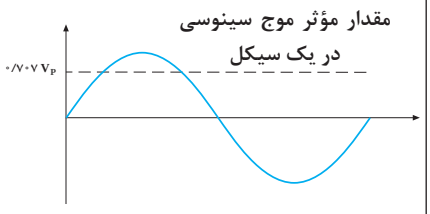


شکل ۵-۱- نمای یک شکل متناوب سینوسی در سه دوره تناوب

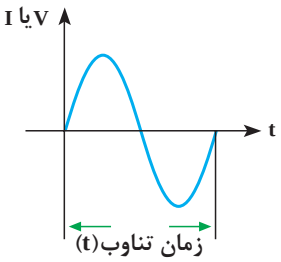
در جدول زیر تعدادی از اصطلاحات مرتبط با موج‌های تناوبی آورده شده است.

جدول ۱-۱- اصطلاحات مرتبط با منبع متناوب

ردیف	نام	مقادیر مهم ولتاژ متناوب	تشریح	رابطه	تصویر
۱	ولتاژ پیک	V_p	فاصله بین صفر (محور افقی زمان) تا مثبت‌ترین نقطه شکل موج	$V_p=V_{max}$	
	ولتاژ ماکزیمم	V_{max}			
۲	ولتاژ پیک تا پیک	V_{p-p}	فاصله بالاترین نقطه پیک مثبت تا پایین‌ترین نقطه پیک منفی موج	$V_{p-p}=2V_p$	

۳	ولتاژ لحظه‌ای	V	مقدار ولتاژ در هر لحظه از زمان	$V=V_m \sin\omega t$	
۴	ولتاژ متوسط	V_{ave}	میانگین مقادیر لحظه‌ای یک موج در یک دوره تناوب است	$V_{ave}=\frac{V_m}{\pi}$ $=۰/۳۱۸V_p$	
۵	ولتاژ مؤثر	$V_{rms}=V_e$	مقدار ولتاژ مستقیم که در یک مصرف‌کننده معین همان مقدار کار یا حرارت تولید می‌کند.	$V_e=V_{rms}=\frac{V_m}{\sqrt{۲}}$ $=۰/۷۰۷V_m$	

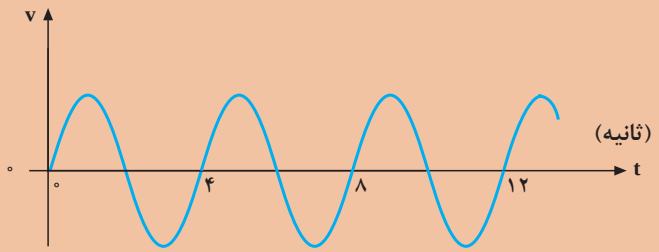
همان‌طور که دیدید، موج سینوسی با زمان (t) تغییر می‌کند. بنا به تعریف، مدت زمانی را که طول می‌کشد تا یک سیکل کامل به وجود آید، زمان تناوب یا پریود می‌گویند و آن را با حرف T نمایش می‌دهند (شکل ۶-۱).



شکل ۶-۱- دوره تناوب یک موج سینوسی

مثال ۱

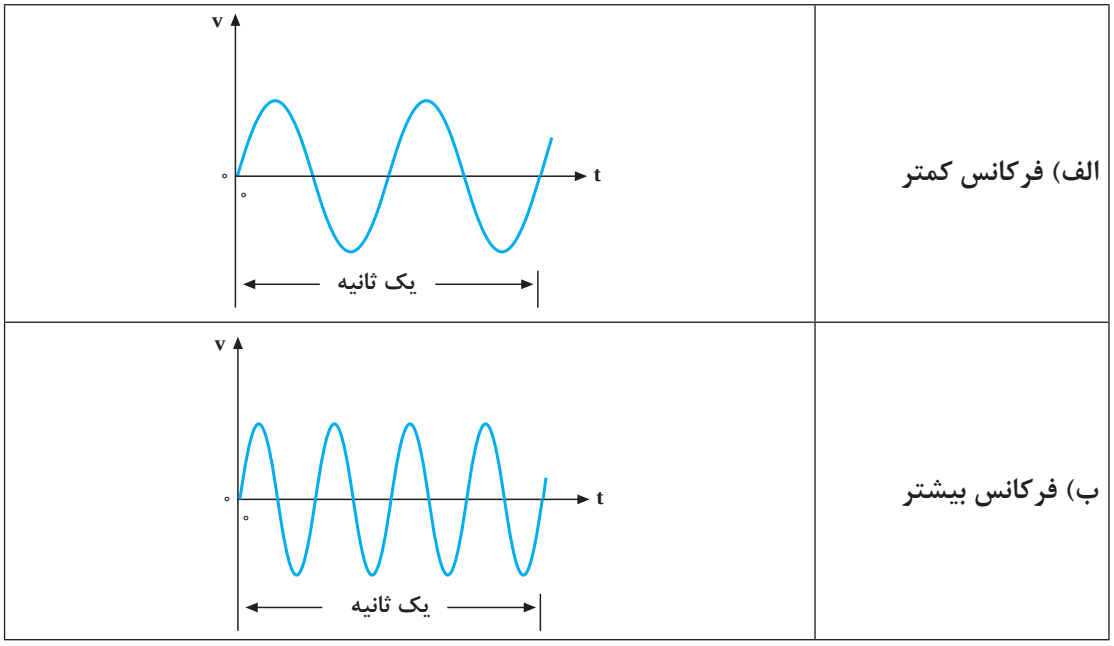
در شکل زیر زمان تناوب موج سینوسی را به دست آورید.



راه حل:
با توجه به تعاریف گفته شده چون هر سیکل کامل در ۴ ثانیه طی شده است پس، دوره تناوب موج سینوسی برابر ۴ ثانیه است.

فرکانس

بنا به تعریف، تعداد سیکل‌هایی را که در یک ثانیه پیموده می‌شود، **فرکانس** گویند و آن را با حرف f نشان می‌دهند. واحد فرکانس را سیکل بر ثانیه (cps) یا اصطلاحاً هرتز (Hz) می‌نامند. هر چه تعداد سیکل‌ها در ثانیه بیشتر باشد، فرکانس بیشتر است. شکل ۷-۱ دو موج سینوسی را نشان می‌دهد که موج (الف)، دو سیکل و موج (ب)، چهار سیکل را در ثانیه طی می‌کنند. یعنی، فرکانس موج (الف)، دو هرتز و فرکانس موج (ب)، چهار هرتز است.



شکل ۷-۱-نمایش تفاوت فرکانس در دو موج سینوسی

مقدار فرکانس با توجه به کاربرد موج متناوب مشخص می‌شود؛ مثلاً فرکانس برق شهر در ایران ۵۰Hz یا ۵۰ cps است. یعنی برق شهر در ایران ۵۰ سیکل کامل را در یک ثانیه طی می‌کند.
فرکانس برق در بعضی از کشورها ۶۰Hz (۶۰cps) است. فرکانس جریان یا ولتاژ متناوب را می‌توان با فرکانس‌متر (دستگاه اندازه‌گیری فرکانس) یا اسیلوسکوپ (دستگاه نمایش شکل زمانی موج) اندازه گرفت. با توجه به مطالب گفته شده، رابطهٔ بین فرکانس و زمان تناوب را می‌توان به صورت زیر نوشت:

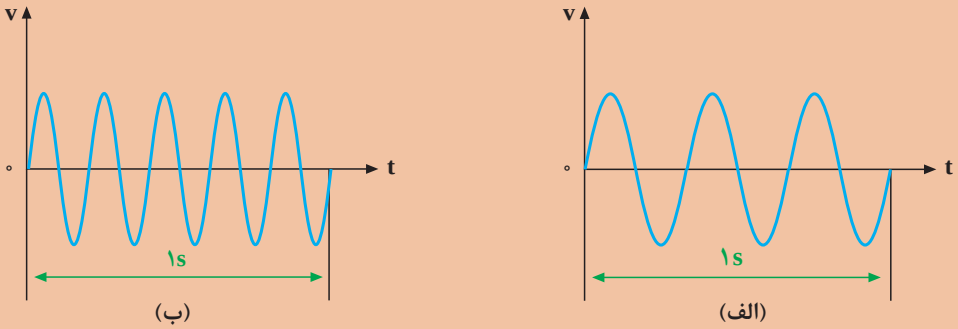
$$f = \frac{۱}{T}$$

$$T = \frac{۱}{f}$$

با توجه به این روابط، هر قدر فرکانس زیادتر شود، به همان اندازه زمان تناوب کاهش پیدا می‌کند؛ مثلاً اگر زمان تناوب یک موج، یک ثانیه باشد فرکانس آن یک هرتز و اگر زمان تناوب، ۲ ثانیه شود، فرکانس آن نصف خواهد شد.

مثال ۲

با توجه به شکل مشخص کنید:
الف) فرکانس کدام موج بیشتر است؟
ب) مقادیر زمان تناوب و فرکانس را حساب کنید.



راه حل:
الف) موج شکل الف سیکل‌های بیشتری را در یک ثانیه طی کرده است پس فرکانس آن بیشتر است.
ب) با توجه به شکل الف، سه سیکل کامل در یک ثانیه طی شده‌اند. پس فرکانس موج ۳ هرتز و دوره تناوب آن یک سوم ثانیه است. در شکل ب، ۵ سیکل در یک ثانیه طی شده است. پس فرکانس آن ۵ هرتز و دوره تناوب آن یک پنجم ثانیه است.

مقاومت الکتریکی

مقاومت الکتریکی

اجسام مختلف در مقابل حرکت جریان الکتریسیته از خود مقاومت‌های مختلفی نشان می‌دهند. میزان عایق بودن و یا هادی بودن اجسام را با کمیتی به نام **مقاومت الکتریکی (Electric Resistance)** نشان می‌دهند. هرچه مقاومت جسم در برابر عبور جریان بیشتر باشد جسم عایق‌تر، و هرچه مقاومت آن در برابر عبور جریان کمتر باشد جسم هادی‌تر است. فلزاتی مانند مس، طلا، آهن، آلومینیوم، و نقره هادی‌های خوبی هستند. در مقابل شیشه، میکا و مواد پلاستیکی مقاومت الکتریکی زیادی دارند. مقاومت را با علامت R نشان می‌دهند و واحد آن اهم (Ω) است. در مدارات الکتریکی مقاومت را به‌صورت زیر نمایش می‌دهند:

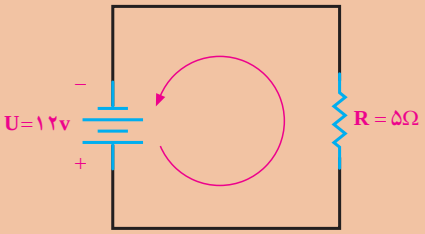
قانون اهم رابطه بین ولتاژ، جریان و مقاومت الکتریکی را بیان می‌کند.

$$U=R.I \qquad R=\frac{U}{I}$$

یک اهم مقاومت هادی است که تحت اختلاف پتانسیل یک ولت، شدت جریانی معادل یک آمپر از آن عبور کند.

مثال ۳

در مدار شکل زیر جریان باتری چقدر است؟



راه حل:

$$U=۱۲\,V\ ,\ R=۵\Omega \Rightarrow I=\frac{U}{R}=۲/۴A$$

وقتی از یک مقاومت جریانی عبور می‌کند طبق قانون اهم اختلاف پتانسیلی در آن به‌وجود می‌آید. علاوه‌براین، مقداری از انرژی الکتریکی به‌صورت گرما در مقاومت تلف می‌شود. انرژی تلف شده از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$E = RI^{۲}t$$

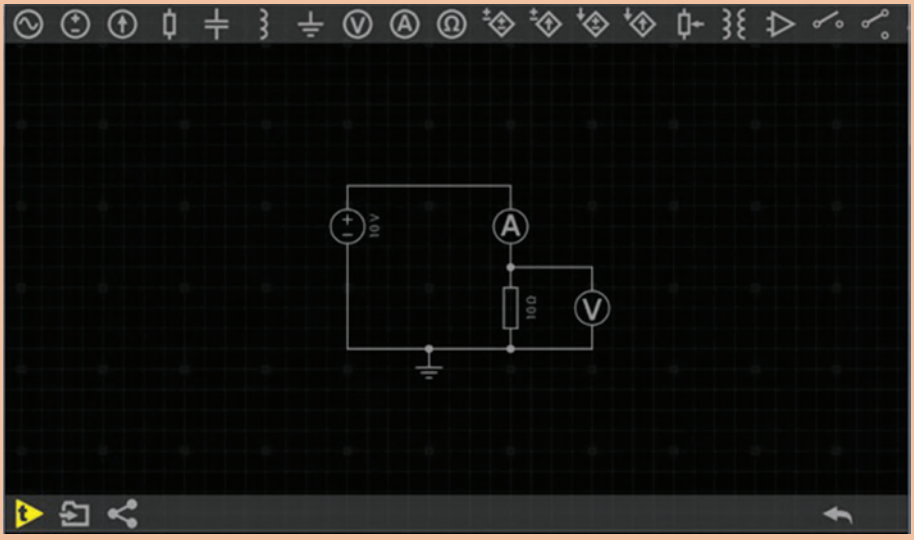
که در آن t زمان روشن بودن مقاومت برحسب ثانیه است. E انرژی تلف شده و با واحد ژول است. مقدار انرژی که در یک ثانیه در مقاومت تلف می‌شود را توان مقاومت یا توان تلف شده می‌نامند و با P نشان می‌دهند.

$$P = RI^{۲} = VI$$

واحد توان وات است.

فعالیت ۲

مدار زیر را در نرم افزار Every Circuit ببندید و جدول زیر را کامل کنید:



ولتاژ منبع	مقاومت	ولتاژ دو سر مقاومت	جریان	توان مصرف شده $P = RI^2$	انرژی مصرف شده در یک دقیقه : $E = RI^2 t$
۱۰ ولت	۱۰Ω	.....	.....	.....	.....
	۲۰Ω	.....	.....	.....	.....
	۳۰Ω	.....	.....	.....	.....
۲۰ ولت	۱۰Ω	.....	.....	.....	.....
	۲۰Ω	.....	.....	.....	.....
	۳۰Ω	.....	.....	.....	.....
۳۰ ولت	۱۰Ω	.....	.....	.....	.....
	۲۰Ω	.....	.....	.....	.....
	۳۰Ω	.....	.....	.....	.....

فیلم اتصال سری

اتصال سری مقاومت‌های اهمی

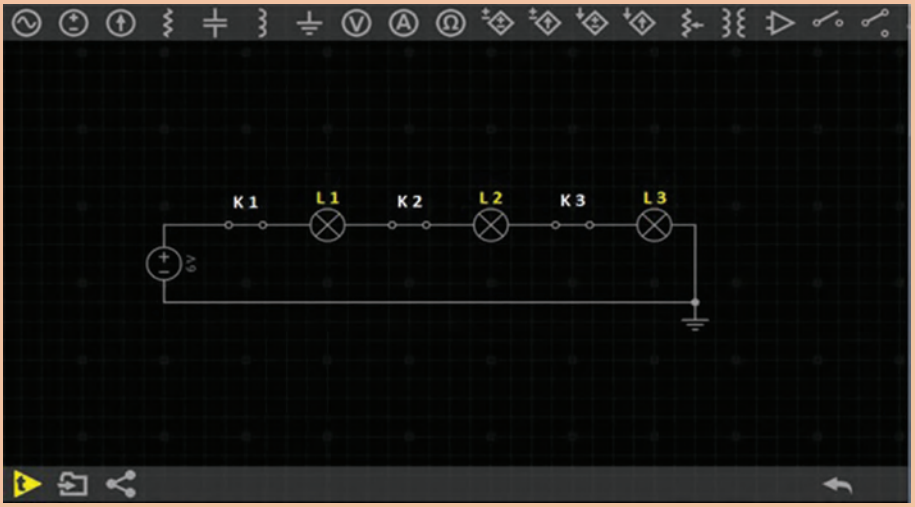
اگر با قطار مسافرت کرده باشید، دیده‌اید که قطار از تعدادی واگن و یک لوکوموتیو تشکیل می‌شود. واگن‌ها می‌توانند مشابه یا بزرگ و کوچک باشند. درصورت نامساوی بودن، هر واگن گنجایش حمل بار یا مسافر خاص

خود را دارد. اتصال واگن‌ها به یکدیگر به‌صورت پشت سرهم (**اتصال سری**) است؛ یعنی، ابتدای یک واگن به انتهای واگن دیگر وصل است. هنگام حرکت، سرعت در همهٔ واگن‌ها یکسان است.

در قطار واگن‌ها به صورت سری بسته می‌شوند.

فعالیت ۳

اگر کلیدهای K1 و K2 و K3 را باز کنیم چه تأثیری در لامپ‌ها می‌گذارد؟

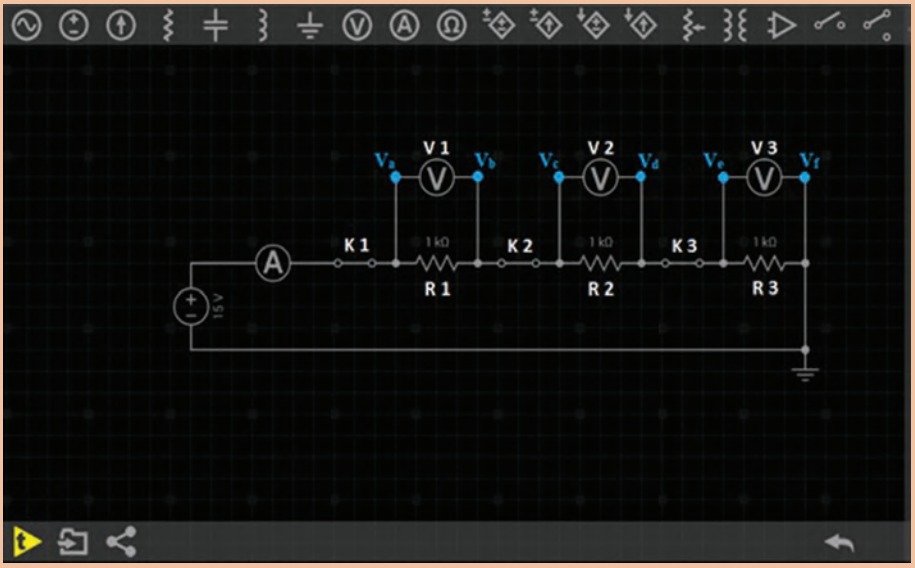


.....

.....

فعالیت ۴

مدار زیر را در نرم افزار ببندید و جدول زیر را کامل کنید:



ولتاژ منبع ۱۵v	V_a	V_b	$V_۱$	جریان R۱	V_c	V_d	$V_۲$	جریان R۲	V_e	V_f	$V_۳$	جریان R۳	جریان آمپرمتر
K۱= ⊸⊸ K۲= ⊸⊸ K۳= ⊸⊸													
K۱= ⊸/⊸ K۲= ⊸⊸ K۳= ⊸⊸													
K۱= ⊸⊸ K۲= ⊸/⊸ K۳= ⊸⊸													
K۱= ⊸⊸ K۲= ⊸⊸ K۳= ⊸/⊸													

نتیجه‌گیری:

جریان در مدار سری

در یک مدار سری شدت جریان در همهٔ نقاط مدار یکسان است؛ یعنی، جریان وارد شده در هر نقطه از مدار با جریان خارج شده از همان نقطه برابر است. $I = I_{R۱} = I_{R۲} = I_{R۳}$ جریان آمپرمتر

ولتاژ در مدار سری

اگر به دو سر یک مقاومت، ولتاژ مشخصی داده شود تمام آن ولتاژ در دو سر مقاومت افت می‌کند. مقدار ولتاژ دو سر مقاومت را به‌کمک ولت‌متر می‌توان اندازه گرفت. چنانچه تعداد مقاومت‌ها بیشتر شود، ولتاژ منبع روی همهٔ آنها تقسیم می‌شود. به‌طوری که اگر با ولت‌متر افت (یا اختلاف) ولتاژهای دو سر مقاومت‌ها را اندازه بگیریم و با هم جمع کنیم، ولتاژ منبع به‌دست می‌آید.

ولتاژ منبع $E = V_1 + V_2 + V_3$

ولتاژ منبع $E = V_{R_1} + V_{R_2} + V_{R_3}$

ولتاژ منبع $E = (V_a - V_b) + (V_c - V_d) + (V_e - V_f)$

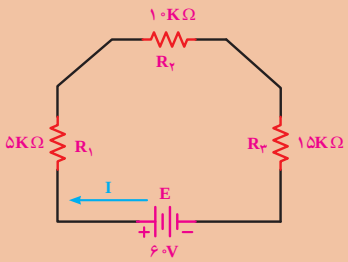
مقاومت در مدار سری

به‌جای چند مقاومت سری می‌توان یک مقاومتی را انتخاب کرد که مقدار مقاومت آن با مجموع مقاومت چند مقاومت سری برابر باشد. مقاومتی که به‌جای چند مقاومت سری قرار می‌گیرد، **مقاومت کل یا مقاومت معادل** آن چند مقاومت نامیده می‌شود و آن را با R_T نمایش می‌دهند. چنانچه مقاومت R_T جایگزین مقاومت‌های مدار شود، جریان مدار تغییری نخواهد کرد.

مقاومت کل $R_T = R_1 + R_2 + R_3$

مثال ۴

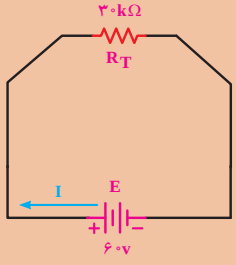
در مدار زیر ولتاژ دو سر هر مقاومت را حساب کنید.



راه حل:

با توجه به اینکه سه مقاومت سری شده‌اند مقاومت معادل از جمع مقاومت‌ها به‌دست می‌آید:

$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = ۵\ K\Omega + ۱۰\ K\Omega + ۱۵\ K\Omega = ۳۰\ K\Omega$



جریان کل مدار $I = \frac{U}{R_T} = \frac{۶۰}{۳۰K\Omega} = ۲mA = ۰/۰۰۲(A)$

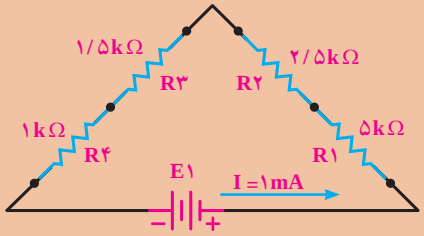
ولتاژ دو سر مقاومت R_1 $V_{R_1} = I \times R_1 = ۰/۰۰۲ \times ۱۵۰۰۰ = ۳۰v$

ولتاژ دو سر مقاومت R_2 $V_{R_2} = I \times R_2 = ۰/۰۰۲ \times ۱۰۰۰۰ = ۲۰v$

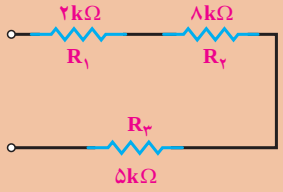
ولتاژ دو سر مقاومت R_3 $V_{R_3} = I \times R_3 = ۰/۰۰۲ \times ۵۰۰۰ = ۱۰v$

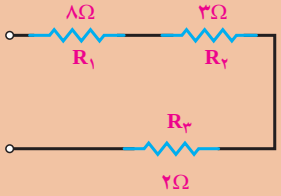
تمرین

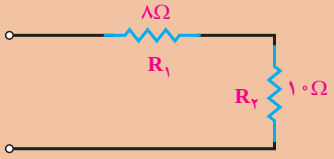
۱ در مدار زیر مقاومت معادل (R_T) را حساب کنید.



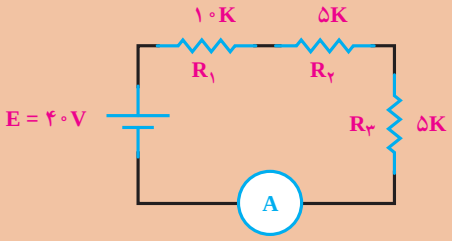
۲ در مدارهای زیر، مقاومت معادل (R_T) را حساب کنید.



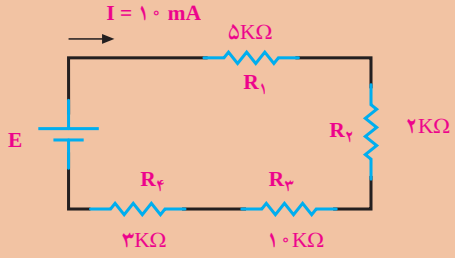




۳ در مدار شکل زیر، مقدار جریان آمپرمتر چقدر است؟



۴ در مدار شکل زیر، مقدار ولتاژ منبع تغذیه E چقدر است؟ همچنین مقدار توان مصرفی مقاومت $R_۲$ را بیابید.



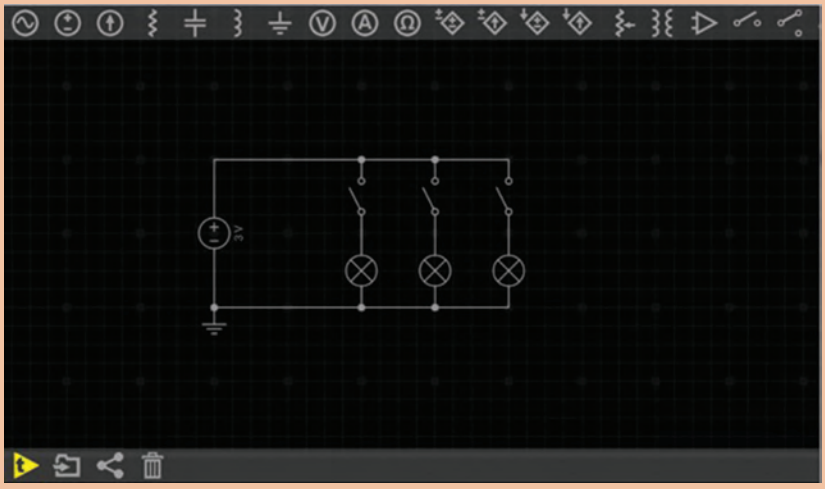
اتصال موازی

اتصال مقاومت‌ها به‌صورت موازی

اگر بخواهیم یک لوستر را سیم‌کشی نماییم می‌بایست لامپ‌ها را با هم موازی نماییم. یعنی یک طرف همه لامپ‌ها به یک قطب منبع و طرف دیگر همه آنها به قطب دیگر منبع وصل می‌شود.

فعالیت ۵

اگر کلیدهای K1 و K2 و K3 را باز کنیم چه تأثیری در لامپ‌ها می‌گذارد؟

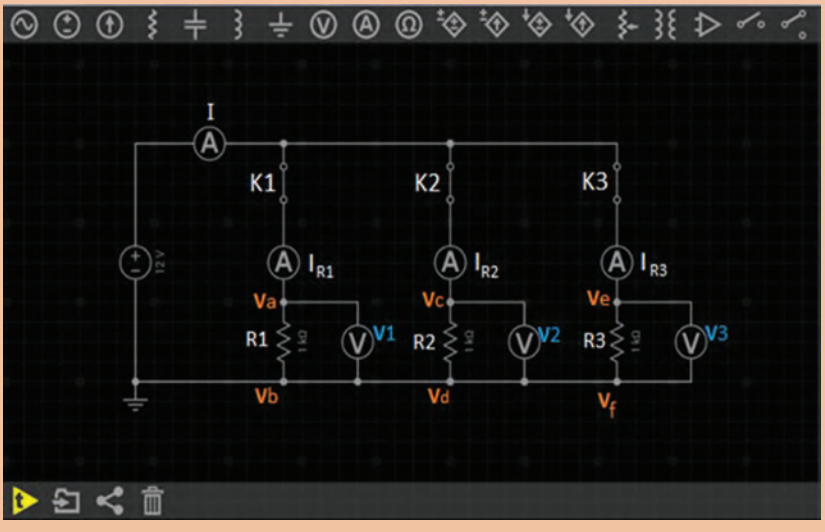


.....

.....

فعالیت ۶

مدار زیر را در نرم افزار ببندید و جدول صفحهٔ بعد را کامل کنید:



ولتاژ منبع ۱۲v	V_a	V_b	$V_۱$	جریان IR۱	V_c	V_d	$V_۲$	جریان IR۲	V_e	V_f	$V_۳$	جریان IR۳	جریان آمپرمتر
K۱= ⊶⊷ K۲= ⊶⊷ K۳= ⊶⊷													
K۱= ⊶/⊷ K۲= ⊶⊷ K۳= ⊶⊷													
K۱= ⊶⊷ K۲= ⊶/⊷ K۳= ⊶⊷													
K۱= ⊶⊷ K۲= ⊶⊷ K۳= ⊶/⊷													

نتیجه‌گیری:

ولتاژ در مدار موازی

ولتاژ دو سر همهٔ مصرف‌کننده‌ها در اتصال موازی، یکسان و برابر ولتاژ منبع تغذیه است ولی درصورت متفاوت بودن مقاومت آنها جریان مصرف‌کننده‌ها نیز متفاوت هستند.

ولتاژ منبع $E = V_۱ + V_۲ + V_۳$

جریان در مدار موازی

در فعالیت۶ ، شدت جریان کل، با مجموع شدت جریان‌های شاخه‌های موازی برابر است. درصورتی‌که ولتاژ دو سر هر شاخه با شاخه‌های دیگر و با دو سر منبع برابر می‌باشد. از این‌رو، با استفاده از روابط قانون اهم، شدت جریان هر شاخه و شدت جریان کل را می‌توان به‌صورت زیر به دست آورد.

شدت جریان شاخهٔ n ام $I_n = \frac{E}{R_n}$

شدت جریان کل مدار $I = I_{R_۱} = I_{R_۲} = I_{R_۳}$ یا $I = I_۱ + I_۲ + I_۳$

در صورت مساوی بودن مقاومت‌های شاخه‌های مدار، از هر شاخه شدت جریان مساوی با دیگر شاخه‌ها می‌گذرد اما اگر مقدار مقاومت‌های هر شاخه متفاوت باشد، هر شاخه‌ای که مقاومت کمتری دارد، شدت جریان بیشتری را عبور می‌دهد.

مقاومت کل (معادل) در مدار موازی

در مدار موازی، مقاومتی است که اگر به‌جای مقاومت‌های موازی قرار گیرد، شدت جریان کل مدار را تغییر ندهد. در مدار موازی، با افزایش شاخه‌های مدار تعداد مسیرهای جریان زیادتر می‌شود و شدت جریان کل افزایش می‌یابد. افزایش شدت جریان بدین معناست که مقاومت معادل، کاهش یافته است.

$$\frac{۱}{R_T}=\frac{۱}{R_۱}+\frac{۱}{R_۲}+\frac{۱}{R_۳} \qquad \text{یا} \qquad R_T=\frac{R_۱\times R_۲}{R_۱+R_۲}$$

در مدار موازی ولتاژ منبع با ولتاژ دو سر شاخه‌ها برابر است و جریان کل از مجموع جریان‌های شاخه‌ها به دست می‌آید.

$$E=V_۱=V_۲=V_۳$$
$$I=I_۱+I_۲+I_۳$$

طبق قانون اهم می‌توان نوشت:

$$I=\frac{E}{R_t}, I_۱=\frac{V_۱}{R_۱}, I_۲=\frac{V_۲}{R_۲}, I_۳=\frac{V_۳}{R_۳}$$

مقادیر مساوی جریان‌ها را در رابطهٔ بالا قرار می‌دهیم.

$$\frac{E}{R_T}=\frac{E}{R_۱}+\frac{E}{R_۲}+\frac{E}{R_۳}$$

با فاکتورگیری و حذف مقادیر مساوی E از طرفین تساوی،

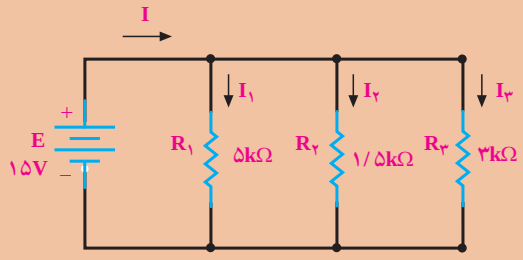
$$\frac{E}{R_T}=E(\frac{۱}{R_۱}+\frac{۱}{R_۲}+\frac{۱}{R_۳})$$

به رابطهٔ مقاومت کل در مدار موازی می‌رسیم.

$$\frac{۱}{R_T}=\frac{۱}{R_۱}+\frac{۱}{R_۲}+\frac{۱}{R_۳}$$

مثال ۵

در مدار زیر جریان هر شاخه را تعیین کنید.



راه حل:

$$I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{15V}{5\times10^3} = 3mA$$

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{15V}{1/5\times10^3} = 10mA$$

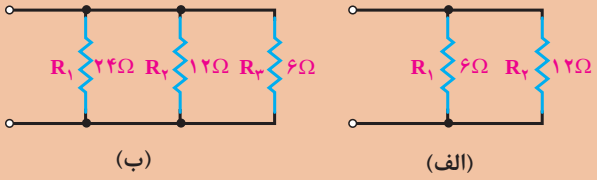
$$I_3 = \frac{E}{R_3} = \frac{15V}{3\times10^3} = 5mA$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$I = 3 + 10 + 5 \qquad I = 18mA$$

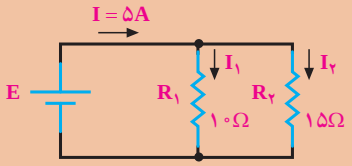
تمرین

۱ مقاومت معادل مدارهای زیر را به‌دست آورید.

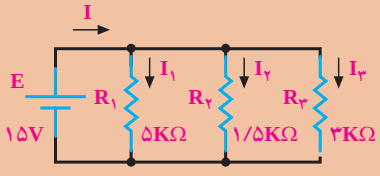


(ب) (الف)

۲ شدت جریان هر شاخه و مقدار ولتاژ منبع E را به‌دست آورید:



۳ شدت جریان هر شاخه و شدت جریان کل را به‌دست آورید:



خواص مغناطیسی اجسام

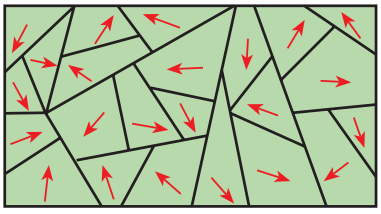
خواص مغناطیسی اجسام

اجسام در طبیعت از نظر خواص مغناطیسی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

الف) اجسام مغناطیسی،

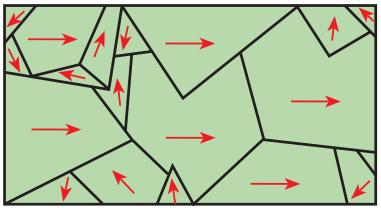
ب) اجسام غیرمغناطیسی.

اجسام مغناطیسی مولکول‌های مغناطیسی دارند. پس ظاهراً باید همیشه مانند مغناطیس عمل کنند ولی چنین نیست. این بدان علت است که در شرایط عادی، مولکول‌های مغناطیسی به‌طور پراکنده و نامرتب در جسم قرار دارند و درنتیجه، میدان‌های مغناطیسی مولکول‌ها یکدیگر را خنثی می‌کنند؛ بنابراین، فلز خاصیت مغناطیسی ندارد. در شکل زیر مولکول‌های مغناطیسی یک فلز مغناطیس نشده را مشاهده می‌کنید.



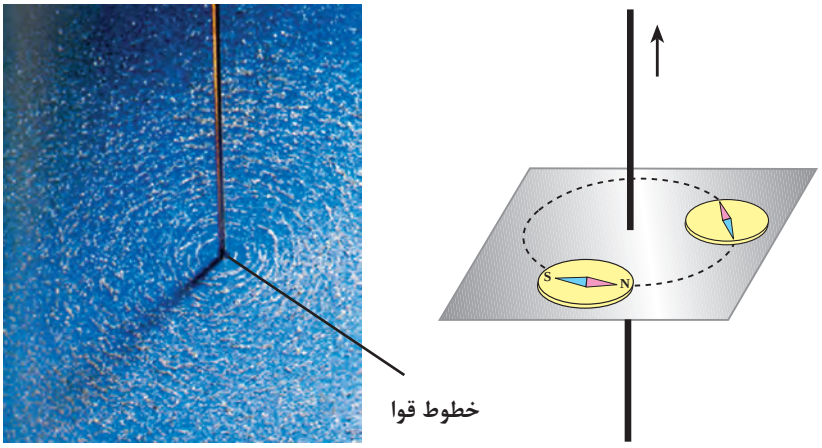
فلز مغناطیس نشده

اگر همهٔ مولکول‌های مغناطیسی به‌طور هم جهت قرار بگیرند، میدان‌های مغناطیسی آنها با یکدیگر جمع شده و در این صورت فلز مغناطیس می‌شود. اگر فقط بعضی از مولکول‌ها هم جهت باشند، میدان مغناطیسی ضعیفی تولید می‌شود. بنابراین، میزان مغناطیس شدن یک جسم مغناطیسی را می‌توان کم و زیاد کرد.
شکل زیر مولکول‌های مغناطیسی منظم شده در یک فلز مغناطیس شده را نشان می‌دهد.



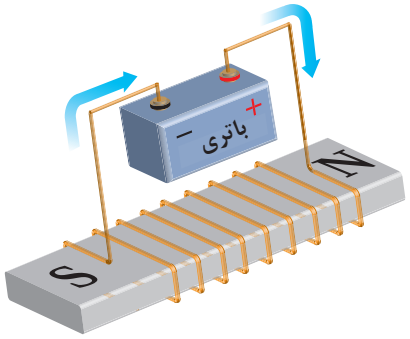
اثر الکترومغناطیس بر یک سیم

جهت میدان مغناطیسی همواره به جهت جریانی که از سیم می‌گذرد، بستگی دارد. برای تعیین جهت میدان مغناطیسی، می‌توان از قطب نما و قانون دست راست استفاده کرد. طبق شکل صفحهٔ بعد چنانچه قطب نما را در اطراف سیم حرکت دهیم، همیشه قطب N عقربهٔ قطب‌نما جهت میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.



تعیین جهت مغناطیسی اطراف سیم با استفاده از قطب‌نما

تولید میدان مغناطیسی توسط جریان الکتریکی



اگر سیمی را به‌دور یک قطعه آهن مغناطیس نشده بپیچیم و دو سر آن‌را به یک منبع ولتاژ DC وصل کنیم، جریان الکتریکی میدان مغناطیسی تولید می‌کند و باعث منظم شدن مولکول‌های مغناطیسی آهن می‌شود. شکل روبه‌رو چگونگی تولید قطعهٔ مغناطیسی به وسیلهٔ جریان الکتریکی DC را نمایش می‌دهد.

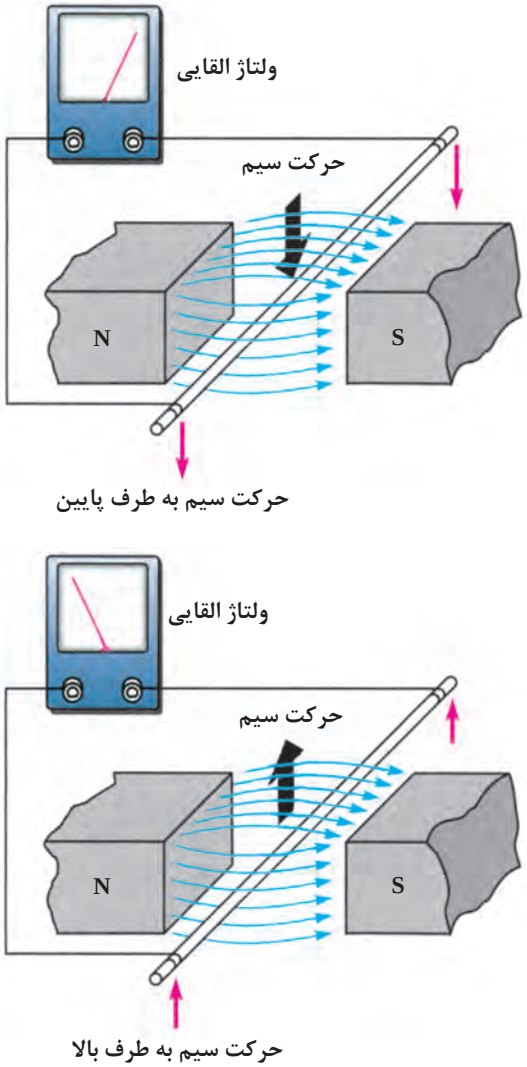
اگر یک جسم مغناطیس شده خاصیت مغناطیسی خود را برای مدت طولانی حفظ کند، به آن مغناطیس دائمی می‌گویند و اگر خاصیت مغناطیسی خود را به‌سرعت از دست بدهد، مغناطیس موقتی نام دارد. آهن سخت و فولاد مغناطیس‌های دائمی خوبی هستند. آهن نرم برای مغناطیس‌های موقتی به کار برده می‌شود.

یکی از کاربردهای دیگر مغناطیس می‌توان آهن‌ربای صنعتی را نام برد. شکل زیر یک نمونه آهن‌ربای صنعتی را نشان می‌دهد.

فیلم ژنراتور

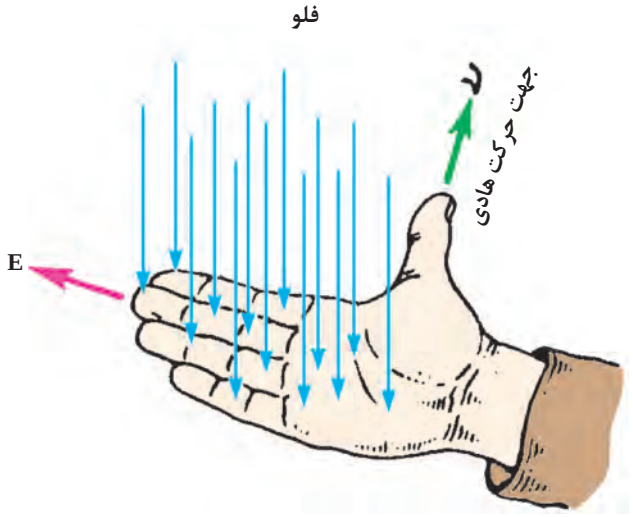
ژنراتور ساده

طبق شکل زیر اگر یک هادی را در داخل میدان مغناطیس آهن‌ربا حرکت دهیم، انرژی مغناطیسی آهن‌ربا باعث حرکت الکترون‌ها در یک جهت و تجمع آنها در یک طرف هادی می‌شود. این روند را تولید نیروی محرکهٔ القایی می‌گویند. حال اگر به دو سر سیم میلی‌ولت متری را وصل کنیم، مشاهده می‌شود که با حرکت سیم به طرف پایین، عقربهٔ میلی ولت‌متر در یک جهت و با حرکت سیم به طرف بالا، عقربه در جهت مخالف حرکت می‌کند. نتیجه می‌گیریم که با تغییر جهت حرکت سیم، جهت نیروی محرکهٔ القایی تغییر می‌کند. این مطلب در مورد تغییر جهت خطوط نیرو نیز صادق است.



شکل ۸ـ۱ـ اساس کار یک ژنراتور ساده

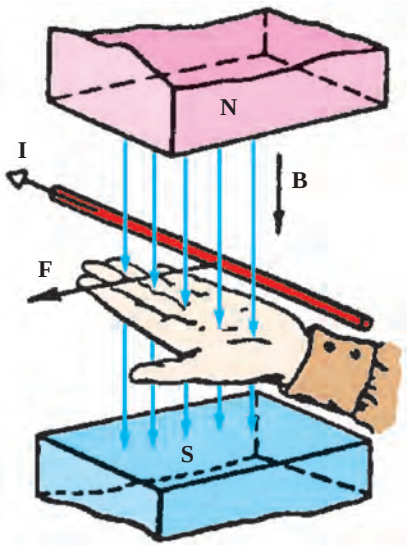
برای به دست آوردن جهت نیروی محرکهٔ القایی از قانون دست راست استفاده می‌شود. طبق شکل زیر اگر کف دست راست را طوری باز کنیم که خطوط نیرو به کف دست بریزند، درصورتی که جهت حرکت سیم در جهت انگشت شست باشد، جهت نیروی محرکهٔ القایی در جهت سایر انگشتان خواهد بود.



فیلم موتور

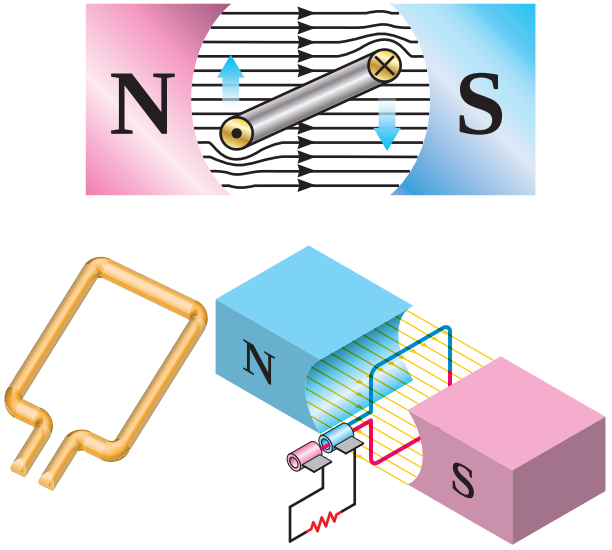
قانون دست چپ

اگر دست چپ را طوری باز کنیم که خطوط نیرو به کف دست بریزند (B) و جهت جریان در سیم حامل جریان (I) در جهت سایر انگشتان باشد، جهت نیروی وارد شده (F) در جهت انگشت شست خواهد بود.



شکل ۹ـ۱ـ قانون دست چپ

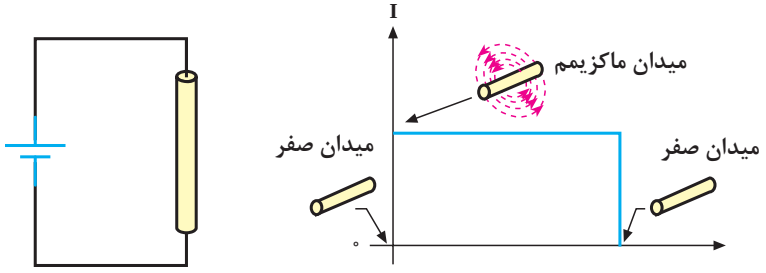
اگر طبق شکل ۱۰-۱ سیم را به صورت کلاف درآوریم و آن را درون میدان مغناطیسی قرار دهیم، وقتی از کلاف جریان عبور کند اثر متقابل میدان‌های مغناطیسی باعث می‌شود که یک سمت آن به طرف بالا و سمت دیگر به‌طرف پایین حرکت کند؛ به‌عبارت دیگر، به کلاف جفت نیرو وارد می‌شود و تولید گشتاور می‌کند. این فرایند، اساس کار موتورهای الکتریکی است که در درس ماشین‌های الکتریکی به‌طور مفصل دربارهٔ آن توضیح خواهیم داد.



شکل ۱۰ـ۱ـ تولید گشتاور در موتور الکتریکی

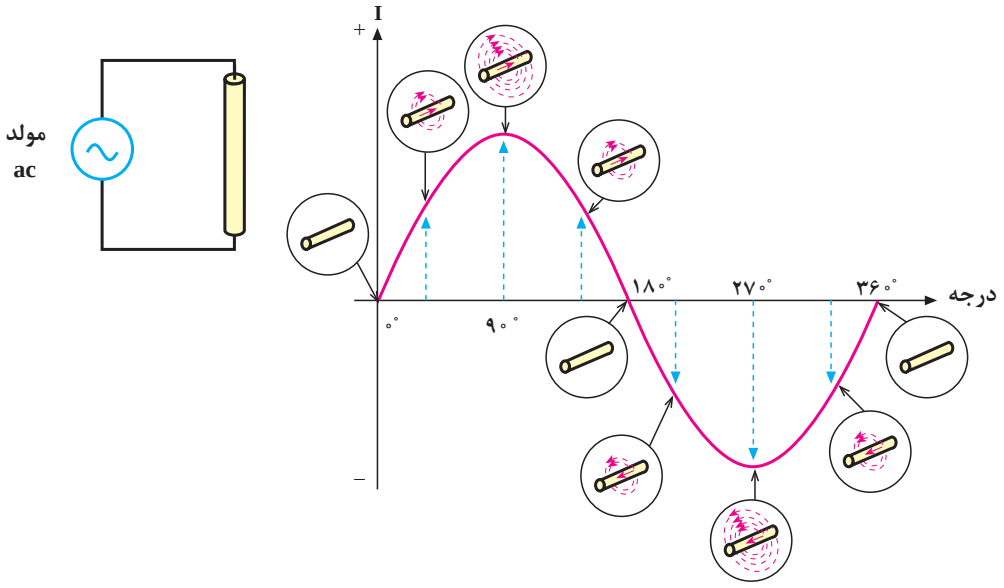
میدان مغناطیسی حاصل از یک جریان مستقیم و متناوب

اگر دو سر یک هادی را مطابق شکل زیر به جریان مستقیم وصل کنیم، شدت جریان به طور ناگهانی از صفر به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد و میدان مغناطیسی در اطراف هادی نیز به ناگاه از صفر به مقدار ماکزیمم خود افزایش می‌یابد. تا موقعی که جریان در هادی است، میدان در ماکزیمم مقدار خود باقی می‌ماند. چنانچه مدار باز شود جریان، صفر شده و میدان نیز به صفر کاهش می‌یابد.



میدان مغناطیسی ایجاد شده به وسیلهٔ جریان مستقیم

اگر دو سر یک هادی را مطابق شکل زیر به یک جریان متناوب وصل کنیم، مقدار جریان و درنتیجه، شدت میدان مغناطیسی در اطراف هادی پیوسته تغییر می‌کند. با اضافه شدن تدریجی جریان، میدان حاصل نیز قوی‌تر می‌شود و برعکس، با کم شدن جریان میدان نیز کمتر خواهد شد. از آنجا که جریان متناوب در هر نیم سیکل تغییر جهت می‌دهد، جهت میدان نیز معکوس می‌شود. بنابراین، جهت میدان مغناطیسی در هر لحظه به وسیلهٔ جهت جریان مشخص می‌شود.

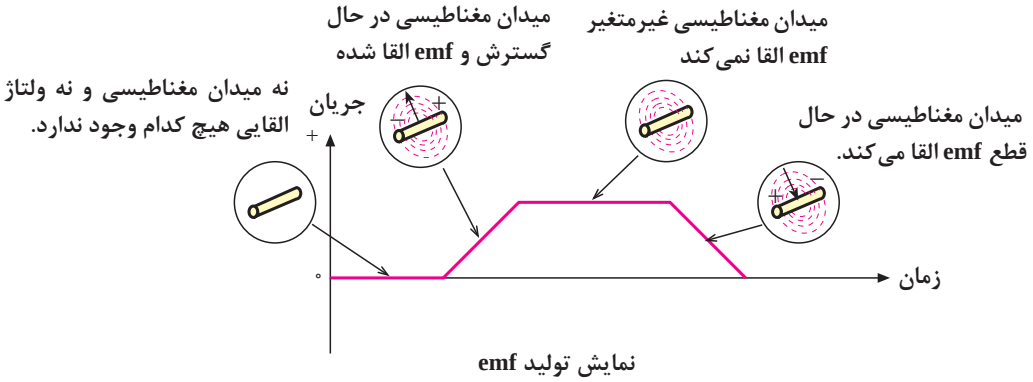


میدان مغناطیسی حاصل از جریان متناوب

خود القایی

با طی نیم پریود از جریان متناوب عبوری از یک هادی، میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود و سپس به تدریج از بین می‌رود. در نیم سیکل بعدی نیز میدان در جهت مخالف ایجاد می‌شود و به تدریج از بین می‌رود. زمانی که میدان مغناطیسی در حال ایجاد شدن است، خطوط قوای مغناطیسی از مرکز هادی به طرف خارج گسترش می‌یابند. میدان در حال گسترش به وسیلهٔ هادی قطع می‌شود و یک **نیروی محرکهٔ الکتریکی (emf)** در هادی تولید می‌گردد.

با کم شدن میدان و قطع خطوط قوا به وسیلهٔ هادی، باز هم یک نیروی محرکهٔ الکتریکی در هادی **القا** می‌شود. بنابراین، افزایش یا کاهش جریان در هادی سبب گسترش یا فروکش کردن میدان مغناطیسی در اطراف آن می‌شود و نیروی محرکه‌ای متناسب با تغییرات میدان در هادی القا می‌گردد. این خاصیت را **خودالقایی** می‌گویند. توجه داشته باشید که اگر جریان عبوری از هادی ثابت باشد، میدان مغناطیسی ایجاد شده نیز ثابت خواهد بود و لذا نیروی محرکه‌ای در هادی القا نمی‌شود. شکل صفحهٔ بعد القای نیروی محرکه را در زمان تغییر جریان نشان می‌دهد.



همان‌طور که در شکل بالا مشاهده می شود، سیم پیچ با تغییرات جریان عبوری از خودش مخالفت می‌کند و با ایجاد یک ولتاژ در جهت مخالف VL سعی در جبران این تغییرات می‌کند.

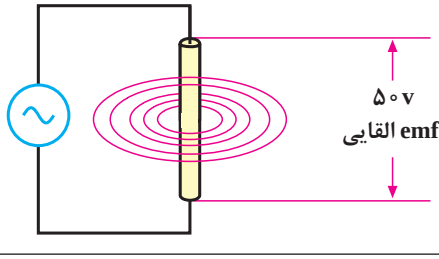
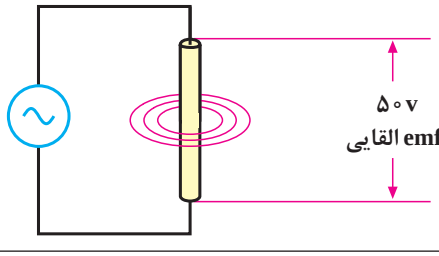
مقدار نیروی محرکهٔ الکتریکی خود القا

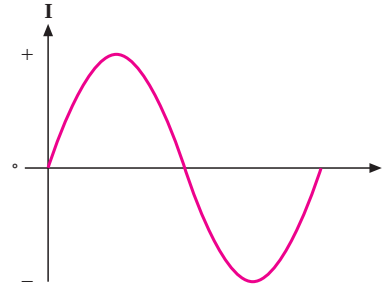
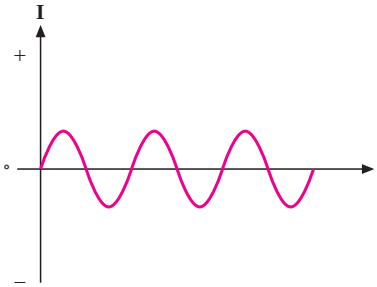
نیروی محرکهٔ الکتریکی القا شده در یک هادی به وسیلهٔ تغییر در شدت جریان عبوری از آن، همانند هر نیروی محرکه‌ای دارای مقدار و جهت است. از جمله عواملی که مقدار نیروی محرکهٔ القا شده را معین می‌کنند، میزان تغییرات شدت میدان مغناطیسی است. به طوری که می‌توان نوشت:

$$\text{مقدار emf} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta T}$$

در این رابطه، $\Delta\varphi$ تغییرات شار مغناطیسی و ΔT تغییرات زمان را نشان می‌دهد. شدت میدان مغناطیسی به سرعت تغییرات جریان یا تغییرات فرکانس بستگی دارد. بنابراین، مقدار نیروی محرکهٔ القا شده، با فرکانس جریان متناسب است. با افزایش فرکانس، نیروی محرکهٔ القا شده افزایش و با کاهش فرکانس نیروی محرکه القا شده، کاهش می‌یابد.

مقدار جریان نیز از عوامل دیگری است که مقدار نیروی محرکهٔ القا شده را معین می‌کند. یعنی، هرچه شدت جریان عبوری از هادی بیشتر باشد، میدان ایجاد شده قوی‌تر و هرچه جریان کمتر باشد، میدان ایجاد شده ضعیف‌تر می‌شود. پس به‌طورکلی می‌توان گفت که مقدار نیروی محرکهٔ القا شده (خودالقا) به دامنه و فرکانس جریان عبوری از هادی بستگی دارد. شکل زیر عوامل ذکر شده را به‌خوبی نشان می‌دهد.

جریان با فرکانس پایین و دامنهٔ زیاد	جریان با فرکانس زیاد و دامنهٔ کم
	

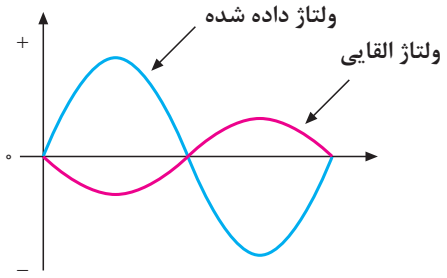
	
جریان‌های فرکانس پایین اگر دامنه‌شان زیاد باشد، می‌توانند emf قوی ایجاد کنند.	جریان‌های فرکانس بالا می‌توانند emfهای قوی ایجاد کنند، علی‌رغم اینکه دامنه‌شان نسبتاً کم است.

تأثیر دامنه و فرکانس جریان بر مقدار emf القایی

قانون لنز

در سال ۱۸۳۴ یک فیزیک‌دان آلمانی به نام لنز قانونی را به جهانیان ارائه داد که بیانگر جهت نیروی محرکهٔ القایی در یک هادی بود و ما اکنون آن را به نام قانون لنز می‌شناسیم.

براساس **قانون لنز**، هر تغییر در جریان عبوری از یک هادی باعث ایجاد نیروی محرکهٔ خودالقایی می‌شود که اثر آن با جهت تغییرات جریان مخالفت می‌کند. به عبارت دیگر، هنگامی که جریان کاهش می‌یابد، نیروی محرکهٔ القایی در جهتی است که با کاهش جریان مخالفت می‌کند و هنگامی که جریان افزایش می‌یابد، باز جهت نیروی محرکهٔ خودالقایی طوری است که با افزایش جریان مخالفت می‌کند. شکل زیر، رابطهٔ بین ولتاژ یا نیروی محرکهٔ القا شده را با ولتاژی که باعث ایجاد جریان می‌شود (ولتاژ داده شده)، با اختلاف فاز ۱۸۰درجه نشان می‌دهد.



نیروی محرکهٔ القایی همیشه با ولتاژ داده شده مخالفت می‌کند.

با زیاد یا کم شدن ولتاژ داده شده در یک جهت، نیروی محرکهٔ القا شده در جهت مخالف آن زیاد یا کم می‌شود از آنجا که عمل نیروی محرکهٔ القایی مخالف با ولتاژ داده شده است، آن را نیروی ضد محرکهٔ القایی مخالف می‌نامند و با cemf نمایش می‌دهند. مقدار آن را از رابطهٔ $Cemf = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta T}$ محاسبه می‌کنند.

فیلم سلف

سلف

اگر مقداری سیم به دور محور یا **هسته‌ای** پیچانده شود، **بوبین یا سیم‌پیچ یا سلف** به وجود می‌آید. از هسته علاوه بر اثرات القایی، به‌عنوان تکیه‌گاه جهت پیچاندن و نگهداری سیم استفاده می‌شود. در شکل زیر تعدادی بوبین با هستهٔ هوایی و فلزی را مشاهده می‌کنید.

انواع بوبین‌ها با هسته‌های مختلف

بوبین‌هایی را که هستهٔ فلزی دارند و اغلب دارای تعداد دور استاندارد هستند، در اصطلاح **چوک** (Choke) می‌گویند. چوک‌ها مانند چوک مهتابی و چوک بلندگو معمولاً حفاظ خارجی دارند. از چوک مهتابی در مصارف برقی و از چوک بلندگو در مصارف الکترونیکی استفاده می‌شود.

اندوکتانس (ضریب خود القا) سلف

واحد اندوکتانس **هانری** است که از نام دانشمند کاشف آن گرفته شده است. هانری مقدار اندوکتانس یک هادی است، اگر تغییر جریان یک آمپر در ثانیه در آن نیروی ضد محرکه یک ولت ایجاد کند. چون هانری واحد نسبتاً بزرگی است، غالباً اندوکتانس را بر حسب واحدهای کوچک‌تری چون میلی هانری (10^{-3} H) و میکرو هانری (10^{-6} H) به‌کار می‌برند.

انرژی ذخیره شده در سلف:

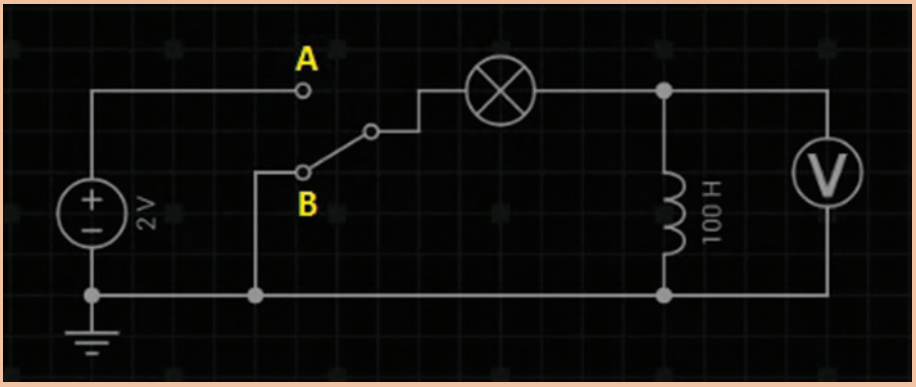
همان‌طور که گفته شد اگر جریان i از یک سلف عبور کند در اطراف آن میدان مغناطیسی به‌وجود می‌آید. در این میدان مغناطیسی **انرژی مغناطیسی** (E_M) ذخیره می‌شود که مقدار آن از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$E_M = \frac{1}{2}Li^2$$

واحد E_M ژول است. اگر جریان با زمان تغییر کند انرژی مغناطیسی ذخیره شده هم با زمان تغییر می‌کند. در رابطه بالا **اندوکتانس** و واحد آن هانری (H) است. هرچه اندوکتانس بوبین بیشتر باشد انرژی بیشتری را در خود ذخیره می‌کند.

فعالیت ۷

مدار زیر را در نرم‌افزار Every Circuit بسته و مشاهدات خود را درباره روشنایی لامپ بنویسید:



.....

.....

اتصال بوبین‌ها

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

الف) اتصال سری بوبین‌ها: با اتصال سری (متوالی) بوبین‌ها، اندوکتانس کل برابر مجموع تک تک اندوکتانس‌های موجود در مدار است که از رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

$$L_t = L_1 + L_2 + ... + L_n$$

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

$$L_t = nL$$

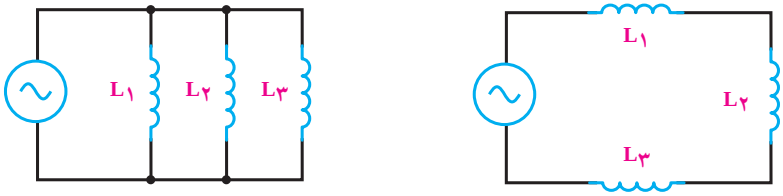
ب) اتصال موازی بوبین‌ها: در اتصال موازی بوبین‌ها اندوکتانس کل از رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

$$\frac{۱}{L_t}=\frac{۱}{L_۱}+\frac{۱}{L_۲}+...+\frac{۱}{L_n}$$

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

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

در شکل زیر اتصال سری و موازی را برای سه بوبین که با فاصلهٔ زیاد از یکدیگر قرار دارند (**بدون داشتن ارتباط مغناطیسی**) نشان می‌دهد.



اتصال سری　　اتصال موازی

امپدانس سلفی

سلف در برابر جریان متناوب از خود مقاومت نشان می‌دهد. مقدار این مقاومت به اندوکتانس و فرکانس جریان متناوب بستگی دارد که به آن **مقاومت القایی یا امپدانس** سلفی می‌گویند و با X_L نشان می‌دهند. واحد مقاومت القایی اهم بوده و با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$X_L=۲\pi fL$$

برای محاسبهٔ مقاومت القایی معادل در مدارهای سری و موازی سلف‌ها نیز می‌توان مشابه محاسبهٔ اندوکتانس معادل بوبین‌ها عمل کرد. روابط محاسبهٔ مقاومت القایی معادل، در مدار سری و موازی به‌صورت زیر است:

مدار سری $X_{L_T}=X_{L_۱}+X_{L_۲}+....+X_{L_n}$

مدار موازی $\frac{۱}{X_{L_T}}=\frac{۱}{X_{L_۱}}+\frac{۱}{X_{L_۲}}+...+\frac{۱}{X_{L_n}}$

فیلم خازن

خازن

خازن‌ها عناصری هستند که می‌توانند مقداری الکتریسیته را به‌صورت یک میدان الکترواستاتیک در خود

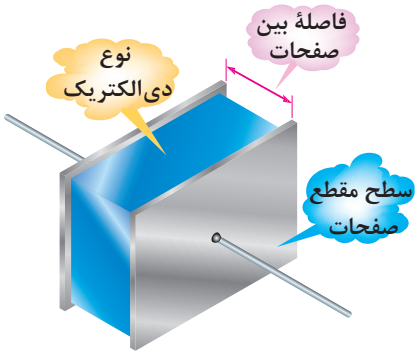
ذخیره کنند. همان‌گونه که یک مخزن آب برای ذخیره کردن مقداری آب مورد استفاده قرار می‌گیرد از خازن برای ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی استفاده می‌شود.

خازن‌ها به اشکال گوناگون ساخته می‌شوند و متداول‌ترین آنها خازن‌های مسطح هستند. این نوع خازن‌ها از دو صفحهٔ هادی که بین آنها عایق یا **دی الکتریک** قرار دارد، تشکیل می‌شوند. شکل زیر، طرح سادهٔ یک خازن مسطح و نمای الکتریکی آن را نشان می‌دهد.

صفحات هادی نسبتاً پهن هستند و در فاصله‌ای بسیار نزدیک به‌هم قرار می‌گیرند. دی الکتریک انواع مختلفی دارد و با ضریب مخصوصی که نسبت به هوا سنجیده می‌شود، معرفی می‌گردد. این ضریب را **ضریب دی الکتریکی** می‌گویند و آن را با حرف ε نمایش می‌دهند. داریم:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

که در آن $\varepsilon_0 = 8/854 \times 10^{-12}$ **ضریب گذردهی الکتریکی هوا** و ε_r **ضریب گذردهی الکتریکی نسبی** است.



نمای یک خازن مسطح ساده

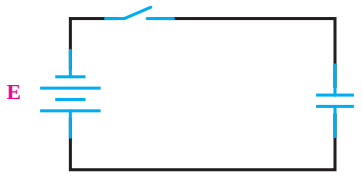
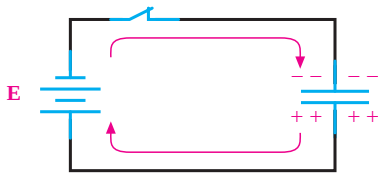
نمای الکتریکی خازن

شارژ خازن با ولتاژ DC

برای اینکه یک خازن شارژ شود، یعنی انرژی الکتریکی را ذخیره کند، باید آن را به یک اختلاف پتانسیل (ولتاژ) وصل کرد. این ولتاژ به وسیلهٔ یک باتری تأمین می‌شود. قطب مثبت باتری، به یک طرف و قطب منفی آن به طرف دیگر خازن، مانند شکل ۱۱-۱ وصل می‌شود.

قبل از بستن کلید، صفحات خازن خنثی هستند و هیچ انرژی‌ای در آنها ذخیره نخواهد شد. با بستن کلید، الکترون‌ها از قطب منفی باتری به طرف صفحه‌ای که به این قطب متصل است جاری می‌شوند و در آن تراکم الکترون یا بار منفی ایجاد می‌کنند. در همین لحظه، قطب مثبت باتری همان تعداد الکترون را از صفحه‌ای که به این قطب متصل است جذب می‌کند و این صفحه را دچار کمبود الکترون می‌کند و دارای بار مثبت می‌شود. در لحظاتی که خازن **شارژ** می‌شود، الکترون‌ها از طریق سیم‌های رابط به طرف قطب مثبت باتری حرکت می‌کنند، وارد باتری می‌شوند و از قطب منفی خارج می‌گردند. همانطور که می‌دانید حرکت الکترون‌ها را در مدار، عبور جریان در مدار می‌گویند.

وارد و خارج شدن الکترون‌ها از صفحات خازن، میدان الکتریکی ساکن را بالا می‌برد و ولتاژی در خلاف جهت ولتاژ اعمال شده به دو سر خازن ایجاد می‌کند. ولتاژ ایجاد شده در خازن، با جاری شدن جریان در مدار مخالفت می‌کند. به تعبیر دیگر، ولتاژ خازن با ولتاژ باتری مخالفت می‌کند. هر چه ولتاژ دو سر خازن بیشتر می‌شود، ولتاژ مؤثر مدار، که تفاوت بین ولتاژ باتری و ولتاژ خازن است، کمتر می‌شود و در نتیجه، شدت جریان مدار کاهش می‌یابد. هرگاه ولتاژ خازن با ولتاژ باتری برابر شود، جریان در مدار متوقف می‌گردد. صفر شدن جریان در مدار، نشانهٔ شارژ کامل خازن است. خازن هیچ گاه با ولتاژی بیشتر از ولتاژ منبع شارژ نمی‌شود.

وقتی کلید باز است، هیچ جریانی از مدار نمی‌گذرد و خازن شارژ نمی‌شود.	
وقتی کلید بسته است، جریان از مدار می‌گذرد و خازن را شارژ می‌کند.	

شکل ۱۱ـ۱ـ اتصال باتری و شارژ خازن

باید به این نکته توجه کرد که جریان شارژ و ولتاژ خازن مخالف یکدیگر عمل می‌کنند. یعنی، در ابتدای شارژ، جریان ماکزیمم و ولتاژ خازن صفر است. هرچه به ولتاژ خازن اضافه و خازن شارژ می‌شود، شدت جریان کاهش می‌یابد. وقتی ولتاژ خازن به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد، جریان صفر می‌شود. شکل ۱۲-۱ این مطلب را به روشنی نشان می‌دهد.

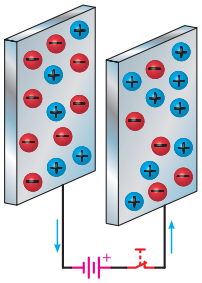
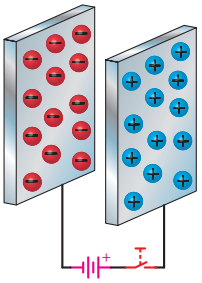
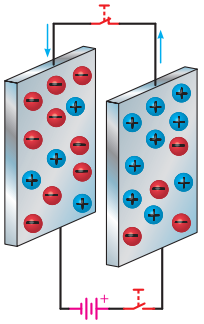
مدار باز بوده و جریان نمی‌گذرد	
خازن در حال شارژ	
خازن کاملاً شارژ شده و جریان نمی‌گذرد	

شکل ۱۲ـ۱ـ شارژ شدن خازن به اندازهٔ ولتاژ باتری

دشارژ (تخلیه) خازن

در تئوری یک خازن شارژ شده باید شارژ خود را به مدت زمان نامحدودی نگاه دارد. درحالی که این امر عملی نیست. با جدا شدن منبع شارژ از خازن، دیر یا زود خازن شارژ (بار) خود را از دست می‌دهد.

عمل از دست دادن شارژ را **دشارژ** شدن می‌نامند. برای دشارژ خازن تنها لازم است یک مسیر هادی بین دو صفحه ایجاد شود. با ایجاد مسیر، الکترون‌های صفحهٔ منفی به طرف پتانسیل مثبت در صفحهٔ مثبت جاری می‌شوند. تبادل الکترون بین صفحات آن قدر ادامه پیدا می‌کند تا صفحات خنثی شوند. در این موقع، خازن هیچ‌گونه ولتاژی ندارد و اصطلاحاً می‌گویند خازن دشارژ شده است. حرکت الکترون‌ها در مسیر ایجاد شده، **جریان دشارژ** نامیده می‌شود. در شکل زیر شارژ و دشارژ خازن را مشاهده می‌کنید.

خازن در حال شارژ	
خازن شارژ شده	
خازن در حال تخلیه	

نمایش شارژ و دشارژ خازن ساده

ظرفیت خازن

ظرفیت یک خازن- که آن را با حرف C نمایش می‌دهند- نمودار میزان توانایی ذخیره کردن شارژ (بار) الکتریکی (Q) است.

بنا به تعریف، **ظرفیت خازن برابر است با مقدار بار الکتریکی که باید روی یکی از صفحات خازن جمع شود تا پتانسیل آن نسبت به صفحهٔ دیگر به اندازهٔ یک ولت افزایش یابد.** به عبارت دیگر، خارج قسمت بار الکتریکی (Q) ذخیره شده روی هر یک از صفحات خازن بر اختلاف پتانسیل (V) میان دو صفحه را ظرفیت آن خازن گویند. می‌توان گفت که میزان ذخیره شدن شارژ الکتریکی به ظرفیت خازن‌ها بستگی دارد. در یک ولتاژ برابر خازنی که ظرفیت کمتری دارد، بار کمتر و آنکه ظرفیت بیشتری دارد، بار بیشتری را در خود ذخیره می‌کند. واحد ظرفیت **فاراد (F)** است که از نام مایکل فاراده گرفته شده و آن عبارت است از نسبت یک کولن بار ذخیره شده در هر یک از صفحات خازنی که به اختلاف پتانسیل یک ولت اتصال داده شده باشد. با توجه به تعریف ارائه شده، رابطهٔ ظرفیت خازن به صورت زیر است:

$$Q=C\,V$$

C ظرفیت خازن به فاراد، Q بار یک صفحه بر حسب کولن، و V ولتاژ دو سر خازن است. فاراد واحد بسیار بزرگی است و در کارهای عملی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. در عمل از واحدهای کوچک‌تری استفاده می‌شود.

مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعیین ظرفیت خازن عبارت‌اند از:

- مساحت صفحات
- فاصلهٔ بین صفحات
- دی الکتریک به‌کار رفته بین صفحات

ظرفیت یک خازن فقط به ابعاد و نوع عایق بستگی داشته و از مقدار ولتاژ و بار ذخیره شده در آن مستقل است. شکل صفحه ۳۲ عوامل مؤثر در ظرفیت را نشان می‌دهد. فرمول ظرفیت خازن مسطح به صورت زیر است:

$$C=\varepsilon\frac{A}{d}$$

A سطح مقطع صفحات بر حسب متر مربع و d فاصله صفحات برحسب متر است. **انرژی الکتریکی ذخیره شده (E_C)** در خازن از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$E_C=\frac{۱}{۲}CV^{۲}=\frac{۱}{۲}QV$$

واحد E_C ژول است.

مثال ۶

در یک خازن صفحات دایره‌ای شکل با شعاع ۵ سانتیمتر و فاصله یک میلیمتر هستند. دی‌الکتریک از جنس لاستیک با $\varepsilon_r = ۲/۵$ است. ظرفیت خازن چقدر است؟ اگر این خازن به ولتاژ ۱۰ ولت وصل گردد چقدر بار در آن ذخیره می‌شود؟

راه حل:

$$C=\varepsilon\frac{A}{d}=۲/۵\times۸/۸۵۴\times۱۰^{-۱۲}\times\frac{\pi\times۲۵\times۱۰^{-۴}}{۱۰^{-۳}}=۱۷۳/۷۶\text{pF}$$

$$Q=CV=۱۷۳/۷۶\text{pF}\times۱۰=۱/۷۳۷۶\text{nC}$$

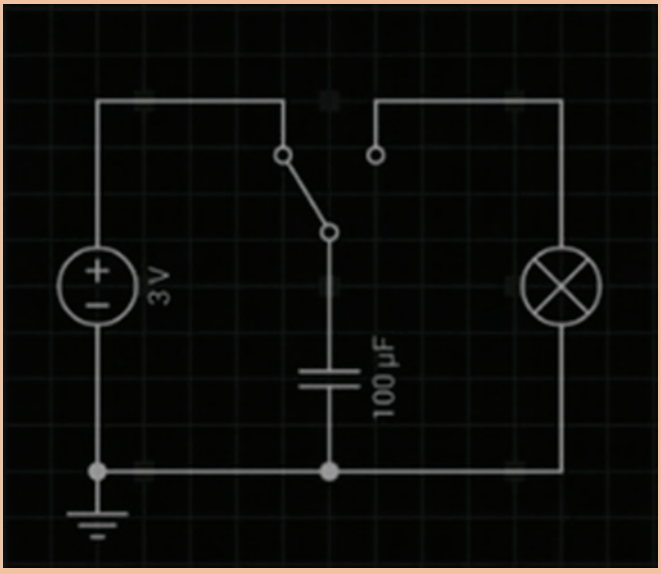
تمرین

۱ یک خازن در اثر اعمال ۲۰ ولت به دو سر آن باری معادل صفر کولن را ذخیره می‌کند. ظرفیت خازن چقدر است؟

۲ به دو سر خازن ۱ میکرو فارادی چه ولتاژی بدهیم تا باری معادل ۲۰ میکرو کولن در آن ذخیره شود؟

فعالیت ۸

مدار زیر را در نرم افزار Every Circuit بسته و با افزایش مقدار ظرفیت خازن مشاهدات خود را برای لامپ یادداشت کنید.



.....

.....

.....

اتصال خازن‌ها

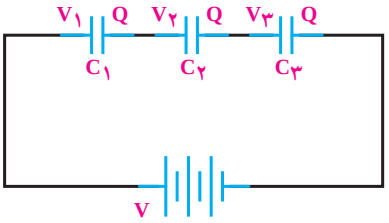
خازن‌ها را بسته به نوع استفاده از آنها می‌توان به سه طریق سری و موازی متصل کرد.

الف) اتصال سری خازن‌ها: در شکل ۱۳-۱ طرز به هم بستن سری خازن‌ها را مشاهده می‌کنید. در اتصال سری، فاصلهٔ مؤثر بین صفحات بیشتر می‌شود و ظرفیت معادل مجموعهٔ خازنی کاهش می‌یابد. همانگونه که در شکل می‌بینید، تنها دو صفحهٔ ابتدا و انتهای مجموعهٔ خازنی که به منبع بسته شده‌اند از منبع بار الکتریکی دریافت می‌کنند، و صفحه‌های دیگر از طریق القا دارای بار الکتریکی می‌شوند. بنابراین، اندازهٔ بار الکتریکی همهٔ خازن‌ها یکسان است ولی اختلاف پتانسیل دو سر مجموعه برابر حاصل جمع اختلاف پتانسیل‌های دو

سر خازن است. یعنی:

$$Q=Q_1=Q_2=Q_3$$

$$V=V_1+V_2+V_3$$



شکل ۱۳-۱- اتصال سری خازن‌ها

ظرفیت خازن معادل

$$\frac{1}{C_t}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}$$

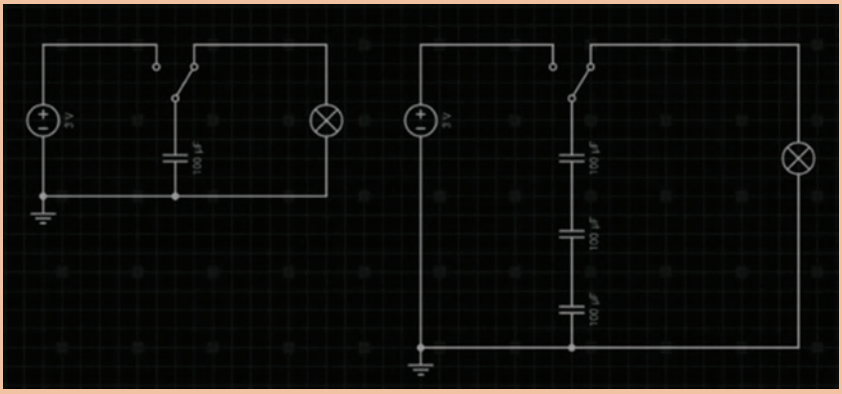
با رابطهٔ بالا ظرفیت خازن معادل را می‌توان محاسبه کرد. در صورتی که خازن‌ها با هم مساوی باشند، رابطهٔ ظرفیت خازن معادل برای n خازن چنین است:

$$C_t=\frac{C}{n}$$

افت ولتاژ دو سر خازن‌ها در مدار سری با ظرفیت هر خازن نسبت معکوس دارد. یعنی، هرچه ظرفیت خازن کمتر باشد، مقدار ولتاژ شارژ روی آن بیشتر خواهد بود. به تعبیر دیگر، در مدار دو سر خازن‌های با ظرفیت کمتر، ولتاژ بیشتری نسبت به خازن‌های با ظرفیت بیشتر افت می‌کند.

فعالیت ۹

مدار زیر را در Every Circuit بسته و مشاهدات خود را درباره مدت روشنایی لامپ بنویسید:



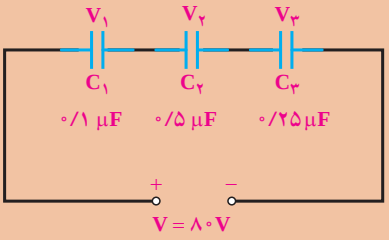
.....

.....

.....

مثال ۷

در مدار شکل زیر در صورتی که همهٔ خازن‌ها شارژ کامل باشند ولتاژ دو سر هر خازن را به دست آورید.



راه حل:

در مدار سری مقدار بار خازن‌ها یکسان و برابر است با

$$Q_t = Q_۱ = Q_۲ = Q_۳ = \frac{۰/۵ \times ۸۰}{۸} = ۵\mu f$$

در اینجا ولتاژ دو سر خازن‌ها برابر می‌شود با:

$$V_۱ = \frac{Q_۱}{C_۱} = \frac{۵}{۰/۱} = ۵۰V$$

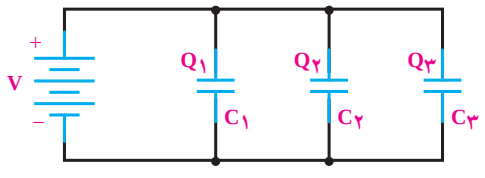
$$V_۲ = \frac{Q_۲}{C_۲} = \frac{۵}{۰/۵} = ۱۰V$$

$$V_۳ = \frac{Q_۳}{C_۳} = \frac{۵}{۰/۲۵} = ۲۰V$$

$$V = V_۱ + V_۲ + V_۳$$

$$V = ۵۰ + ۱۰ + ۲۰ = ۸۰V$$

ب) اتصال موازی خازن‌ها: شکل ۱۴-۱ اتصال چند خازن را به‌طور موازی نشان می‌دهد. در اتصال موازی خازن‌ها سطح مؤثر صفحات زیادتر می‌شود و ظرفیت معادل افزایش می‌یابد.



شکل ۱۴-۱- اتصال موازی سه خازن

در اتصال موازی خازن‌ها اختلاف پتانسیل بین دو صفحهٔ همهٔ آنها برابر ولتاژ منبع است ولی بار الکتریکی هر خازن با ظرفیت آن متناسب است. یعنی:

$Q = Q_1+Q_2+Q_3$

$V=V_1=V_2=V_3$

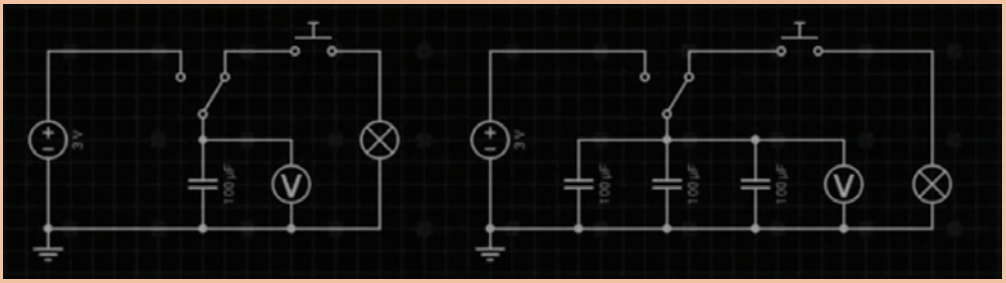
ظرفیت خازن معادل: $C_t= C_1+C_2+C_3$

در صورتی که خازن‌های موازی یکسان باشند، ظرفیت برای n خازن برابر است با:

$C_T= nC$

فعالیت ۱۰

مدار زیر را در Every Circuit بسته و مشاهدات خود را درباره مدت روشنایی لامپ بنویسید:



.....

.....

.....

در جدول زیر خلاصهٔ ویژگی‌های خازن‌ها آورده شده است.

مدار سری	ـ بار ذخیره شده در هر خازن با بار کل برابر است. ـ ولتاژ کل با مجموع ولتاژهای جزء برابر است. ـ ظرفیت کل کاهش می‌یابد.
مدار موازی	ـ ولتاژ کل با ولتاژ دو سر هر خازن برابر است. ـ بار کل با مجموع بارهای جزء برابر است. ـ ظرفیت کل افزایش می‌یابد.

امپدانس خازنی

خازن در برابر جریان متناوب از خود مقاومت نشان می‌دهد. مقدار این مقاومت به ظرفیت و فرکانس جریان متناوب بستگی دارد که به آن **مقاومت خازنی یا امپدانس خازنی** می‌گویند و با X_C نشان می‌دهند. واحد مقاومت خازنی اهم بوده و با فرمول صفحهٔ بعد محاسبه می‌شود.

$$X_C = \frac{۱}{۲\pi f C}$$

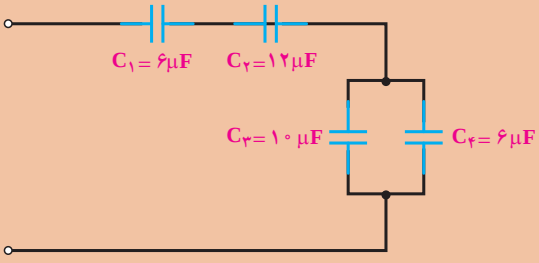
برای محاسبهٔ مقاومت خازنی معادل در مدارهای سری و موازی نیز می‌توان مشابه محاسبهٔ ظرفیت معادل خازن‌ها عمل کرد. روابط محاسبهٔ مقاومت خازنی معادل، در مدار سری و موازی به‌صورت زیر است:

$$X_{C_T} = X_{C_۱} + X_{C_۲} + ... + X_{C_n} \quad \text{مدار سری}$$

$$\frac{۱}{X_{C_T}} = \frac{۱}{X_{C_۱}} + \frac{۱}{X_{C_۲}} + ... + \frac{۱}{X_{C_n}} \quad \text{مدار موازی}$$

مثال ۸

ظرفیت کل در مدار زیر را به‌دست آورید.



راه حل:

در این مدار $C_۱$ و $C_۲$ سری است که روابط سری را دربارهٔاین دو عمل می‌کنیم. $C_۳$ و $C_۴$ نیز باهم موازی‌اند و روابط موازی را دربارهٔ آنها عمل می‌کنیم. در نهایت، مجموعهٔ $C_۱$ و $C_۲$ با مجموعهٔ $C_۳$ و $C_۴$ سری هستند و از قوانین سری پیروی می‌کنند. بنابراین، می‌توان نوشت:

$$C_{۱,۲} = \frac{C_۱ C_۲}{C_۱ + C_۲} = \frac{۶ \times ۱۲}{۶ + ۱۲} = ۴\mu F$$

$$C_{۳,۴} = C_۳ + C_۴ = ۱۰ + ۶ = ۱۶\mu F$$

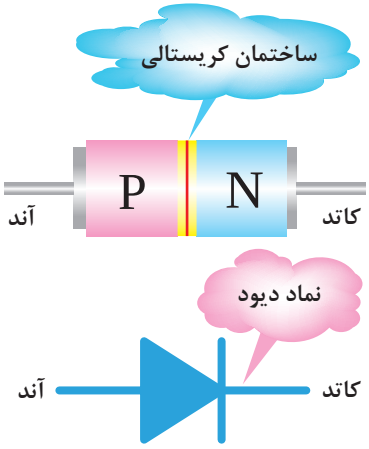
$$C_t = \frac{۴ \times ۱۶}{۴ + ۱۶} = \frac{۱۶}{۵} = ۳/۲\mu F$$

البته می‌توانستیم ابتدا ظرفیت $C_{۳,۴}$ را حساب کنیم و سپس ظرفیت معادل را به‌صورت مجموعهٔ سه خازن سری به‌دست آوریم.

فیلم دیود

دیود

دیودهای معمولی، از نظر ظاهری به شکل‌های مختلفی ساخته می‌شوند ولی علامت اختصاری همه یکسان است. در شکل ۱۵-۱ ساختمان کریستالی و نماد مداری دیود نشان داده شده است.



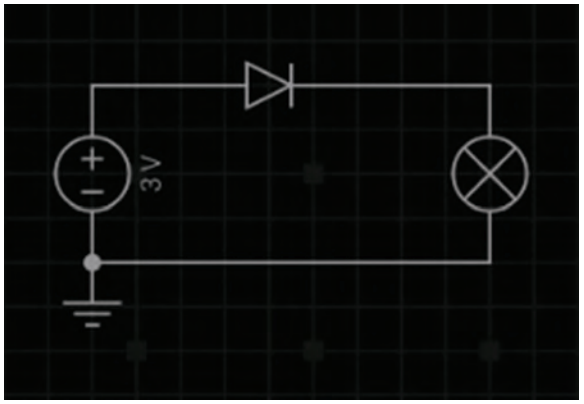
شکل ۱۵-۱- نمای مداری دیود

در نماد مداری، علامت مثلث، جهت قراردادی جریان را نشان می‌دهد. نیمه هادی نوع P را **آند** و نیمه هادی نوع N را **کاتد**، نام‌گذاری می‌نمایند. پایه‌های آند و کاتد روی دیودها مشخص شده‌اند. معمولاً کاتد را با یک نوار یا علامت K یا سایر علایم مشخص می‌کنند.

دیود در بایاس مستقیم (Forward Bias) و بایاس معکوس (Reverse Bias)

وصل کردن ولتاژ به دیود را بایاس کردن دیود می‌نامند. اتصال ولتاژ به دیود به دو صورت امکان پذیر است.

الف) بایاس مستقیم: اگر آند یک دیود را به قطب مثبت باتری و کاتد آن دیود را به قطب منفی باتری متصل کنیم، این حالت را بایاس مستقیم می‌گویند.



بایاس مستقیم دیود

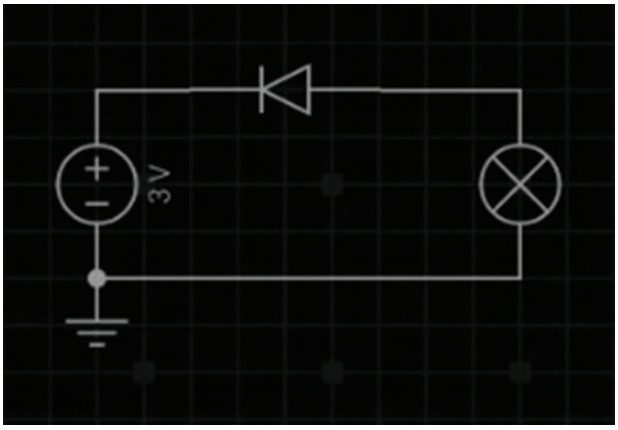
فعالیت ۱۱

مدار زیر را در نرم افزار Every Circuit ببندید و نتیجه مشاهدات خود را بنویسید:

.....

.....

ب) بایاس معکوس: درصورتی 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.



بایاس معکوس دیود

فعالیت ۱۲

مدار شکل فوق را در نرم افزار بسته و نتیجه مشاهدات خود را بنویسید:

.....

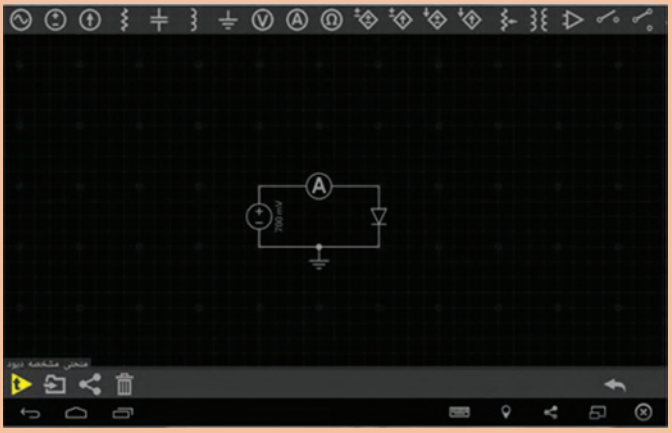
.....

منحنی مشخّصهٔ ولت ـ آمپر دیود

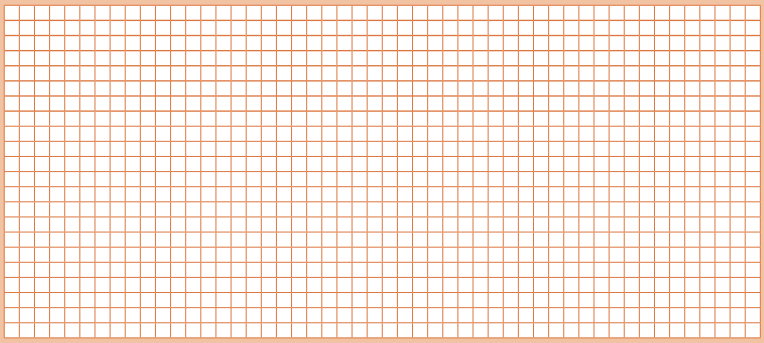
در مدار شکل صفحه ۴۳ دیود در بایاس مستقیم قرار دارد. در این مدار یک میلی‌آمپرمتر با دیود سری شده است. در ولتاژ صفر، مقدار جریان عبوری از دیود صفر است. چنانچه ولتاژ تغذیه را تا ۰/۷ولت زیاد کنیم، میلی‌آمپرمتر جریان کمی را نشان می‌دهد. زمانی که ولتاژ از ۰/۷ ولت بیشتر می‌شود، چون جنس دیود از سیلیسیوم است، جریان بسیار ضعیفی در مدار برقرار می‌گردد.

فعالیت ۱۳

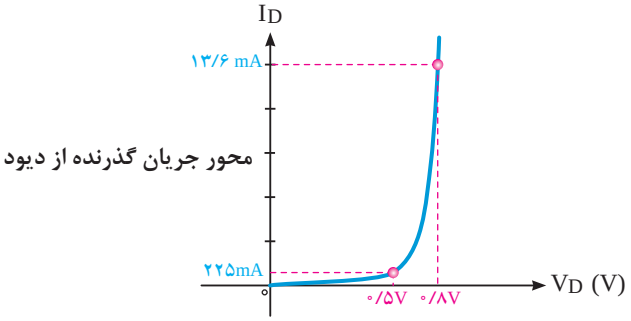
مدار صفحه بعد را در نرم افزار Every Circuit بسته و جدول صفحهٔ بعد را کامل کنید و سپس با استفاده از جدول، منحنی مشخصه ولت آمپر دیود را در نمودار رسم کنید:



V_D[V]	۱mv	۱۰۰ mv	۵۰۰ mv	۷۰۰ mv	۷۲۵ mv	۷۵۰ m	۷۷۵ mv	۸۰۰ mv	۸۵۰ mv	۸۷۵ v	۹۰۰ mv	۹۵۰ mv	۱v
I_D[A]													



هنگامی که ولتاژ دیود به حدود ۰/۷ ولت می‌رسد، جریان به طور ناگهانی افزایش می‌یابد. زیاد شدن ناگهانی جریان، به دلیل غلبهٔ ولتاژ خارجی بر پتانسیل سد است. هنگامی که ولتاژ خارجی، از ولتاژ سد بیشتر شد، مقاومت دیود کم و جریان زیاد می‌شود. اگر این جریان محدود نشود، به سوختن دیود منجر می‌گردد. حداکثر این جریان را که به ازای آن دیود نمی‌سوزد، کارخانجات سازنده مشخص می‌نمایند. برای محدود کردن جریان عبوری از دیود، لازم است مقاومتی را با دیود سری کنیم. شکل بالا نشان می‌دهد که اگر ولتاژ بایاس از ۰/۷ولت بیشتر باشد، جریان عبوری از دیود بسیار افزایش می‌یابد.

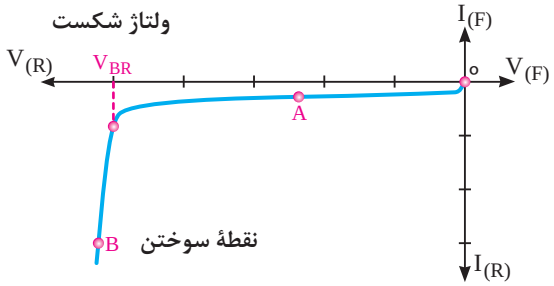


منحنی مشخصه دیود

اگر دیود را در بایاس معکوس اتصال دهیم و ولتاژ خارجی را زیاد کنیم، جریان بسیار ضعیفی از مدار می‌گذرد. این جریان همان جریان اشباع معکوس یا **جریان نشتی** دیود است.

کارخانه‌های سازنده مقدار ولتاژ بیشینه قابل تحمل توسط دیود در بایاس معکوس را مشخص می‌کنند. این ولتاژ به عنوان یک مشخصهٔ مهم در دیود معمولی به کار می‌رود. شکل ۱۶-۱ دیود را در حالتی نشان می‌دهد که مقدار ولتاژ معکوس آن به حد شکست رسیده است. در دیود معمولی اگر مقدار ولتاژ معکوس به حد شکست برسد دیود می‌سوزد.

در شکل ۱۶-۱ منحنی مشخصهٔ ولت آمپر دیود معمولی در گرایش معکوس نشان داده شده است.



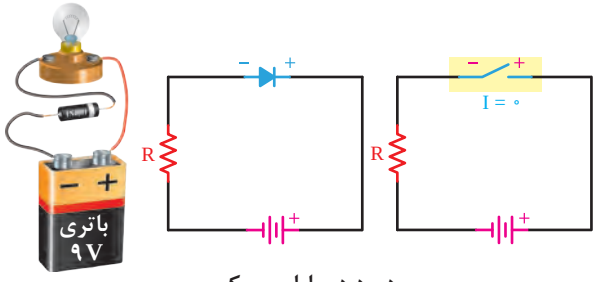
شکل ۱۶-۱- منحنی مشخصه دیود در بایاس معکوس

نکته

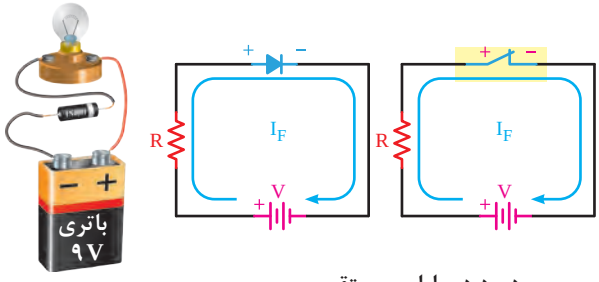
درصورتی که دیودهای معمولی در بایاس معکوس **در حالت شکست قرار گیرند** و جریان و ولتاژ آنها افزایش یابد به‌طوری که توان اتلافی آنها از حد مجاز عبور کند، دیود **آسیب می‌بیند.**

بررسی دیود در حالت ایده‌آل

یک دیود در حالت ایده‌آل مانند کلیدی است که در بایاس مستقیم به‌صورت کلید بسته و در بایاس معکوس به‌صورت کلید باز عمل می‌کند. شکل زیر دیود در بایاس مستقیم و معکوس و معادل کلیدی آن را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر در دیود ایده‌آل از ولتاژ هدایت دیود یعنی ۰/۷ ولت صرف‌نظر می‌کنیم.



دیود در بایاس معکوس



دیود در بایاس مستقیم

اگرچه دیود ایده‌آل در عمل وجود ندارد ولی می‌توان برای ساده‌تر شدن محاسبات در تشریح مدارهای الکترونیکی دیود ایده‌آل را به‌کار برد. همواره در دیود واقعی هنگامی که دیود در بایاس موافق قرار دارد، از آن

جریان عبور می‌کند و در دو سر آن افت ولتاژی در حدود ۰/۷ تا ۱/۵ ولت به وجود می‌آید. مقدار دقیق افت ولتاژ را کارخانه‌های سازندهٔ دیود به ازای یک جریان معین، مشخص می‌کنند.

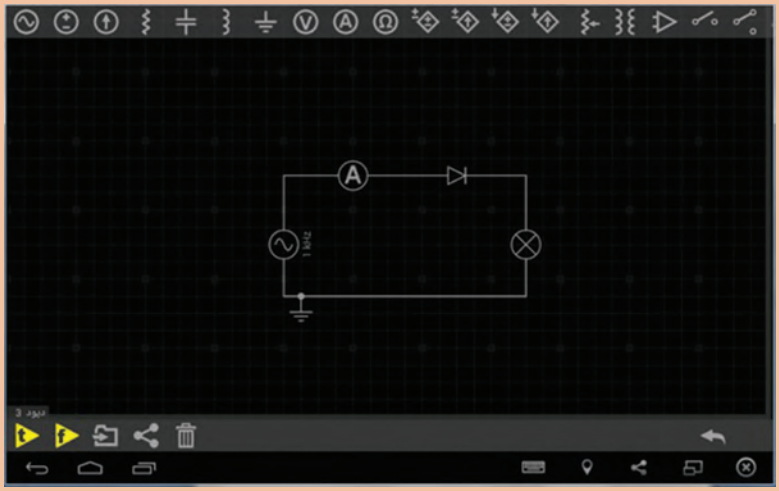
مدار معادل دیود معمولی

همان‌طور که دیدیم، یک دیود دارای یک مقاومت دینامیکی و یک پتانسیل سد حدود ۰/۶ ولت برای نیمه‌هادی نوع سیلیسیومی و ۰/۲ ولت برای نیمه هادی نوع ژرمانیمی است. در ضمن، دیود می‌تواند فقط در یک جهت، جریان را عبور دهد. لذا با توجه به مطالب بالا می‌توان مدار معادل دیود را به صورت شکل زیر نشان داد.

مدار معادل دیود

فعالیت ۱۴

مدار شکل زیر را در نرم افزار بسته و نتیجه مشاهدات خود را بنویسید:



.....

.....

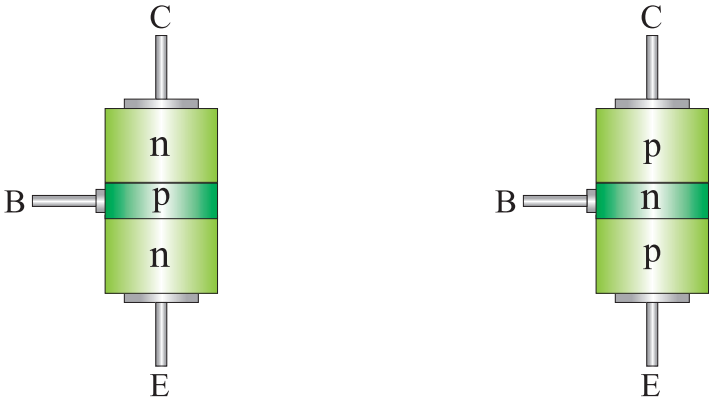
.....

فیلم ترانزیستور

ترانزیستور

ترانزیستور (Transistor) معمولی از سه نیمه هادی نوع P و N تشکیل یافته است. ترتیب قرار گرفتن

نیمه‌هادی‌های P و N در کنار هم به‌صورت یکی از حالت‌های زیر است.

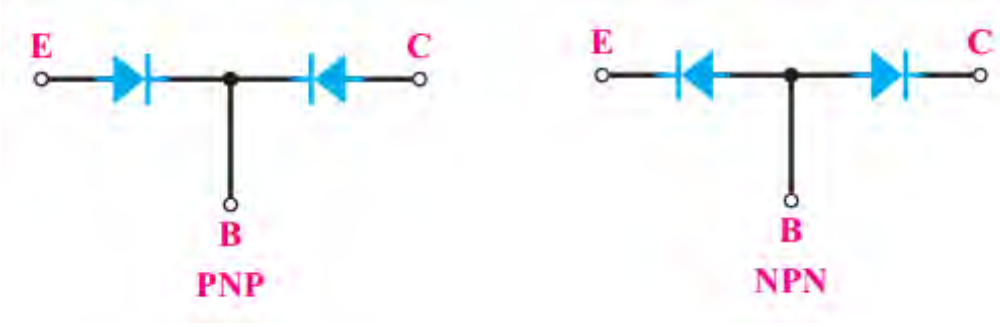


ساختار داخلی ترانزیستور

با توجه به شکل مشاهده می‌شود دو نوع ترانزیستور وجود دارد که به یکی **«NPN»** و دیگری **«PNP»** گفته می‌شود. سه پایهٔ ترانزیستور نیز **امیتر** (Emitter) یعنی منتشر کننده، **بیس** (Base) یعنی پایه و **کلکتور** (Collector) یعنی جمع‌کننده نام‌گذاری شده‌اند. هر ترانزیستور در دو محل دارای پیوند P-N است.

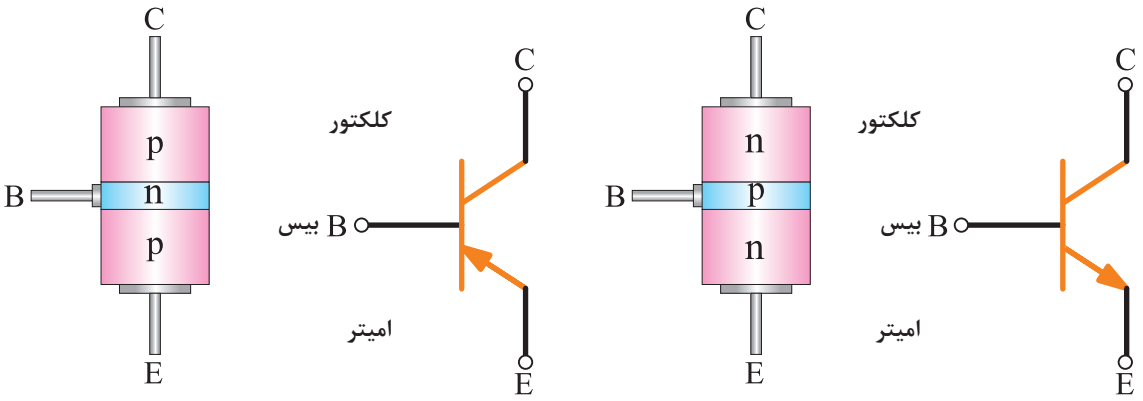
نمای مداری و معادل دیودی ترانزیستور

هر اتصال P-N معادل یک دیود بوده، از این رو می‌توان یک ترانزیستور را معادل ۲ دیود نشان داد.



نمای دیودی ترانزیستور

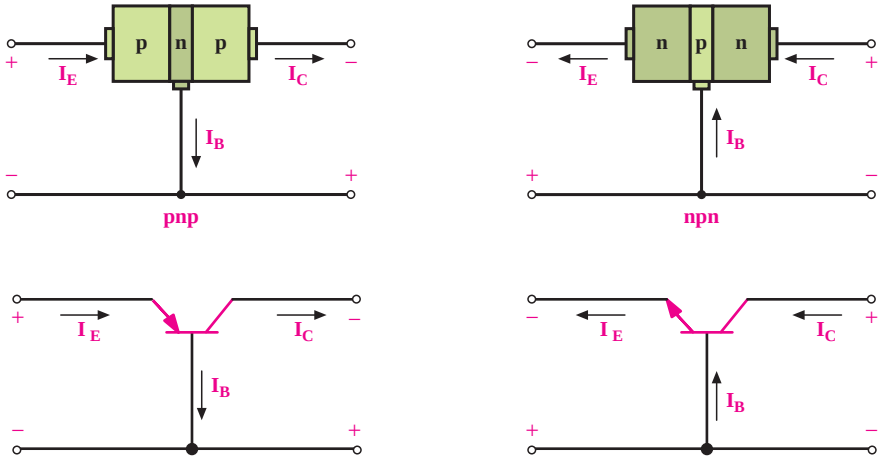
نمای مداری ترانزیستورهای NPN و PNP در شکل صفحهٔ بعد مشخص شده است.



نمای مداری ترانزیستور

بایاس کردن ترانزیستور

برای اینکه بتوانیم از ترانزیستور به‌صورت تقویت‌کننده یا کلید و نظایر آن استفاده کنیم باید ابتدا ترانزیستور را با ولتاژ DC تغذیه کنیم. تغذیه نمودن پایه‌های ترانزیستور را **بایاس کردن «ترانزیستور»** گویند. برای بایاس کردن ترانزیستور به دو پیوند امیتر ـ بیس و کلکتورـ بیس ولتاژ DC اعمال می‌شود. چون ترانزیستور سه پایه دارد، یکی از پایه‌ها را مشترک و دو پایهٔ دیگر را یکی ورودی و دیگری خروجی درنظر می‌گیریم. در شکل ۱۷-۱ این حالت برای دو نوع ترانزیستور PNP و NPN نشان داده شده است.



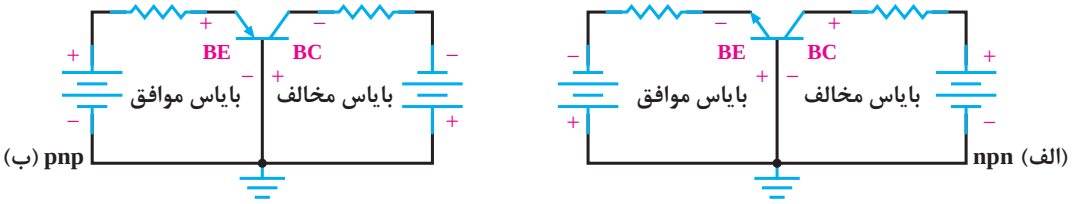
شکل ۱۷-۱- نحوه بایاس کردن و جهت جریان‌ها در ترانزیستورها

با توجه به شکل مشاهده می‌شود **پیکان روی امیتر** معروف جهت قراردادی جریان است که با استفاده از آن می‌توان نوع تراتزیستور را تشخیص داد. حامل‌های باری که از امیتر حرکت می‌کنند مقدار ناچیزی از آنها در

بیس، جریان بیس (I_B) را می‌سازند و بقیهٔ حامل‌ها به کلکتور رسیده، جریان کلکتور (I_C) را تشکیل می‌دهند. از این‌رو، می‌توان بیان نمود: **جریان امیتر (I_E) برابر با مجموع جریان بیس و جریان کلکتور است** (یعنی $I_E = I_B + I_C$). این رابطه از روابط اساسی در حل مدارهای ترانزیستوری می‌باشد که از قانون KCL هم قابل استنتاج است.

در شکل‌های زیر دو حالت از اعمال ولتاژ به پایه‌های ترانزیستور برای استفاده به‌صورت تقویت‌کننده و یا کلید آمده است:

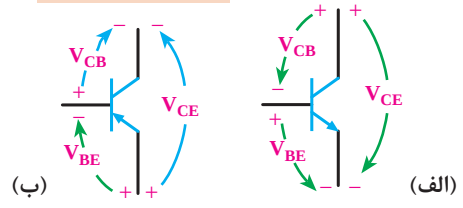
اتصال امیتر بیس در **بایاس موافق** و **اتصال کلکتور بیس** در بایاس **مخالف**، که در شکل (الف) برای یک ترانزیستور NPN و در شکل (ب) برای یک ترانزیستور PNP این حالت بایاس نشان داده شده است.



نواحی کاری در ترانزیستور

اعمال ولتاژ DC به ترانزیستور برای بایاس نمودن آن، روی پایه‌های ترانزیستور افت ولتاژی ایجاد می‌کند. ولتاژی که بین پایه‌های بیس-امیتر ترانزیستور قرار می‌گیرد با V_{BE} نشان داده می‌شود. همچنین، بین کلکتور- امیتر با V_{CE} و ولتاژ بین کلکتور ـ بیس با V_{CB} مشخص می‌گردد. در شکل ۱۸-۱ این حالت نشان داده شده است.

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



شکل ۱۸-۱- نمایش ولتاژهای بین پایه‌های ترانزیستور

انواع نواحی کاری در ترانزیستور عبارت‌اند از :

ناحیه قطع: در ناحیه قطع جریان بیس صفر بوده و جریان کلکتور نیز تقریباً صفر است، در این حالت ترانزیستور مانند کلید قطع عمل می‌نماید.

ناحیه فعال: در این ناحیه اتصال امیتر بیس، در بایاس موافق و اتصال کلکتور بیس در بایاس مخالف قرار دارد. ناحیه فعال، محدوده کار عادی ترانزیستور است، یعنی ترانزیستور مانند تقویت‌کننده جریان عمل می‌کند که جریان بیس را تقویت می‌کند و در آن $I_C = \beta I_B$ برقرار است. β **ضریب تقویت جریان** است که

عموماً عدد بسیار بزرگی می‌باشد. به‌عنوان مثال در ترانزیستور ۲N۲۲۲۲ ، ۵۰ = β است.

ناحیه اشباع: این ناحیه مانند ناحیه فعال می‌باشد، یعنی زمانی که بیس امیتر ترانزیستور را در بایاس موافق قرار دهیم و جریان بیس را افزایش دهیم، جریان کلکتور نیز افزایش می‌یابد، ولتاژ کلکتور امیتر صفر و ترانزیستور در حالت اشباع است. ترانزیستور در حالت اشباع به‌صورت کلید بسته عمل می‌کند.

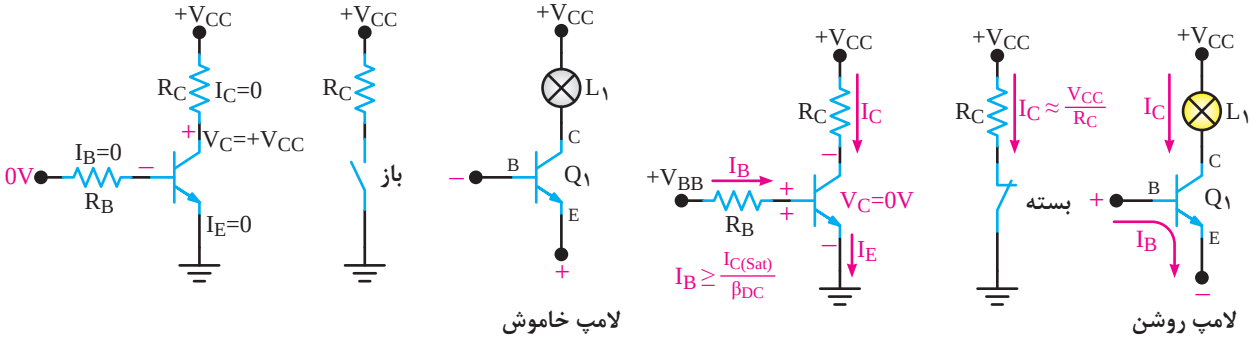
با توجه به اینکه در هر ترانزیستور دو پیوند بیس ـ امیتر و بیس ـ کلکتور وجود دارد، و هر پیوند می‌تواند قطع یا وصل باشد، چهار حالت کاری مختلف به‌وجود می‌آید. این حالت‌ها در جدول زیر خلاصه شده‌اند.

جدول ۲-۱- نواحی کاری ترانزیستورها

پیوند بیس ـ امیتر	پیوند بیس ـ کلکتور	حالت ترانزیستور	کاربرد
قطع	قطع	ناحیه قطع	کلید قطع شده
وصل	قطع	ناحیه فعال	تقویت‌کننده جریان
وصل	وصل	ناحیه اشباع	کلید وصل شده

کاربرد سادهٔ ترانزیستور به‌عنوان کلید

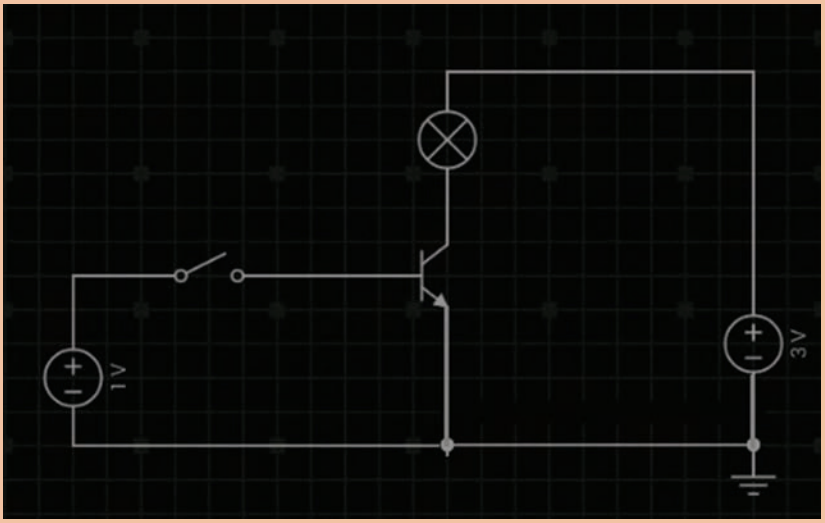
در شکل ۱۹-۱ یک کاربرد سادهٔ ترانزیستور به منزلهٔ کلید نشان داده شده است. اگر موج ورودی صفر باشد ترانزیستور قطع است. از این رو، جریان کلکتور صفر و LED خاموش می‌شود. زمانی که موج ورودی دارای ولتاژ غیر صفر (و به اندازه کافی بزرگ) باشد ترانزیستور وصل می‌شود و جریان کلکتور از LED عبور نموده، آن را روشن می‌کند. بدین ترتیب، LED با تغییر ولتاژ روشن و خاموش شده چشمک می‌زند.



شکل ۱۹ـ۱ـ تغییر وضعیت ترانزیستور با تغییر ولتاژ اعمالی به بیس

فعالیت ۱۵

مدار شکل زیر را در نرم افزار Every Circuit ببندید و نتیجه مشاهدات خود را بنویسید.



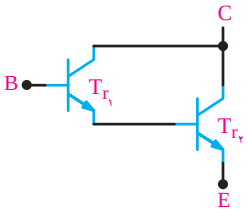
.....

.....

.....

برخی کاربردهای عملی مدارات ترانزیستوری

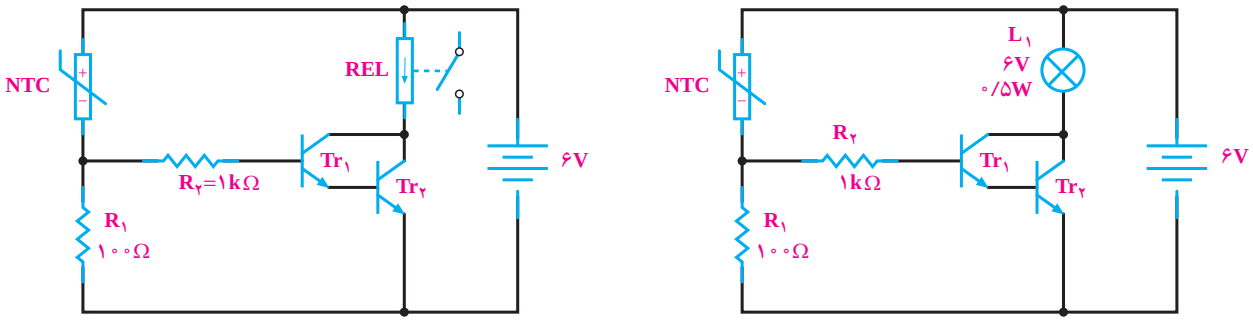
در شکل ۲۰-۱ الف مدار یک سیستم اعلام حریق ساده رسم شده است. با افزایش حرارت مقاومت ترمیستور NTC کاهش می‌یابد و جریان عبوری از آن زیاد شده و در نتیجه جریان‌های I_1 و I افزایش می‌یابند که این امر سبب هدایت ترانزیستورهای Tr_1 و Tr_2 می‌شود و لامپ L_1 را روشن می‌کنند. اتصال دو ترانزیستور به صورت:



ضریب بهره جریان بزرگی را ایجاد می‌کند و سبب می‌شود جریان کم در بیس ترانزیستور Tr_1 به جریان بزرگی در کلکتور ترانزیستور Tr_2 تبدیل شود و به این ترتیب می‌توان لامپ‌های با توان بیشتر یا موتورهای با توان متوسط را نیز روشن نمود. به این نحوه اتصال ترانزیستورها **زوج دارلینگتون** می‌گویند.

اگر بخواهیم از این مدار به عنوان راه‌انداز یک مدار دیگر استفاده کنیم باید از یک رله به‌جای لامپ I_1 مطابق شکل ۲۰-۱ ب، بهره بگیریم.

$Tr_۱ = Tr_۲ =$ ۲N۳۰۵۳ یا BC۱۴۰



شکل ۲۰-۱- مدار ترانزیستوری سیستم اعلام حریق

ارزشیابی پایانی فصل اول

۱ اگر زمان تناوب یک موج سینوسی ۱۰ میلی‌ثانیه باشد، فرکانس آن چقدر است؟

۲ زمان تناوب برق شهر در کشور ایران چقدر است؟

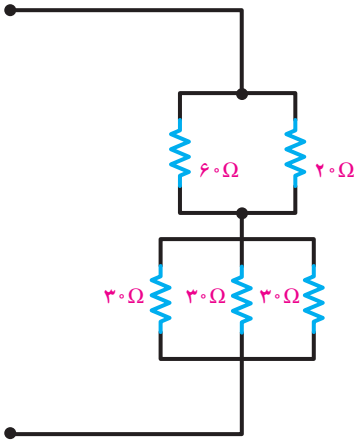
۳ موارد زیر را پاسخ دهید.

الف) معادله ولتاژ متناوبی را بنویسید که فرکانس آن ۶۰ هرتز و ماکزیمم ولتاژ آن ۱۵۶ ولت باشد.

ب) مقدار لحظه‌ای ولتاژ در ۰/۳ ثانیه را به‌دست آورید.

ج) مقدار مؤثر، متوسط، پیک، و پیک تا پیک را مشخص نمایید.

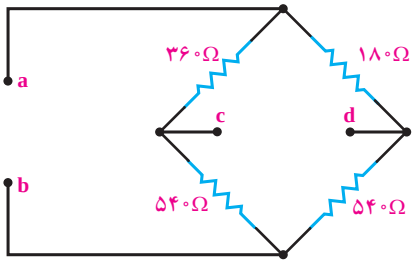
۴ در مدار روبرو مقاومت معادل را تعیین نمایید.



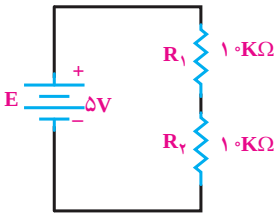
۵ مقاومت معادل را در مدار زیر تعیین نمایید.

الف) از دو سر a و b

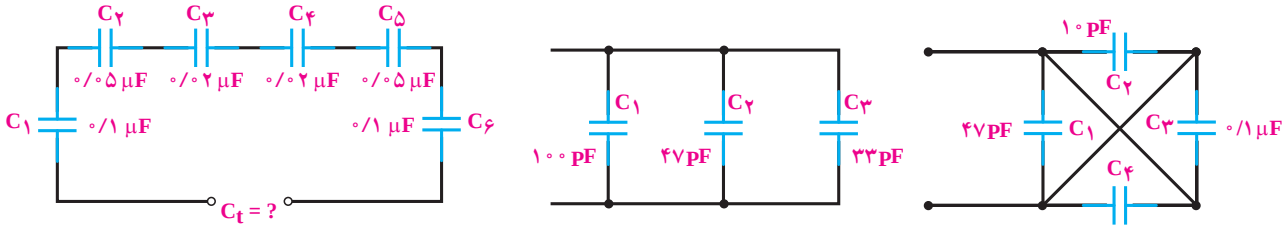
ب) از دو سر c و d



۶ در مدار زیر مقاومت معادل و ولتاژ هر یک از مقاومت‌ها را تعیین کنید.

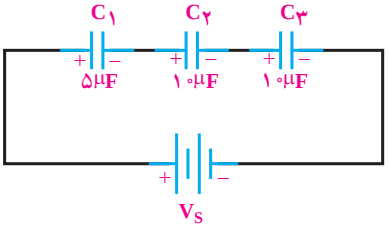


۷ در مدارات زیر مقدار ظرفیت معادل را حساب کنید.

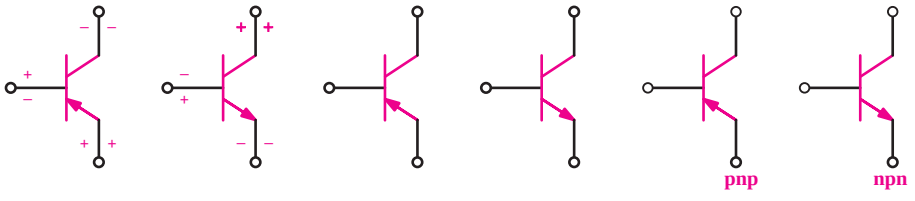


ج ب الف

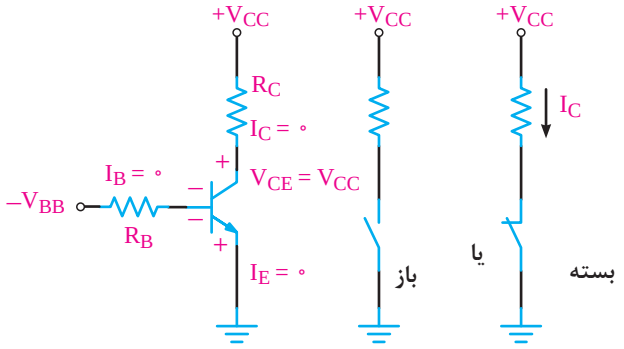
۸ در مدار شکل زیر اگر مقدار بار ذخیره شده در مجموعهٔ خازنی ۱۰۰ میکروکولن باشد، ولتاژ دو سر هر خازن چقدر است؟



۹ پایه‌ها و جهت قراردادی جریان و ولتاژ ترانزیستورهای زیر را تعیین کنید:



۱۰ ترانزیستور شکل زیر، آیا معادل یک کلید وصل است یا کلید قطع؟



۱۱ ترانزیستور شکل زیر، آیا معادل یک کلید وصل است یا کلید قطع؟