

## خازن در جریان متناوب

### هدف‌های رفتاری

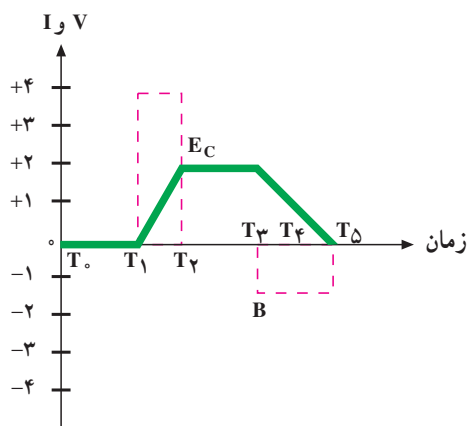


- ۱- منحنی‌های ولتاژ و جریان خازن را در جریان متناوب رسم کند.
- ۲- اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان خازن را رسم کند.
- ۳- اثرات فرکانس را بر راکتانس خازن شرح دهد.
- ۴- انواع اتصال خازن‌ها را شرح دهد.
- ۵- مقاومت معادل خازن‌ها را در اتصال سری و موازی محاسبه کند.

### ۱۶-۱- مدارهای جریان متناوبی خازنی

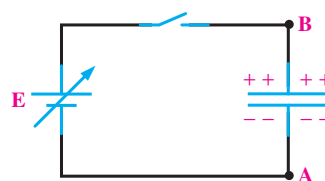
برای درک بهتر مطلب، عمل خازن را در مدار شکل

۱۶-۱ با افزایش و کاهش ولتاژ منبع بررسی می‌کنیم. از زمان  $T_0$  تا  $T_1$  کلید باز است. لذا ولتاژ و جریان مدار هر دو صفرند. از  $T_1$  تا  $T_2$  کلید را می‌بندیم و ولتاژ منبع را به صورت خطی (یک‌نواخت) از صفر افزایش می‌دهیم (خط ممتد). ولتاژ لحظه‌ای در  $T_1$  صفر (حداقل شارژ روی خازن) است. این ولتاژ حداقل اجازه می‌دهد تا حداکثر جریان (خط مقطع) در مدار جاری شود و خازن را شارژ کند. چون ولتاژ داده شده به صورت یک‌نواخت



شکل ۱۶-۲- منحنی تغییرات ولتاژ و جریان خازن

در فصل ۱۵ رفتار خازن در جریان مستقیم بررسی شد. اکنون چگونگی رفتار خازن را وقتی که جریان متناوب به آن وارد می‌شود، مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این قسمت، به روابط فازی بین جریان و ولتاژ و عکس‌العمل خازنی می‌پردازیم. با توجه به شکل ۱۶-۱ یک خازن را به یک منبع ولتاژ DC متغیر وصل کرده‌ایم: در شکل ۱۶-۲ منحنی تغییرات ولتاژ دو سر خازن نسبت به جریانی که خازن را شارژ می‌کند، رسم شده است. خط ممتد ولتاژ و خط مقطع، جریان را نشان می‌دهد. جریان عبوری از خازن سبب شارژ خازن می‌شود و در جهت عکس، ولتاژ حاصل از شارژ خازن عمل می‌کند.



شکل ۱۶-۱- مدار خازنی با منبع DC متغیر

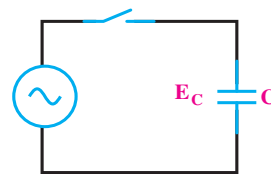
جریان لحظه‌ای در  $T_0$  حداکثر (+۴) و ولتاژ صفر است. از  $T_0$  تا  $T_1$  خازن شروع به شارژ شدن می‌کند و ولتاژ آن به مقدار ماکزیمم خود (۱/۵+) می‌رسد. در حالی که جریان با شارژ شدن تدریجی خازن از حداکثر به صفر می‌رسد. از این لحظه به بعد یعنی  $T_1$  تا  $T_2$  که ولتاژ منبع کاهش می‌یابد - خازن شروع به دشارژ شدن در منبع می‌کند و ولتاژ آن به صفر می‌رسد. در حالی که جریان در جهت مخالف حالت اولیه به مقدار ماکزیمم می‌رسد. از  $T_2$  تا  $T_3$  با تغییر جهت قطب‌های ولتاژ داده شده جریان خازن رفته رفته کم می‌شود و زمانی که خازن در جهت مخالف شارژ شد، جریان آن صفر می‌شود. از  $T_3$  تا  $T_4$  با تغییر ولتاژ، مجدداً خازن دشارژ و در جهت مخالف شارژ می‌شود. جریان خازن مخالف جهت جریان از  $T_1$  تا  $T_3$  است و در این فاصله به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد و دوباره به صفر برمی‌گردد.

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

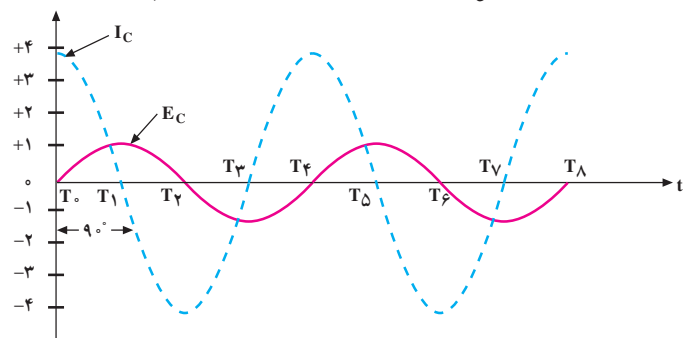
منحنی ولتاژ و جریان، هر دو به صورت سینوسی تغییر می‌کنند. به طوری که جریان از ولتاژ به اندازه‌ی  $90^\circ$  درجه جلوتر است یا تقدم فاز دارد. با توجه دقیق به منحنی‌های ولتاژ و جریان، این نتیجه حاصل می‌شود که خازن در زمانی که ولتاژ زیاد می‌شود (چه در جهت مثبت، چه در جهت منفی) انرژی ذخیره می‌کند و در زمانی که ولتاژ داده شده کاهش می‌یابد (زمان‌های  $T_2$  تا  $T_1$  و  $T_4$  تا  $T_3$ ) در هر سیکل انرژی ذخیره شده را پس می‌دهد. دامنه‌ی شارژ و دشارژ خازن با ظرفیت آن و سرعت تغییرات ولتاژ متناسب است. با وجود این که جریان از داخل خازن عبور نمی‌کند ولی اگر آمپر متری در مدار داشته باشیم، جریان عبوری از مدار را نشان می‌دهد؛ درست مانند این است که مقاومتی در مدار قرار دارد و جریان را محدود می‌کند. مخالف خازن در مقابل جاری شدن جریان را **عکس‌العمل راکتانس خازنی** یا **مقاومت خازنی** می‌گویند و آن را با  $X_C$  نمایش می‌دهند.

اضافه می‌شود، الکترون‌ها به تدریج صفحه‌ی B خازن را ترک می‌کنند و روی صفحه‌ی A جمع می‌شوند. این عمل به طور یک‌نواخت ادامه پیدا می‌کند تا ولتاژ  $E_C$  مخالف، تولید شود. ولتاژ  $E_C$  همان ولتاژ شارژ خازن است. وقتی ولتاژ داده شده در یک مقدار مثبت نگه‌داشته شود، جریانی جاری نمی‌شود؛ بنابراین، از  $T_2$  تا  $T_3$  ولتاژ خازن با ولتاژ داده شده برابر و جریان خازن صفر است.

اکنون اگر از  $T_3$  تا  $T_4$  ولتاژ داده شده را به طور یک‌نواخت کاهش دهیم، خازن در طول این زمان خالی می‌شود. توجه داشته باشید که این زمان دو برابر طول زمان  $T_1$  تا  $T_2$  است. بنابراین خازن با یک جریان یک‌نواخت خالی می‌شود؛ در حالی که از نظر زمان دو برابر شارژ شدن طول می‌کشد و از لحاظ دامنه نصف دامنه‌ی شارژ شدن است. اگر یک آمپر متر عقربه‌ای و یک ولت‌متر عقربه‌ای را به مدار اضافه کنیم و با تغییر ولتاژ منبع به حرکت عقربه‌های ولت‌متر و آمپر متر توجه داشته باشیم، متوجه می‌شویم که به مجرد وصل کلید و تغییر ولتاژ از صفر عقربه‌ی آمپر متر ماکزیمم جریان عبوری را نشان می‌دهد. در صورتی که در همان لحظه عقربه‌ی ولت‌متر صفر را نشان می‌دهد. اکنون یک منبع ولتاژ متناوب (سینوسی) را مطابق شکل ۱۶-۳ به خازن وصل می‌کنیم. با بستن کلید، تغییرات لحظه‌ای ولتاژ و جریان را در مدار شکل ۱۶-۴ مورد بررسی قرار می‌دهیم.



شکل ۱۶-۳- اتصال خازن به ولتاژ متناوب

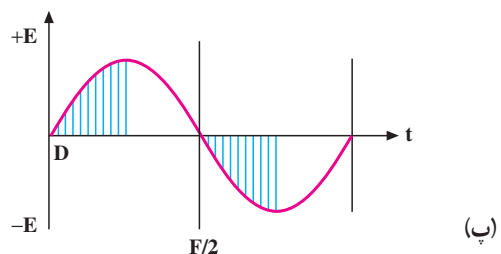
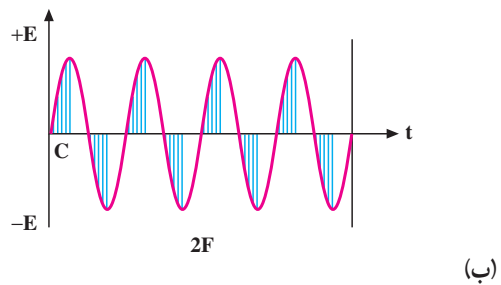
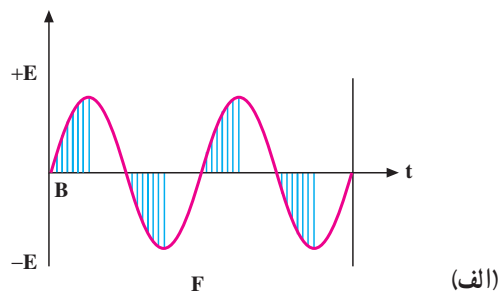
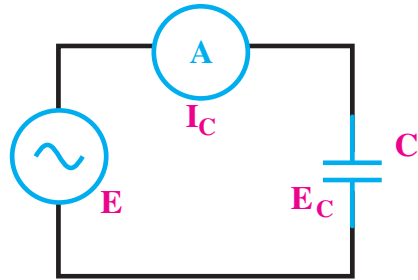


شکل ۱۶-۴- منحنی تغییرات ولتاژ نسبت به جریان عبوری از خازن

## ۱۶-۲- عوامل مؤثر بر عکس‌العمل خازنی

عوامل مؤثر در عکس‌العمل (مقاومت) خازنی عبارت‌اند از: فرکانس و ظرفیت خازنی که در این جا به بررسی آن‌ها می‌پردازیم.

مدار شکل ۱۶-۵ را در نظر می‌گیریم. در این مدار، وقتی خازن C به مقدار ولتاژ E شارژ می‌شود، مقداری بار الکتریکی (Q) روی خود ذخیره می‌کند. بار ذخیره شده در خازن



شکل ۱۶-۵- تأثیر فرکانس در زمان ذخیره شدن انرژی در خازن

از حاصل ضرب ولتاژ در ظرفیت - یعنی  $Q = CV$  - به دست می‌آید. این مقدار بار در دو فاصله‌ی زمانی (از صفر تا +E و از صفر تا -E) در یک سیکل از ولتاژ داده شده در خازن ذخیره می‌شود (قسمت‌های هاشور خورده از شکل ۱۶-۵ الف). زمان ذخیره شدن بار در خازن به فرکانس بستگی دارد؛ یعنی:

$$f = \frac{1}{T}$$

اگر فرکانس، مطابق شکل ۱۶-۵ ب افزایش یابد، (بدون تغییر در مقادیر E و C) مثلاً دو برابر شود مقدار بار Q در فاصله‌ی نصف زمان حالت (الف) در خازن ذخیره می‌شود؛ یعنی، خازن با دو برابر جریان حالت الف شارژ می‌شود؛ زیرا مقاومت خازنی نصف شده است. اگر فرکانس مطابق شکل (۱۶-۵ پ) نصف شود، مقدار Q در دو برابر فاصله‌ی زمانی الف در خازن ذخیره می‌شود؛ یعنی، خازن با نصف جریان حالت الف شارژ می‌شود؛ زیرا مقاومت خازنی دو برابر شده است. قسمت‌های هاشور خورده زمان‌های ذخیره‌ی بار و قسمت‌های هاشور نخورده زمان‌های تخلیه‌ی بار را نشان می‌دهند.

پس معلوم شد که عکس‌العمل خازنی به فرکانس بستگی معکوس دارد؛ یعنی، با افزایش فرکانس عکس‌العمل خازنی کاهش و با کاهش فرکانس عکس‌العمل خازنی افزایش می‌یابد. عکس‌العمل خازنی به اندازه‌ی ظرفیت خازنی نیز بستگی دارد؛ یعنی، اگر ظرفیت خازن زیاد شود (بدون تغییر در مقادیر E و F)، جریان بیش‌تری از مدار می‌گذرد و اجازه‌ی شارژ بیش‌تری را می‌دهد. در نتیجه، عکس‌العمل خازنی کاهش می‌یابد و برعکس، با کم شدن ظرفیت خازن عکس‌العمل خازنی زیاد می‌شود.

اکنون با مشخص شدن عوامل مؤثر در امپدانس یا عکس‌العمل خازنی، می‌توانیم رابطه‌ی بین آن‌ها را مشخص کنیم.

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot FC}$$

$X_c$  عکس‌العمل خازنی برحسب اهم، F فرکانس برحسب هرتز و C ظرفیت خازنی برحسب فاراد است.

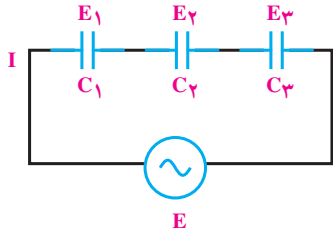
عکس العمل خازنی ( $X_C$ ) با نام‌های **راکتانس خازنی** و **کاپاسیتیو** نیز بیان می‌شود.

با فاکتورگیری و حذف I از طرفین خواهیم داشت :

$$X_{C_t} = X_{C_1} + X_{C_2} + X_{C_3}$$

که  $X_{C_t}$  مقاومت خازنی معادل است.

رابطه‌ی گفته شده عیناً شبیه رابطه‌ی محاسبه‌ی مقاومت معادل در مدارهای سری مقاومتی است.



شکل ۱۶-۷

ب- اتصال موازی خازن‌ها: مدار شکل ۱۶-۸ اتصال

چند خازن موازی را نشان می‌دهد. با موازی بستن خازن‌ها ظرفیت کل افزایش می‌یابد؛ زیرا سطوح صفحات افزایش یافته است.

برای محاسبه‌ی مقاومت معادل چند خازن موازی، می‌گوییم که شدت جریان کل از جمع شدت جریان‌های شاخه‌های موازی به دست می‌آید، یعنی :

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

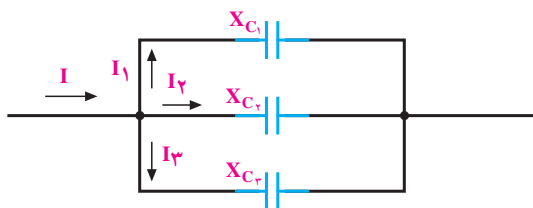
به علاوه، طبق قانون اهم می‌دانیم که  $I = \frac{E}{X_C}$  هم چنین

می‌دانیم که در مدار موازی، ولتاژ برای همه‌ی شاخه‌ها یکسان است. پس خواهیم داشت :

$$\frac{E}{X_{C_t}} = \frac{E}{X_{C_1}} + \frac{E}{X_{C_2}} + \frac{E}{X_{C_3}}$$

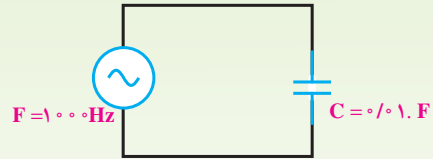
با حذف E از طرفین داریم :

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



ظرفیت معادل خازن‌های موازی برابر مجموع تک تک ظرفیت‌هاست.

مثال ۱: فرکانس مولد موج سینوسی مدار شکل ۱۶-۶ ۱۰۰۰ هرتز و ظرفیت خازن آن ۰/۰۱ F است. عکس العمل خازنی را به دست آورید.



شکل ۱۶-۶

حل:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot FC} = \frac{1}{2 \cdot 3/14 \cdot 1000 \cdot 0/01 \cdot 10^{-6}}$$

$$X_C = \frac{10^5}{6/28} = 15/92 \text{ k}$$

### ۱۶-۳- نحوه محاسبه‌ی مقاومت خازنی معادل

الف- اتصال سری خازن‌ها: برای محاسبه‌ی مقاومت

معادل چند خازن سری از شکل ۱۶-۷ و قانون دوم کیرشهف (KVL) استفاده می‌کنیم. ولتاژ کل داده شده به مدار با مجموع تک تک افت ولتاژهای ایجاد شده در مدار برابر است؛ یعنی :

$$E_t = E_1 + E_2 + E_3$$

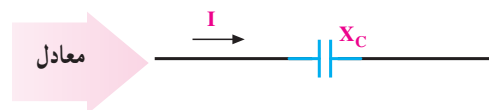
با استفاده از قانون اهم می‌دانیم که به طور کلی

$$E = IX_C \text{ . مقاومت . جریان = ولتاژ}$$

با توجه به این که در مدار سری جریان یکسان است،

پس :

$$IX_{C_t} = IX_{C_1} + IX_{C_2} + IX_{C_3}$$



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

شکل ۱۶-۸- اتصال موازی خازن‌ها

تذکر: در هر یک از اتصالات سری یا موازی خازن‌ها مقاومت خازنی را می‌توان از رابطه‌ی زیر به‌دست آورد.

$$X_{cT} = \frac{1}{\sum fC_T} = \frac{1}{\omega \cdot C_T}$$

### تحقیق کنید



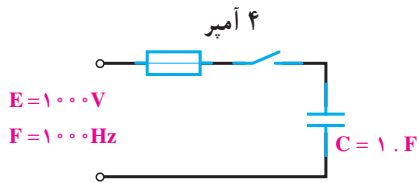
در مورد نقش خازن در راه‌اندازی موتورهای الکتریکی تکفاز تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس گزارش دهید.

شکل ۹-۱۶- موتور الکتریکی تک‌فاز



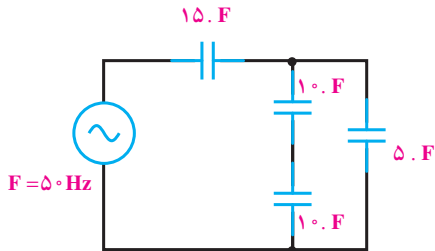
### پرسش

- ۱- چرا خازن از عبور جریان DC جلوگیری می‌کند؟
- ۲- رابطه‌ی بین جریان و ولتاژ دو سرخازن را با ولتاژ منبع بنویسید.
- ۳- فرکانس بر جریان خازن و امپدانس خازن چه تأثیری دارد؟
- ۴- رابطه‌ی  $X_c$  و واحد آن را بنویسید.



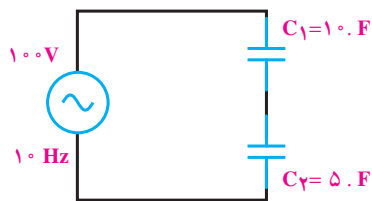
شکل ۱۰-۱۶

۱- در مدار شکل ۱۰-۱۶ با بستن کلید چه اتفاقی می افتد؟  
(جواب: فیوز عمل می کند)



شکل ۱۱-۱۶

۲- در مدار شکل ۱۱-۱۶ مقدار  $X_C$  کل چه قدر است؟  
(جواب: ۵۳۰)

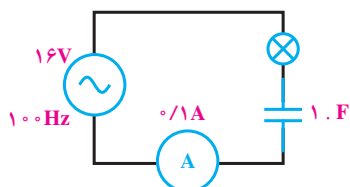


شکل ۱۲-۱۶

۳- در مدار شکل ۱۲-۱۶ صفحات کدام خازن بالاترین مقدار بار را دارد؟ ولتاژ دو سر خازن چه قدر است؟  
(جواب: هر دو خازن در یک لحظه دارای بار ذخیره ای برابرند.)

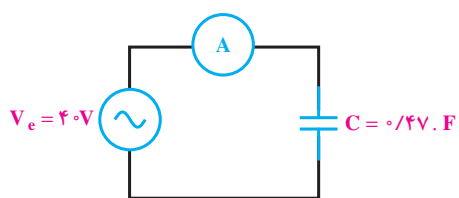
$$\frac{100}{3} \text{ V و } \frac{200}{3} \text{ V}$$

۴- افت ولتاژ دو سر یک خازن ۲۰F در فرکانس ۱kHz برابر ۵ ولت است. شدت جریان عبوری از خازن چه قدر است؟  
(جواب: ۰/۶۲۹A)



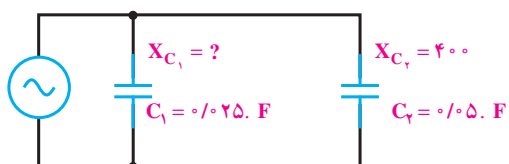
شکل ۱۳-۱۶

۵- در مدار شکل ۱۳-۱۶ اگر ظرفیت خازن دو برابر شود، نور لامپ چگونه تغییر می کند (کم می شود - ثابت می ماند - زیاد می شود)؟  
(جواب: زیاد می شود)



شکل ۱۴-۱۶

۶- در مدار شکل ۱۴-۱۶، آمپر متر  $100$  میلی آمپر مؤثر را نشان می دهد. فرکانس منبع چه قدر است؟  
(جواب:  $F \approx 847 \text{ Hz}$ )



شکل ۱۵-۱۶

۷- در مدار شکل ۱۵-۱۶،  $X_{C_1}$  معادل چند اهم است؟ اگر ظرفیت  $C_2$  دو برابر شود،  $X_{C_2}$  چه قدر می شود؟ چنانچه فرکانس مدار کم شود،  $X_{C_1}$  (افزایش - کاهش) می یابد.

جواب:  $800$ ،  $200$ ، افزایش  
 $\frac{1}{2}$  راهنمایی: از تناسب استفاده کنید.

## منابع و مآخذ

- ۱- اصول الکترونیک، گروپ، ترجمه‌ی احمد ریاضی - سید محمود صموتی و محمود همتایی، مجتمع آموزش و پژوهش تکنولوژی تهران.
- ۲- فلوید توماس، اصول و مبانی مدارهای الکتریکی، (مهرداد عابدی، مترجم)، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه امیرکبیر.
- ۳- تشریح اصول مهندسی الکترونیک، - (حسین چشمه قصابانی، مترجم)، انتشارات بخش فرهنگی دفتر مرکزی جهاد دانشگاهی.
- ۴- اندرسن چارلز، دوره‌ی جامع برق و الکترونیک، (محمد رضا محمدی فر، مترجم)، انتشارات سپهر.
- ۵- ماشین‌های الکتریکی، احمد ریاضی و ...، انتشارات مرعشی، سال ۶۹.
- ۶- دسور، چارلز، کوه، ارنست، نظریه‌ی اساسی مدارها و شبکه‌ها (جبه‌دار. پرویز، مترجم)
- ۷- خدا دادی، شهرام. (۱۳۸۵). مبانی الکتریسیته. شرکت صنایع آموزشی (وابسته به وزارت آموزش و پرورش)

- ۸ - Introductory Analysis Circuits Robert Boylestad 11<sup>th</sup> Edition Printic Hall
- ۹ - Electricity made Simple
- ۱۰ - Electricity One-Seven Harry Mileaf 3<sup>rd</sup> Edition Printic Hall
- ۱۱ - Fundamental of Communications
- ۱۲ - How to read Electronic Circuit Diagrams
- ۱۳ - Understanding Electricity and Electronics G. Randy Slone 4<sup>th</sup> Edition McGraw-Hill
- ۱۴ - Transistor Fundamentals
- ۱۵ - Principles of Electric Circuits Thomas Floyd 8<sup>th</sup> Edition Printic Hall

