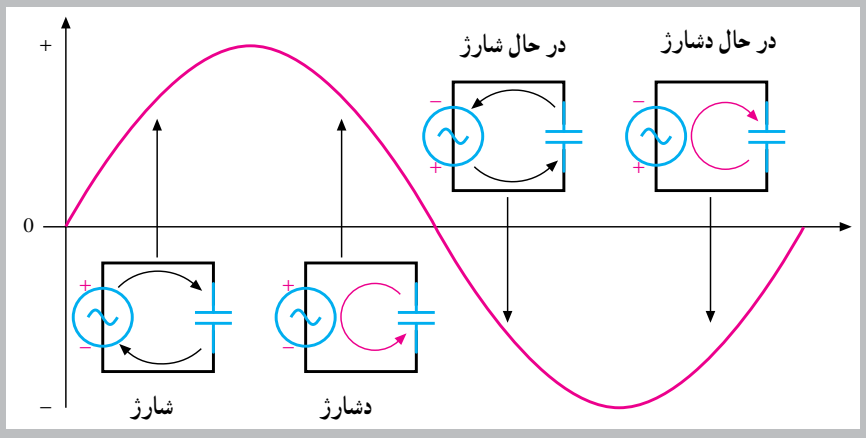
مدارهای جریان متناوب خازنی



وقتی خازنی به یک منبع تغذیه‌ی AC وصل شود، به‌طور متناوب در جهات متفاوت شارژ و دشارژ می‌شود.

فصل شانزدهم

خازن در جریان متناوب

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش‌آموز انتظار می‌رود :

۱ــ منحنی ولتاژ جریان خازن را در جریان متناوب رسم کند.

۲ــ اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان خازن را رسم کند.

۳ــ اثرات فرکانس را بر راکتانس خازن شرح دهد.

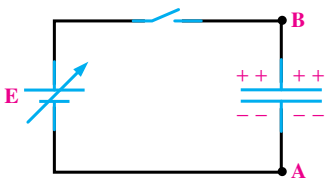
۴ــ انواع اتّصال خازن‌ها را شرح دهد.

۵ ــ مقاومت معادل خازن‌ها را در اتّصال سری و موازی محاسبه کند.

۱ــ۱۶ــ مدارهای جریان متناوبی خازنی

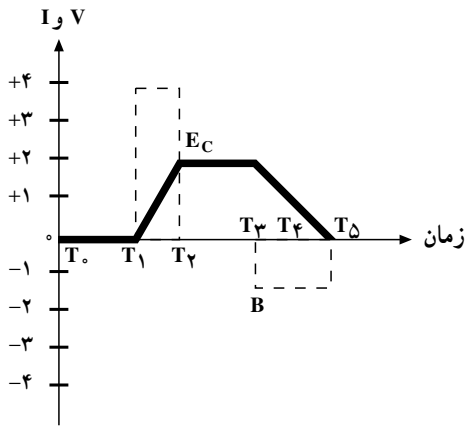
در فصل ۱۵ رفتار خازن در جریان مستقیم بررسی شد. اکنون چگونگی رفتار خازن را وقتی که جریان متناوب به آن وارد می‌شود، مورد بررسی قرار می‌دهیم. در این قسمت، به روابط فازی بین جریان و ولتاژ و عکس‌العمل خازنی می‌پردازیم.

با توجه به شکل۱ــ۱۶یک خازن را به یک منبع ولتاژ DC متغیر وصل کرده‌ایم : در شکل ۲ــ۱۶ منحنی تغییرات ولتاژ دو سر خازن نسبت به جریانی که خازن را شارژ می‌کند، رسم شده است. خط ممتد ولتاژ و خط مقطّع، جریان را نشان می‌دهد. جریان عبوری از خازن سبب شارژ خازن می‌شود و در جهت عکس، ولتاژ حاصل از شارژ خازن عمل می‌کند.



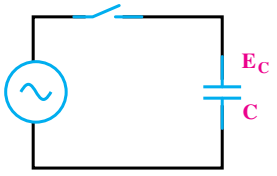
شکل ۱ــ۱۶

برای درک بهتر مطلب، عمل خازن را در مدار شکل ۱ــ۱۶ 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 مقطّع) در مدار جاری شود و خازن را شارژ کند. چون ولتاژ داده شده به صورت یک‌نواخت



شکل ۲ــ۱۶ــ منحنی تغییرات ولتاژ و جریان خازن

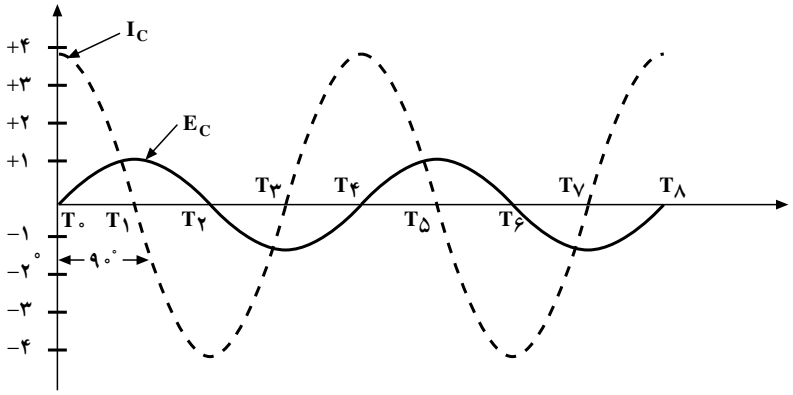
اضافه می‌شود، الکترون‌ها به تدریج صفحه‌ی B خازن را ترک می‌کنند و روی صفحه‌ی A جمع می‌شوند. این عمل به‌طور یک‌نواخت ادامه پیدا می‌کند تا نیروی Ec مخالف، تولید شود. ولتاژ Ec همان ولتاژ شارژ خازن است. وقتی ولتاژ داده شده در یک مقدار مثبت نگه‌داشته شود، جریانی جاری نمی‌شود ؛ بنابراین، از T_2 تا T_3 ولتاژ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



شکل ۳ــ۱۶ــ اتصال خازن به ولتاژ متناوب

اکنون اگر از T_3 تا T_5 ولتاژ داده شده را به‌طور 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 آمپرمتر عقربه‌ای و یک ولت‌متر عقربه‌ای را به مدار اضافه کنیم و با تغییر ولتاژ منبع به حرکت عقربه‌های ولت‌متر و آمپرمتر توجه داشته باشیم، متوجه می‌شویم که به مجرد وصل کلید و تغییر ولتاژ از صفر عقربه‌ی آمپرمتر 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 ۳ــ۱۶ به خازن وصل می‌کنیم. تغییرات لحظه‌ای ولتاژ و جریان را در مدار شکل ۴ــ۱۶ مورد بررسی قرار می‌دهیم.



شکل ۴ــ۱۶ــ منحنی تغییرات ولتاژ نسبت به جریان عبوری از خازن

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 ــ یعنی T_1 تا T_2 که ولتاژ منبع کاهش می‌یابد ــ خازن شروع به دشارژ شدن در منبع می‌کند و ولتاژ آن به صفر می‌رسد. در حالی که جریان در جهت مخالف حالت اوّلیه 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_5 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.

از مطالب گفته شده این نتیجه حاصل می‌شود که با یک موج سینوسی داده شده به خازن وقتی خازن حداکثر شارژ خود را دارد (T_3 و T_1) جریان آن صفر است. هم‌چنین با ولتاژ صفر در روی خازن، جریان حداکثر مقدار خود را دارد (T_4 و T_2).

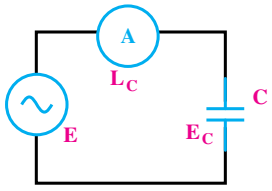
منحنی ولتاژ و جریان، هر دو به صورت سینوسی تغییر می‌کنند. به‌طوری که جریان از ولتاژ به اندازه‌ی ۹۰ درجه جلوتر است یا تقدم فاز دارد. با توجه دقیق به منحنی‌های ولتاژ و جریان، این نتیجه حاصل می‌شود که خازن در زمانی که ولتاژ زیاد می‌شود (چه در جهت مثبت، چه در جهت منفی) انرژی ذخیره می‌کند و در زمانی که ولتاژ 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 این‌که 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 وجریان را محدود می‌کند.

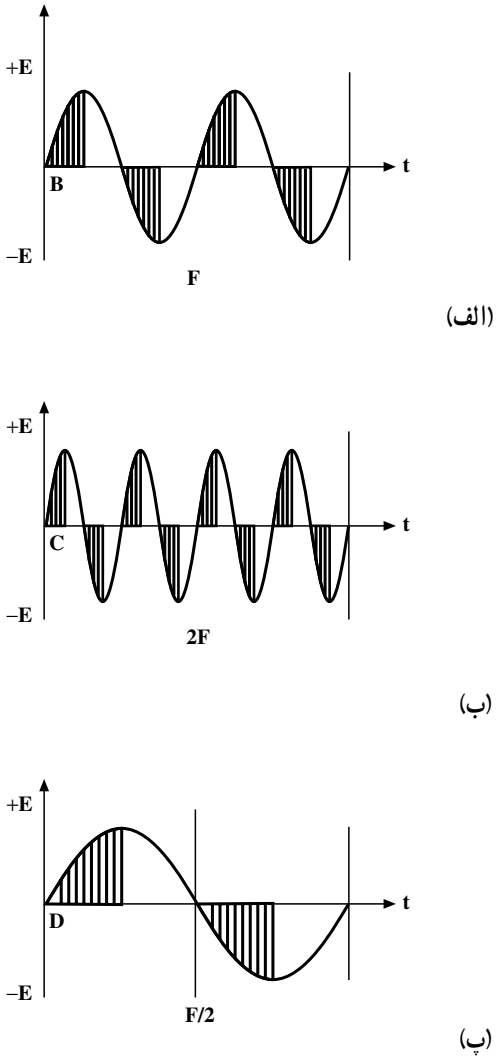
مخالفت خازن در مقابل جاری شدن جریان را **عکس‌العمل راکتانس خازنی** یا **مقاومت خازنی** می‌گویند و آن را با X_C نمایش می‌دهند.

۲ــ۱۶ــ عوامل مؤثر بر عکس‌العمل (مقاومت) خازنی

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

مدار شکل ۵ ــ ۱۶ 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 از حاصل‌ضرب ولتاژ در ظرفیّت ــ یعنی $Q = CV$ ــ به‌دست 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 ۵ ــ ۱۶الف). زمان ذخیره شدن بار در خازن به فرکانس بستگی دارد ؛ یعنی : $F = \frac{۱}{T}$





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

اگر فرکانس، مطابق شکل ۵ ــ ۱۶ب 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 (۵ ــ ۱۶پ) 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 F و E)، جریان بیش‌تری از مدار می‌گذرد و اجازه‌ی شارژ بیش‌تری را می‌دهد. درنتیجه، عکس‌العمل خازنی کاهش می‌یابد و برعکس، با کم شدن ظرفیت خازن عکس‌العمل خازنی زیاد می‌شود.

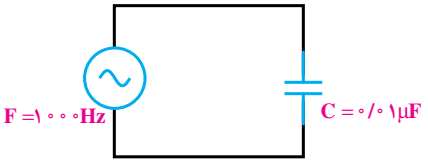
اکنون با مشخص شدن عوامل مؤثر در امپدانس یا عکس‌العمل خازنی، می‌توانیم رابطه‌ی بین آن‌ها را مشخص کنیم.

$$X_c = \frac{1}{2\pi FC}$$

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

عکس‌العمل خازنی (X_c) با نام‌های **راکتانس خازنی** و **کاپاسیتیو** نیز بیان می‌شود.

مثال ۱: فرکانس مولد موج سینوسی مدار شکل ۶ ــ ۱۶ ۱۰۰۰ هرتز و ظرفیت خازن آن ۰/۰۱μF است. عکس‌العمل خازنی را به‌دست آورید.



شکل ۶ ــ ۱۶

راه حل:

$$X_c = \frac{1}{2\pi FC} = \frac{1}{2\times 3/14\times 1000\times 0/01\times 10^{-6}}$$

$$X_c = \frac{10^5}{6/28} = 15/92\,k\Omega$$

۳ــ۱۶ــ محاسبه‌ی مقاومت خازنی معادل در مدارهای سری

برای محاسبه‌ی مقاومت معادل چند خازن سری از شکل ۷ــ۱۶ و قانون دوم کیرشهف (KVL) استفاده می‌کنیم. ولتاژ کل داده شده به مدار با مجموع تک‌تک افت و لتاژهای ایجاد شده در مدار برابر است ؛ یعنی :

$$E_t = E_1 + E_2 + E_3$$

با استفاده از قانون اهم می‌دانیم که به‌طورکلی

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

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

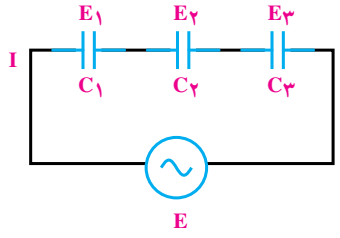
$$IX_t = IX_1 + IX_2 + IX_3$$

با فاکتورگیری وحذف I از طرفین خواهیم داشت :

$$\boxed{X_t = X_1 + X_2 + X_3}$$

که X_t مقاومت خازنی معادل است.

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



شکل ۷ــ۱۶

۴ــ۱۶ــ محاسبه‌ی مقاومت خازنی معادل در مدارهای موازی

مدار شکل ۸ ــ ۱۶ اتّصال 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 شدّت جریان کل از جمع شدّت جریان‌های شاخه‌های موازی به‌دست می‌آید، یعنی :

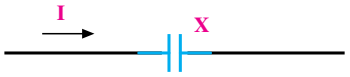
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

به‌علاوه، طبق قانون اهم می‌دانیم که $I = \frac{E}{X}$. هم‌چنین می‌دانیم که در مدار موازی، ولتاژ برای همه‌ی شاخه‌ها یکسان است. پس خواهیم داشت :

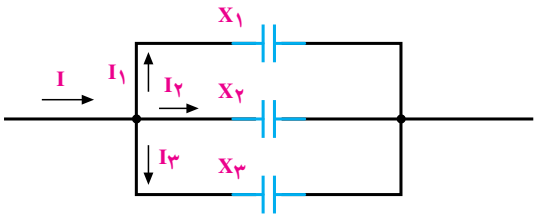
$$\frac{E}{X} = \frac{E}{X_1} + \frac{E}{X_2} + \frac{E}{X_3}$$

باحذف E از طرفین داریم :

$$\frac{1}{X_t} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3}$$



راکتانس خازنی معادل را می‌توان با موازی فرض کردن تک‌تک راکتانس‌ها با یک‌دیگر به‌دست آورد.



ظرفیت معادل خازن‌های موازی برابر مجموع تک‌تک ظرفیت‌هاست.

شکل ۸ــ۱۶ــ اتّصال موازی خازن‌ها

خلاصه‌ی مطالب

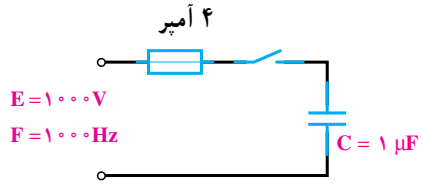
* جریان متناوب سبب می‌شود که پلاریته‌ی دو سر خازن مرتباً عوض شود.
* جریان متناوب ظاهراً از خازن می‌گذرد ولی خازن از عبور جریان مستقیم جلوگیری می‌کند.
* خازن همیشه با تغییر ولتاژ مخالف است.
* جریان خازن از ولتاژ سینوسی دو سر آن ۹۰ درجه جلو است.
* جریان عبوری از خازن با فرکانس ولتاژ داده شده نسبت مستقیم دارد.
* راکتانس خازنی با عبور جریان خازن‌ها مخالفت می‌کند.
* رابطه‌ی راکتانس خازنی $X_C = \frac{1}{2\pi FC}$ و واحد آن اهم است.

پرسش

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

مسائل

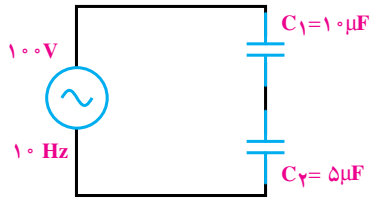
۱ــ در مدار شکل ۹ــ۱۶ با بستن کلید چه اتفاقی می‌افتد؟



شکل ۹ــ۱۶

(جواب : فیوز می‌سوزد)

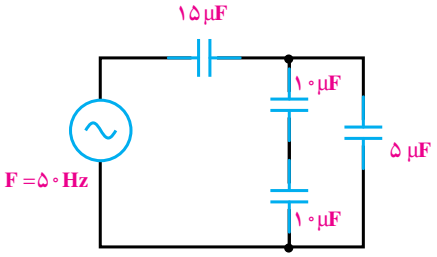
۲ــ در مدار شکل ۱۰ــ۱۶ مقاومت کل تقریباً چه‌قدر است؟



شکل ۱۰ــ۱۶

(جواب : ۵KΩ)

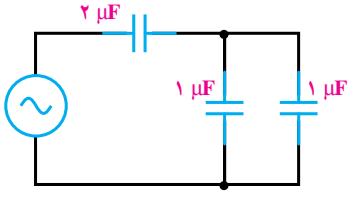
۳ــ در مدار شکل ۱۱ــ۱۶ مقدار X_C کل چه‌قدر است؟



شکل ۱۱ــ۱۶

(جواب : ۵۳۰Ω)

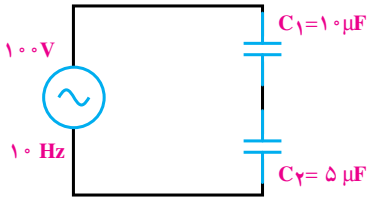
۴ــ در مدار شکل ۱۲ــ۱۶ اگر $X_C = ۱\,k\Omega$ باشد، فرکانس مدار چه‌قدر است؟



شکل ۱۲ــ۱۶

(جواب : ۱۵۹Hz)

۵ ــ در مدار شکل ۱۳ــ۱۶ صفحات کدام خازن بالاترین مقدار بار را دارد؟ ولتاژ دو سر خازن چه‌قدر است؟



شکل ۱۳ــ۱۶

(جواب : هر دو خازن در یک لحظه دارای بار ذخیره‌ای برابرند.) $\frac{۱۰۰}{۳}V$ و $\frac{۲۰۰}{۳}V$

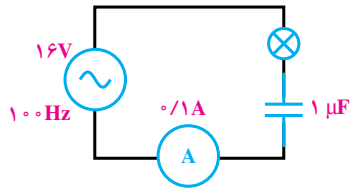
۶ ــ افت ولتاژ دو سر یک خازن ۲۰μF در فرکانس ۱ kHz برابر ۵ ولت است. شدت جریان عبوری از خازن چه‌قدر است؟

(جواب : ۰/۶۲۹A)

۷ــ ظرفیت خازنی با مقاومت خازنی ۸۰۰Ω در فرکانس ۱۰kHz چه‌قدر است؟

(جواب : ۰/۰۲μF)

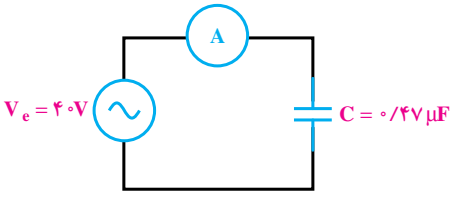
۸ ــ در مدار شکل ۱۴ــ۱۶ اگر ظرفیت خازن دو برابر شود، نور لامپ چگونه تغییر می‌کند (کم می‌شود ــ ثابت می‌ماند ــ زیاد می‌شود)؟



شکل ۱۴ــ۱۶

(جواب : زیاد می‌شود)

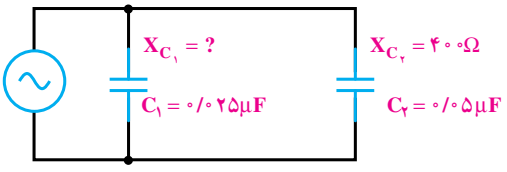
۹ــ در مدار شکل ۱۵ــ۱۶، آمپرمتر ۱۰۰ میلی‌آمپر مؤثر را نشان می‌دهد. فرکانس منبع چه‌قدر است؟



شکل ۱۵ــ۱۶

(جواب : F ≅ ۸۴۷Hz)

۱۰ــ در مدار شکل ۱۶ــ۱۶، X_{C_1} معادل چند اهم است؟ اگر ظرفیت C_2 دو برابر شود، X_{C_2} چه‌قدر می‌شود؟ چنان چه فرکانس مدار کم شود، X_{C_1} (افزایش ــ کاهش) می‌یابد.



شکل ۱۶ــ۱۶

جواب : ۸۰۰Ω ، ۲۰۰Ω ، افزایش

راهنمایی : از تناسب استفاده کنید.

آزمایش شماره‌ی ۷

هدف: بررسی تأثیر فرکانس در مقاومت خازن‌ها و تحقیق رابطه‌های سری و موازی

وسایل موردنیاز:

۱ــ لامپ ۶ ولت ۱ عدد

۲ــ خازن ۱۰۰μF الکترولیتی ۱ عدد

۳ــ خازن ۰/۱μF عدسی ۳ عدد

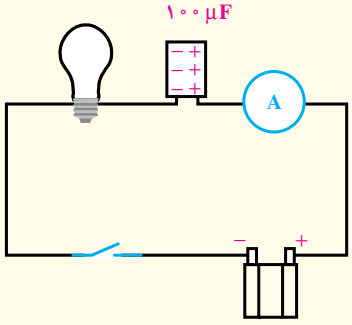
۴ــ باتری ۱/۵ ولتی ۴ عدد

۵ ــ سیگنال ژنراتور AF ۱ عدد

۶ ــ سیم‌های رابط سوسماری

مراحل آزمایش

۱ــ مدار شکل ۱۷ــ۱۶ را ببندید.



شکل ۱۷ــ۱۶

کلید را ببندید و وضعیّت نور لامپ را بررسی کنید.

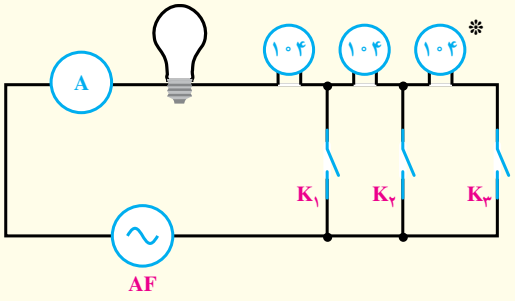
آیا لامپ روشن می‌شود و روشن می‌ماند؟ چرا؟

آیا لامپ برای لحظه‌ای روشن می‌شود و بعد خاموش می‌ماند؟ چرا؟

شدّت جریان مدار چه‌قدر است؟ چرا؟

در این حالت، مقاومت خازنی مدار چه‌قدر است؟

۲ــ مدار شکل ۱۸ــ۱۶ را ببندید.



شکل ۱۸ــ۱۶

الف) کلید K_1 را ببندید.

ــ سیگنال ژنراتور را روی ۱۶ ولت پیک تا پیک تنظیم کنید.

ــ با تغییر فرکانس به نور لامپ توجه کنید.

ــ در فرکانس کم، نور لامپ چگونه است؟ چرا؟

ــ در فرکانس زیاد، نور لامپ چگونه است؟ چرا؟

---

* عدد ۱۰۴ روی خازن‌های عدسی با توجه به کد شناسایی آن‌ها بیان‌کننده‌ی مقدار ظرفیت خازنی $10\times10^{4}\,pF$ است.

ــ مقاومت خازنی و شدّت جریان مدار با تغییر فرکانس چگونه تغییر می‌کند؟ جدول زیر را با پیکان (فلش) کامل کنید.

↑ افزایش		
F	X_C	I
↓ کاهش		

ــ رابطه‌ی فرکانس و مقاومت خازنی را بنویسید.

ب) سیگنال ژنراتور را روی ۱۶ ولت پیک تا پیک و فرکانس ۱۰۰۰ هرتز تنظیم کنید.

ــ کلید K_1 را باز کنید و کلید K_2 را ببندید ؛ به نور لامپ توجه کنید.

ــ نور لامپ (کاهش ــ افزایش) یافت. چرا؟

ــ شدّت جریان مدار (کاهش ــ افزایش) یافت. چرا؟

ــ ظرفیّت خازنی کل (کاهش ــ افزایش) یافت. چرا؟

ــ آیا خازن‌ها به‌طور (سری ــ موازی) با هم بسته شده‌اند؟

ــ رابطه‌ی ظرفیّت خازنی کل را بنویسید.

ــ راکتانس خازنی کل (کاهش ــ افزایش) یافت. چرا؟

ــ رابطه‌ی امپدانس کل را بنویسید.

پ) کلید K_1 و K_2 را باز کنید و کلید K_3 را ببندید. اکنون به نور لامپ توجه کنید.

ــ نور لامپ (بیش‌تر ــ کم‌تر) از حالت قبل شد.

ــ شدّت جریان مدار (بیش‌تر ــ کم‌تر) از حالت قبل شد.

ــ ظرفیّت خازنی کل، نسبت به حالت قبل (افزایش ــ کاهش) داشت.

ــ خازن‌ها با یک‌دیگر (سری ــ موازی)اند.

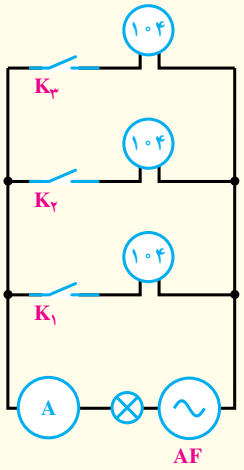
ــ رابطه‌ی ظرفیت خازنی کل را بنویسید.

ــ راکتانس خازنی کل (افزایش ــ کاهش) یافت.

ــ رابطه‌ی امپدانس خازنی کل را بنویسید.

ــ چگونگی تغییر ظرفیّت خازنی کل را در یک مدار سری شرح دهید.

۳ــ مدار شکل ۱۹ــ۱۶ را ببندید.



شکل ۱۹ــ۱۶

ـ کلید K_1 را ببندید و سیگنال ژنراتور را روی ۱۶ ولت پیک تا پیک و فرکانس ۱۰۰۰ هرتز تنظیم کنید. اکنون به نور لامپ توجه کنید.

ـ شدت جریان مدار چه‌قدر است؟

ـ کلید K_2 را نیز ببندید.

ـ نور لامپ (بیش‌تر ـ کم‌تر) شد.

ـ شدت جریان مدار (بیش‌تر ـ کم‌تر) شد.

ـ ظرفیّت خازنی مدار (بیش‌تر ـ کم‌تر) شد.

ـ کلید K_3 را هم ببندید.

ـ نور لامپ (کم‌تر ـ بیش‌تر) از دو حالت قبل شد.

ـ شدّت جریان مدار (بیش‌تر ـ کم‌تر) شد.

ـ ظرفیت خازنی مدار (بیش‌تر ـ کم‌تر) شد.

ـ با توجّه به مراحل گفته شده، رابطه‌ی ظرفیت خازنی و امپدانس خازنی را بنویسید.

ـ چگونگی تغییر ظرفیّت خازنی را در یک مدار موازی شرح دهید.

منابع و مآخذ

۱ــ اصول الکترونیک، گروپ، ترجمه‌ی احمد ریاضی ــ سید محمود صموتی ومحمود همتایی، مجتمع آموزش و پژوهش تکنولوژی تهران.

۲ــ اصول و مبانی مدارهای الکتریکی، توماس فلوید، ترجمه‌ی مهرداد عابدی، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه امیرکبیر.

۳ــ تشریح اصول مهندسی الکترونیک، ــ ، ترجمه‌ی حسین چشمه قصابانی، انتشارات بخش فرهنگی دفتر مرکزی جهاد دانشگاهی.

۴ــ دوره‌ی جامع برق و الکترونیک، چارلز اندرسن، ترجمه‌ی محمدرضا محمّدی‌فر، انتشارات سپهر.

۵ ــ ماشین‌های الکتریکی، تألیف احمد ریاضی و ...، انتشارات مرعشی، سال ۶۹.

۶ ــ نظریه‌ی اساسی مدارها و شبکه‌ها

۷ــ Basic electricity

۸ ــ by Boylstad

۹ــ Electricity made Simple

۱۰ــ Electricity one - Seven by meleaf

۱۱ــ Foundamental of Comunications

۱۲ــ How to read Electronic Circuit Diagrams

۱۳ــ Understanding Electricity and Electronics

۱۴ــ Transistor Foundamentals