

آزمایش شماره ۵:

شارژ و دشارژ خازن



اهداف آزمایش و وسایل مورد نیاز

۲

• بررسی قوانین سری و موازی خازن ها

۳

• به دست آوردن ظرفیت خازن مجهول و خطای نسبی آن

۲

• مطالعه خازن ها و رسم منحنی شارژ و دشارژ خازن

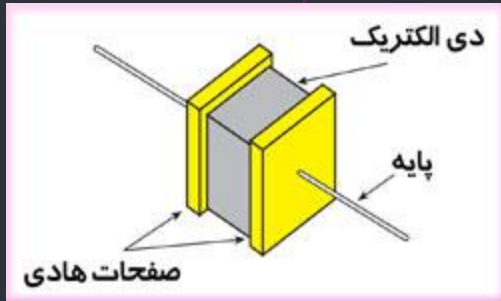
۱

وسایل مورد نیاز: خازن های الکترولیتی، ولت‌متر، کرنومتر، ولت‌متر، منبع تغذیه مستقیم، جعبه مقاومت و سیم های رابط

خازن چیست؟

۳

➤ خازن یک قطعه الکتریکی است متشکل از دو صفحه موازی هادی که توسط یک عایق از هم جدا شده اند.

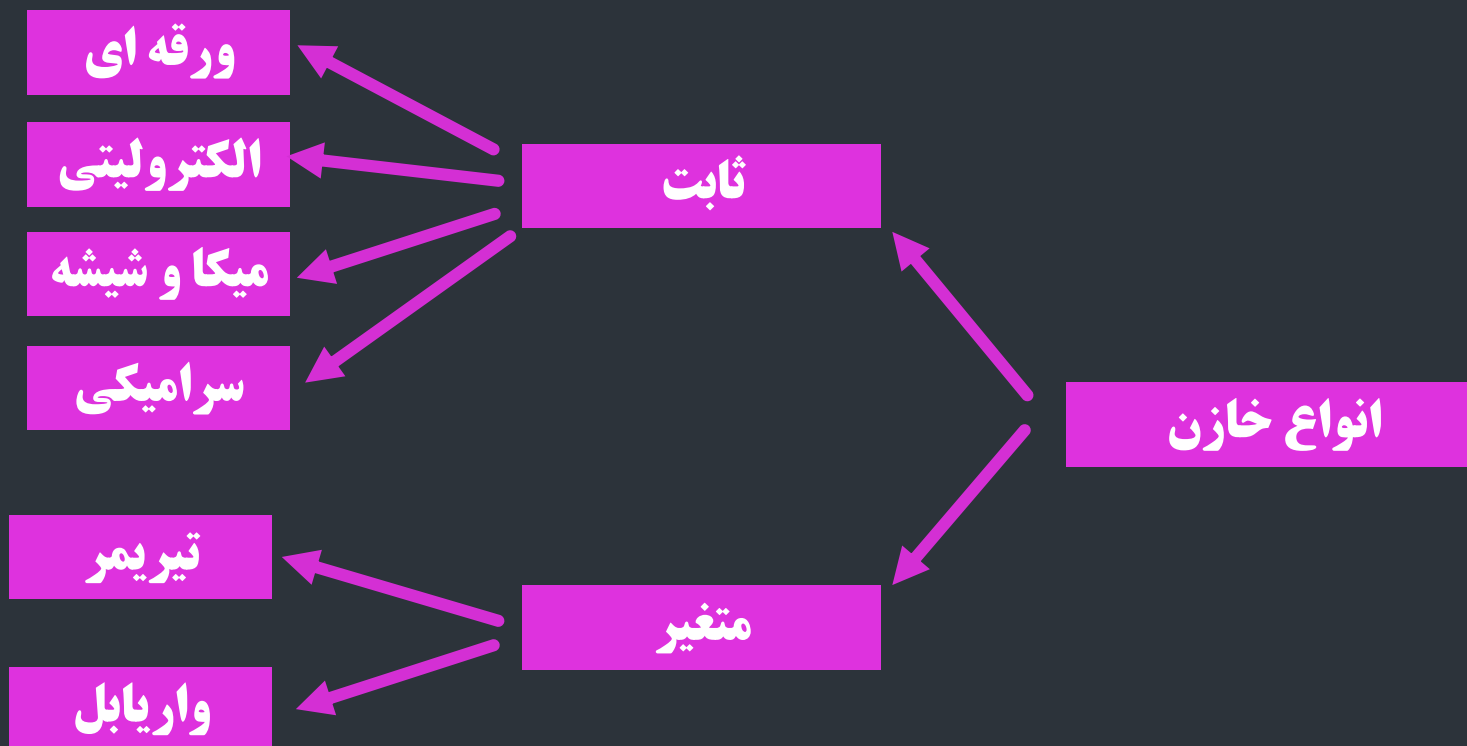


➤ این قطعه قادر است بار الکتریکی را روی صفحات خود ذخیره کند، وجود بار الکتریکی روی صفحات آن موجب ایجاد انرژی الکتریکی می شود. در نتیجه میتوان خازن را وسیله ای الکتریکی برای ذخیره انرژی الکتریکی نامید.

➤ در مدارهای الکتریکی خازن بصورت زیر نمایش داده میشود.

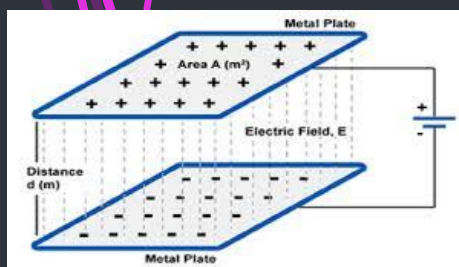
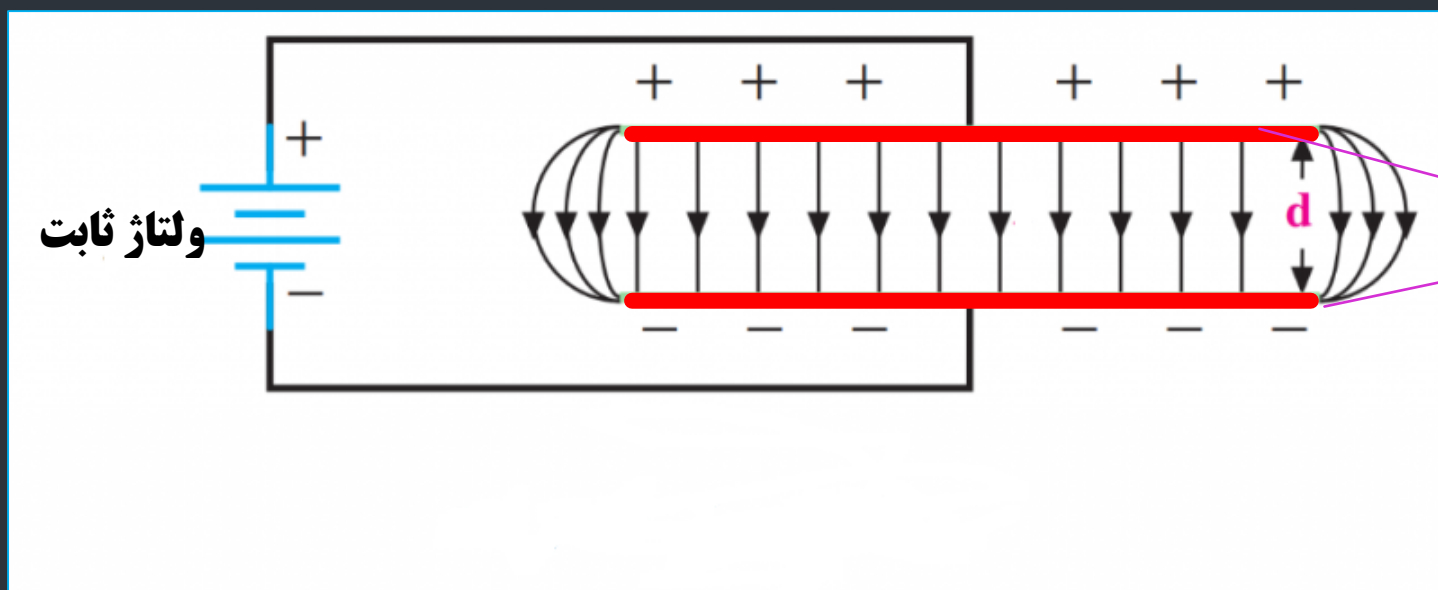


انواع خازن ها



خازن چگونه بار الکتریکی (یا همان انرژی الکتریکی) را در خود ذخیره میکند؟

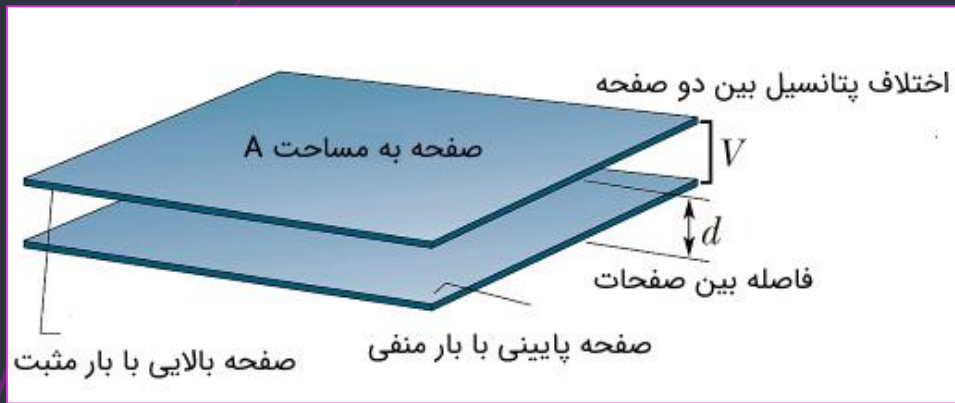
هر گاه به صفحات یک خازن، ولتاژ ثابت (توسط باتری و یا منبع تغذیه DC) اعمال شود. مقداری از بار این منبع به صفحات منتقل و در آن ذخیره میشود. مقدار بار ذخیره شده متناسب است با ولتاژ منبع و از رابطه $q=CV$ تبعیت میکند. در این رابطه ضریب تناسب (همان C) نشان دهنده ظرفیت خازن است.



ظرفیت خازن چه عواملی بستگی دارد؟

۶

➔ ظرفیت خازن به جنس عایق بین صفحات، مساحت صفحه و فاصله آنها بستگی دارد.



$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon_0 EA}{Ed} = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

➔ معمولاً ظرفیت خازن ها بر حسب میکروفاراد (μF)، نانوفاراد (nf) و پیکوفاراد (pF) مشخص میشود.

ثابت زمانی خازن چیست؟

V

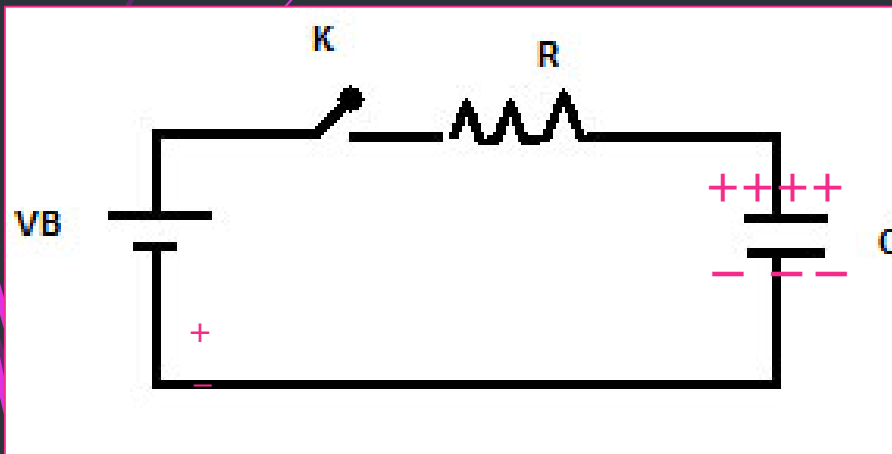
مداری شامل یک مقاومت اهمی و یک خازن را که به صورت سری بسته شده اند به یک منبع ولتاژ DC وصل می کنیم، خازن فوراً شارژ (پر) نمی شود بلکه مدتی طول می کشد تا به شارژ کامل برسد. زمان شارژ بستگی به مقدار R و C دارد. همچنین اگر پایه های یک خازن شارژ شده را به وسیله ی یک مقاومت اهمی به یکدیگر اتصال دهیم خازن به یک باره دشارژ (خالی) نمی شود، بلکه مدت زمانی طول می کشد تا خازن شارژ خود را از دست بدهد. که این زمان را اصطلاحاً ثابت زمانی مدار RC می نامند بستگی به مقدار R و C دارد.

**به دست آوردن منحنی شارژ خازن و یافتن ظرفیت
خازن مجهول با استفاده از شارژ خازن**

شارژ خازن و روابط حاکم بر آن

۹

وقتی که یک خازن بی‌بار را (مطابق با مدار زیر) به دو سر یک **باتری** وصل کنیم؛ **الکترون‌ها** در مدار جاری می‌شوند. بدین ترتیب یکی از صفحات بار مثبت و صفحه دیگر بار منفی پیدا می‌کند. آن صفحه‌ای که به قطب مثبت باتری وصل شده؛ بار مثبت و صفحه دیگر بار منفی پیدا می‌کند. خازن پس از ذخیره کردن مقدار معینی از بار الکتریکی پر می‌شود و ولتاژ دو سر خازن (V_C) برابر ولتاژ باتری (\mathcal{E}) می‌شود. یعنی با وجود اینکه کلید همچنان بسته‌است، ولی جریانی از مدار عبور نمی‌کند و در واقع **جریان** به صفر می‌رسد. یعنی به محض اینکه یک خازن خالی بدون بار را در یک مدار به **مولد** متصل کردیم؛ پس از مدتی دیگر جریانی از مدار عبور نمی‌کند در این حالت می‌گوییم خازن پر شده‌است.



$$\mathcal{E} = V_C + V_R \rightarrow \mathcal{E} = \frac{q}{C} + R \frac{dq}{dt}$$

$$q = C\mathcal{E}(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \rightarrow V_C = \mathcal{E}(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (1)$$

$$t = RC \rightarrow V_C = 0.63\mathcal{E} \quad (2)$$

V_C : ولتاژ دو سر خازن

\mathcal{E} : ولتاژ باتری

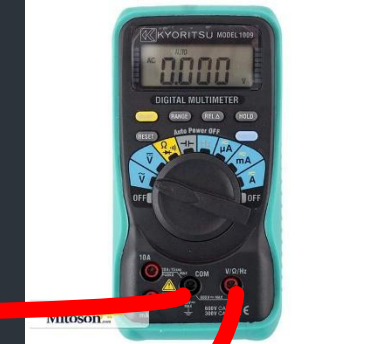
R : مقاومت موجود در مدار

C : ظرفیت خازن

آزمایش شارژ خازن:

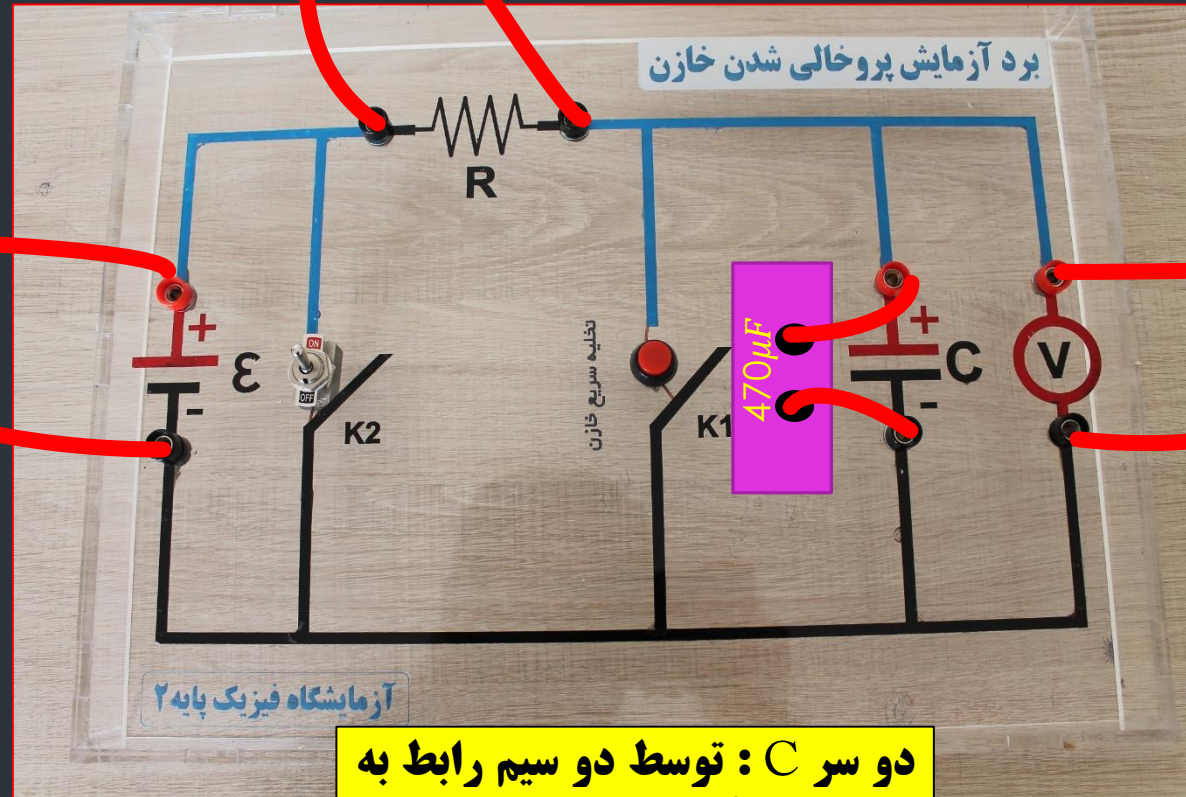
کلید K2 در حالت باز قرار میگیرد تا خازن شارژ شود.

دو سر R: توسط دو سیم رابط به مقاومت ۱۰۰ کیلو اهمی وصل شود.



دو سر V: توسط دو سیم رابط به ولت متر متصل میشود تا ولتاژ دو سر خازن را در زمان های متفاوت نشان دهد.

دو سر C: توسط دو سیم رابط به خازن ۴۷۰ میکروفارادی متصل میشود



دو سر E: توسط دو سیم رابط به منبع تغذیه ۱۰ ولت متصل میشود.

شارژ خازن:

بعد از متصل کردن خازن، مقاومت، منبع تغذیه، ولت‌متر (مطابق با اسلاید قبل) و باز گذاشتن کلید K_2 ، خازن خالی شروع به پر شدن می‌کند. با وصل کلید و اعمال ولتاژ، کرنومتر بصورت هم‌زمان با کلید زنی روشن شده و ولتاژ دو سر خازن (V_c) در زمان‌های مشخص ثبت شده است. این اعداد در جدول زیر آورده شده است.

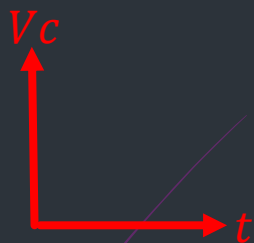
t	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰	۷۵	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰
V_c	۰	۱۲/۱	۱/۹۳	۲/۶۳	۳/۵۱	۴/۱۴	۴/۷۳	۵/۲۵	۵/۷۰	۶/۱۴	۶/۵۰	۶/۹۵	۷/۱۶	۷/۴۹	۷/۷۸	۷/۸۹	۸/۰۷	۸/۴۵	۸/۷۱	۹/۹۴	۹/۱۱	۹/۲۵	۹/۳۷

t	۱۵۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۹۰
V_c	۹/۴۷	۹/۵۵	۹/۶۱	۹/۶۶	۹/۷۵

نکته: اعداد مربوط به آزمایش شارژ خازن ۴۷۰ میکروفارادی است با استفاده از ولتاژ ۱۰ ولت ($E=10$) و مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم انجام شده است.

یافتن ظرفیت خازن با استفاده از V_c بر حسب t

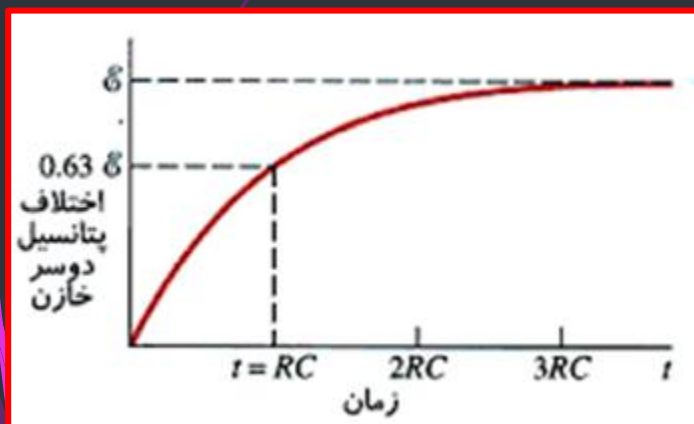
۱۲



۱- نمودار V_c بر حسب t رسم شود و نمایی بودن شارژ خازن را نشان دهید.

۲- با استفاده از رابطه ۲، ظرفیت خازن را به دست آورید. (زمان متناظر با $6/3$ ولت را بیابید و آن را مثل نمودار زیر مساوی با RC قرار دهید.

مقاومت را 100000 اهم قرار دهید



$$t=RC$$

زمان متناظر با $6/3$ ولت

C مجهول است آن را بیابید.

۳- ظرفیت خازن را بدست بیاورید و با توجه به ظرفیت نوشته شده روی خازن (470 میکروفاراد) خطای نسبی آن را به دست آورید.

ظرفیت نوشته شده روی خازن	C_{Exp} ظرفیت محاسبه شده از روی نمودار	$\frac{ C_{Exp} - C }{C} \times 100$
470 میکروفاراد		

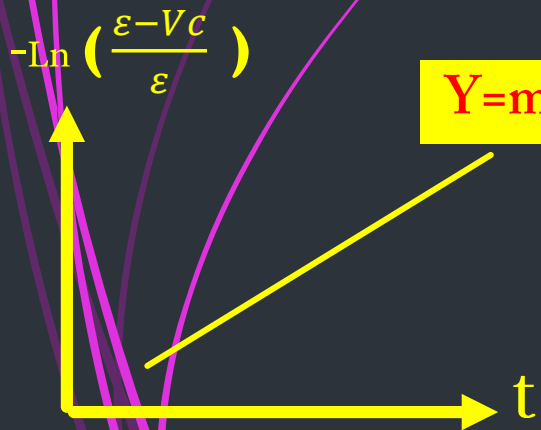
یافتن ظرفیت خازن با استفاده از نمودار $-\ln\left(\frac{\varepsilon - V_C}{\varepsilon}\right)$ بر حسب t

۱۳

زمانی که از طرفین رابطه ۱، \ln گرفته شود به رابطه زیر میرسیم:

$$V_C = \varepsilon(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \xrightarrow{\text{Ln گیری}} \frac{t}{RC} = -\ln\left(\frac{\varepsilon - V_C}{\varepsilon}\right)$$

اگر نمودار $-\ln\left(\frac{\varepsilon - V_C}{\varepsilon}\right)$ بر حسب t رسم شود (با استفاده از داده های مربوط به شارژ) نمودار بصورت خطی است که شیب آن $1/RC$ را نشان میدهد این نمودار را رسم کنید و با استفاده از شیب آن ظرفیت را بیابید و خطای نسبی آن را محاسبه کنید.



$Y=mx$

m شیب نمودار است آن را از روی نمودار رسم شده بیابید

$$m = \frac{1}{RC}$$

C مجهول است آن را بیابید و در جدول زیر قرار دهید.

مقاومت را 100000 اهم قرار دهید

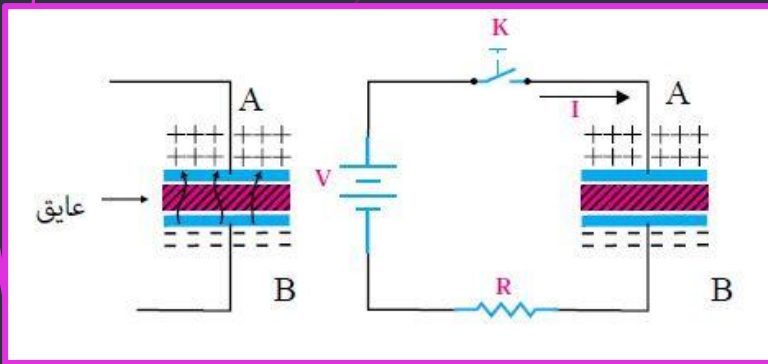
ظرفیت نوشته شده روی خازن (C)	ظرفیت محاسبه شده از روی نمودار $-\ln\left(\frac{\varepsilon - V_C}{\varepsilon}\right)$ (C_{Exp})	$\frac{ C_{Exp} - C }{C} \times 100$
۴۷۰ میکروفاراد		

**به دست آوردن منحنی دشارژ خازن و یافتن ظرفیت
خازن مجهول با استفاده از دشارژ خازن**

دشارژ خازن:

۱۵

اگر خازن از منبع جدا شود پس از مدتی دو سر آن ولتاژ وجود دارد یعنی انرژی ذخیره شده را در خود نگه می دارد. از طرفی چون مقاومت عایق خازن بی نهایت نیست (عایق مطلق نیست)، به مرور زمان، الکترونها از طریق عایق از صفحه ی A به طرف صفحه ی B حرکت می کنند و خازن را تخلیه می نمایند. بدیهی است اگر خاصیت عایقی خازن، مطلق باشد خازن برای همیشه انرژی ذخیره شده را در خود حفظ می کند.



روابط حاکم بر دشارژ خازن:

$$0 = V_C + V_R \longrightarrow 0 = \frac{q}{c} + R \frac{dq}{dt} \longrightarrow \boxed{V_C = \varepsilon e \frac{-t}{RC}} \quad (۳)$$

$$\boxed{t = RC \longrightarrow V_C = 0.37\varepsilon} \quad (۴)$$

$$\text{با Ln گیری از رابطه ۳} \longrightarrow -\text{Ln}\left(\frac{V_C}{\varepsilon}\right) = \frac{t}{RC} \quad (۵)$$

V_C : ولتاژ دو سر خازن

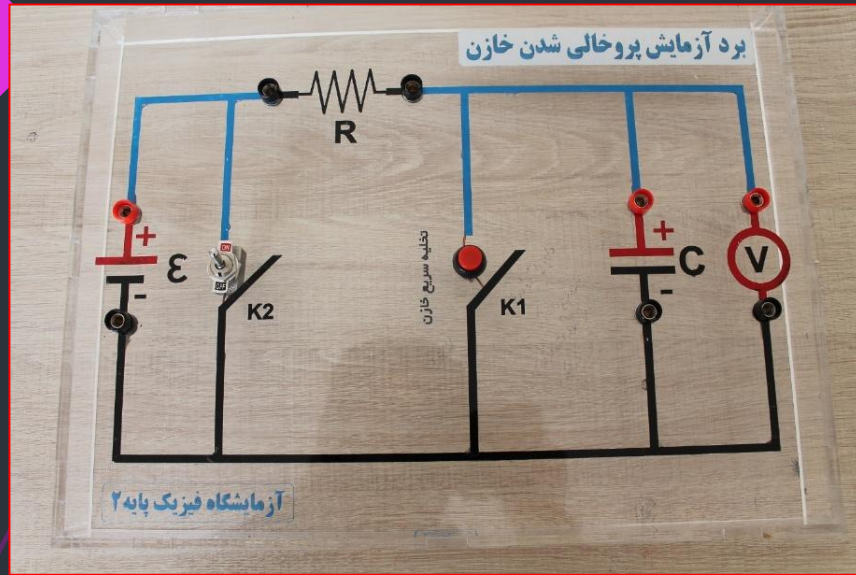
ε : ولتاژ باتری

R : مقاومت موجود در مدار

C : ظرفیت خازن

نحوه انجام آزمایش دشارژ

۱۶



مثل آزمایش شارژ، منبع تغذیه، مقاومت ۱۰۰ کیلو اهمی، خازن و ولت متر به برد زیر متصل میشوند، اجازه میدهیم تا خازن پر شود. سپس برای اینکه خازن خالی شود کلید K2 بسته میشود. با این کار خازنی که از قبل پر شده است خالی میشود و دیگر روی صفحات آن بار الکتریکی وجود نخواهد داشت.

به محض بسته شدن کلید K2، کرنومتر روشن شده و ولتاژ دو سر خازن (V_c) در زمان های مشخص ثبت شده است. این اعداد در جدول زیر آورده شده است.

t	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰	۷۵	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰
V_c	۹/۳۳	۹/۱۱	۸/۱۲	۷/۲۷	۶/۵۷	۵/۸۴	۵/۲۸	۴/۷۶	۴/۳۷	۳/۸۳	۳/۵۲	۳/۰۹	۲/۸۲	۲/۵۳	۲/۳۹	۲/۱۵	۱/۸۴	۱/۴۹	۱/۲۱	۰/۹۹	۰/۸۲	۰/۶۶	۰/۵۵

t	۱۵۰	۱۶۰	۱۶۵
V_c	۰/۴۴	۰/۳۷	۰/۳۳

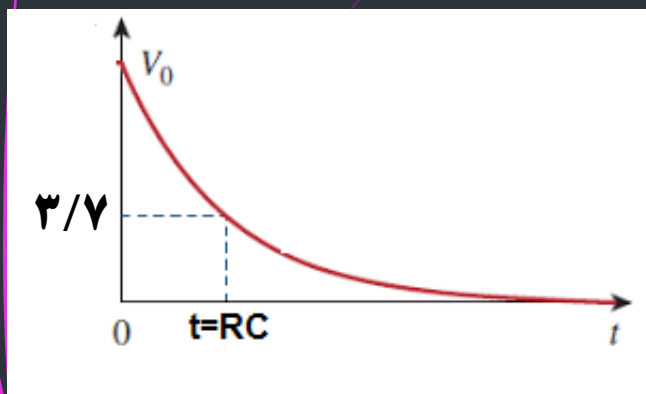
نکته: اعداد مربوط به آزمایش دشارژ خازن ۴۷۰ میکروفارادی است با استفاده از ولتاژ ۱۰ ولت ($\epsilon=10$) و مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم انجام شده است.

یافتن ظرفیت خازن با استفاده از V_c بر حسب t

۱۷

۱- نمودار V_c بر حسب t رسم شود.

۲- با استفاده از رابطه ۴، ظرفیت خازن را به دست آورید. (زمان متناظر با $3/7$ ولت را بیابید و آن را مثل نمودار زیر مساوی با RC قرار دهید.



مقاومت را 1000000 اهم قرار دهید

$$t=RC$$

زمان متناظر با $3/7$ ولت

C مجهول است آن را بیابید.

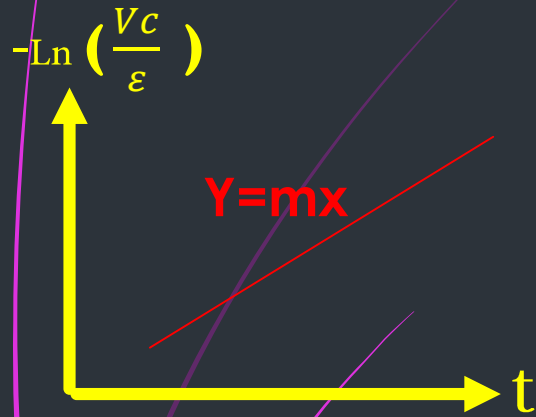
۳- ظرفیت خازن را بدست بیاورید و با توجه به ظرفیت نوشته شده روی خازن (470 میکروفاراد) خطای نسبی آن را به دست آورید.

ظرفیت نوشته شده روی خازن (C)	ظرفیت محاسبه شده از روی نمودار (C_{Exp})	$\frac{ C_{Exp} - C }{C} \times 100$
470 میکروفاراد		

یافتن ظرفیت خازن با استفاده از نمودار $-\ln\left(\frac{V_c}{\varepsilon}\right)$ بر حسب t

۱۸

نمودار $-\ln\left(\frac{V_c}{\varepsilon}\right)$ بر حسب t را رسم میکنیم، نمودار خطی است با شیب m با توجه به رابطه δ ، شیب این نمودار برابر است با $\frac{1}{RC}$.



m شیب نمودار است ان را از روی نمودار رسم شده بیابید

$$m = \frac{1}{RC}$$

C مجهول است آن را بیابید.

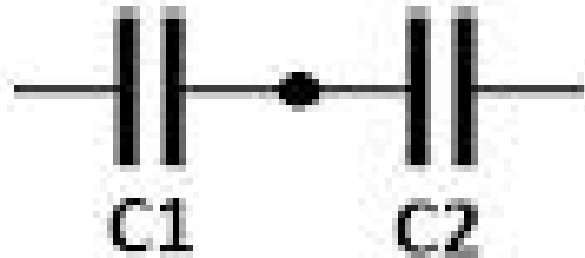
مقاومت را 1000000 اهم قرار دهید

ظرفیت نوشته شده روی خازن (C)	ظرفیت محاسبه شده از روی نمودار $-\ln\left(\frac{V_c}{\varepsilon}\right)$ (C_{Exp})	$\frac{ C_{Exp} - C }{C} \times 100$
۴۷۰ میکروفاراد		

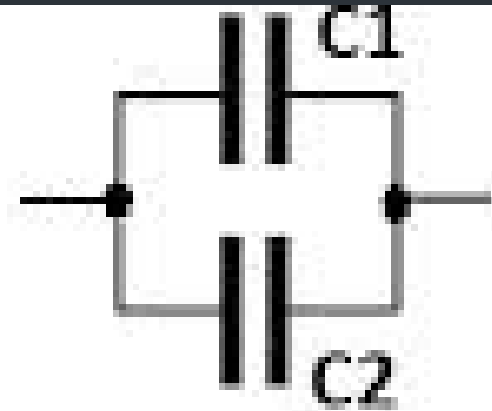
بررسی قوانین سری و موازی در خازن ها

بررسی قوانین ترکیب موازی و متوالی خازن ها

۲۰



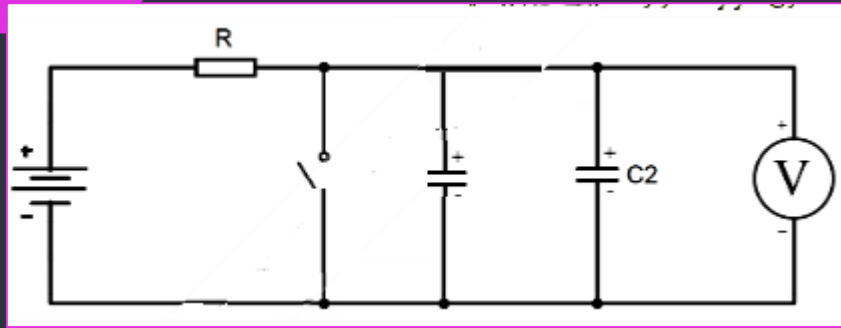
$$C_{\text{موازی}} = \frac{C1 \times C2}{C1 + C2}$$



$$C_{\text{متوالی}} = C1 + C2$$

نحوه انجام آزمایش برای بررسی ترکیب موازی خازنها:

۲۱



۱- دو خازن ۴۷۰ و ۱۰۰۰ میکروفاراد را بصورت موازی میبندیم، و اجازه میدهیم برای یک دقیقه پر شوند، ولتاژ دوسر خازن C1 یا C2 را در بازه زمانی ۵ ثانیه ثبت کرده و در جدول زیر مینویسیم.

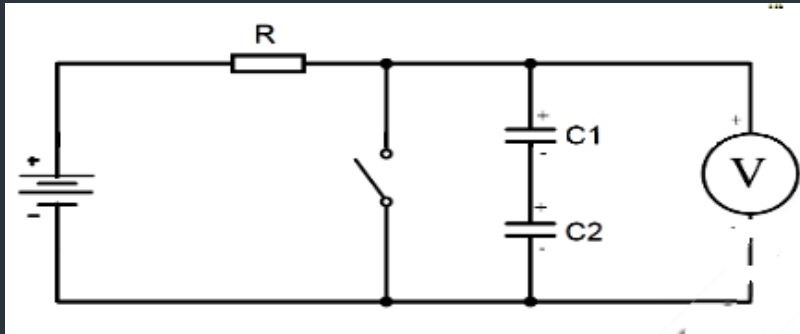
t	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰
Vc	۰	۰/۳۳	۰/۶۷	۰/۹۷	۱/۲۳	۱/۵	۱/۸۵	۲/۱۱	۲/۳۸	۲/۶۲	۲/۸۷	۳/۱۱	۳/۳۴

نکته: این آزمایش با استفاده از ولتاژ ۱۰ ولت ($\epsilon=10$) و مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم انجام شده است.

۲- نمودار اگر نمودار $-\ln\left(\frac{\epsilon-Vc}{\epsilon}\right)$ بر حسب t رسم شود (با استفاده از داده های بالا) نمودار خطی است که شیب آن $\frac{1}{RC}$ را نشان میدهد. این نمودار را رسم کنید (مشابه به کاری که در شارژ خازن انجام شد) و با استفاده از شیب آن ظرفیت را بیابید (C_{Exp}) و خطای نسبی آن را محاسبه کنید.

C_1	C_2	$C_{Th} = C_1 + C_2$	C_{Exp}	$\frac{ C_{Exp} - C_{Th} }{C_{Th}} \times 100$
470	1000			

نحوه انجام آزمایش برای بررسی ترکیب متوالی خازنها:



۱- دو خازن ۴۷۰ و ۱۰۰۰ میکروفاراد را بصورت متوالی میبندیم، و اجازه میدهیم برای یک دقیقه پر شوند، ولتاژ دوسر خازنها را در بازه زمانی ۵ ثانیه ثبت کرده و در جدول زیر مینویسیم.

t	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰
Vc	۰	۱/۴۴	۲/۵۹	۳/۷۸	۴/۵۴	۵/۳۴	۶/۱۲	۶/۵۸	۷/۱۷	۷/۴۹	۷/۹۱	۸/۱۴	۸/۴۰

نکته: این آزمایش با استفاده از ولتاژ ۱۰ ولت ($\epsilon=10$) و مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم انجام شده است.

۲- با استفاده از داده های بالا، نمودار $-\ln\left(\frac{\epsilon-Vc}{\epsilon}\right)$ بر حسب t رسم شود. نمودار خطی است که شیب آن معادل $\frac{1}{RC}$ است. این نمودار را رسم کنید (مشابه با قسمت شارژ خازن) و با استفاده از شیب آن ظرفیت را بیابید (C_{Exp}) و خطای نسبی آن را محاسبه کنید.

C_1	C_2	$C_{Th} = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$	C_{Exp}	$\frac{ C_{Exp} - C_{Th} }{C_{Th}} \times 100$
470	1000			

داده های شماره ۲۵

داده های مربوط به شارژ خازن ۴۷۰ میکروفارادی

۳۴

t	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰
V_c	۰	۱/۱۷	۲/۳۰	۳/۲۸	۳/۸۳	۴/۷۶	۵/۲۹	۵/۸۳	۶/۲۳	۶/۶۷	۷/۱۰	۷/۳۸	۷/۶۹	۸/۱۶	۸/۵۳	۸/۷۲	۹/۱۵	۹/۲۲	۹/۳۵	۹/۴۶	۹/۵۵	۹/۶۱	۹/۶۶

نکته: آزمایش با استفاده از ولتاژ ۱۰ ولت ($\epsilon=10$) و مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم انجام شده است.

داده های مربوط به دشارژ خازن ۴۷۰ میکروفارادی

۲۵

t	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰
V_c	۹/۳۰	۸/۶۰	۷/۶۶	۶/۸۷	۶/۰۵	۵/۴۶	۴/۸۹	۴/۲۶	۳/۸۱	۳/۳۸	۳/۱۰	۲/۶۸	۲/۵۳	۱/۹۵	۱/۵۵	۱/۲۷	۱/۰۱	۰/۸۲	۰/۶۷	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۳۸	۰/۳۴

نکته: آزمایش با استفاده از ولتاژ ۱۰ ولت ($\epsilon=10$) و مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم انجام شده است.

داده های مربوط به ترکیب موازی خازن های ۱۰۰۰ و ۴۷۰ میکروفارادی

۲۶

t	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰
Vc	۰	۷۸/۰	۶۶/۰	۵۹/۰	۴۱/۱	۱/۶۵	۱/۸۷	۲/۱۱	۲/۳۶	۲/۶۳	۲/۸۷	۳/۰۹	۳/۳۴

نکته: آزمایش با استفاده از ولتاژ ۱۰ ولت ($\epsilon=10$) و مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم انجام شده است.

داده های مربوط به ترکیب متوالی خازن های ۱۰۰۰ و ۴۷۰ میکروفارادی

۲۷

t	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰
Vc	۰	۱/۶۵	۲/۷۶	۳/۹۹	۴/۸۳	۵/۵۵	۶/۲۹	۶/۸۴	۷/۳۸	۷/۷۴	۸/۱۰	۸/۳۸	۸/۶۶

نکته: آزمایش با استفاده از ولتاژ ۱۰ ولت ($\epsilon=10$) و مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم انجام شده است.

داده های شماره ۳

داده های مربوط به شارژ خازن ۴۷۰ میکروفارادی

۲۹

t	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰
V_c	۰	۱/۱۴	۱/۹۳	۲/۸۱	۳/۵۰	۴/۱۴	۴/۷۰	۵/۲۵	۵/۷۱	۶/۱۴	۶/۵۰	۶/۸۵	۷/۶۹	۸/۱۵	۸/۵۳	۸/۸۲	۹/۰۵	۹/۲۲	۹/۳۵	۹/۴۹	۹/۵۴	۹/۶۱	۹/۶۶

نکته: آزمایش با استفاده از ولتاژ ۱۰ ولت ($\epsilon = 10$) و مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم انجام شده است.

داده های مربوط به دشارژ خازن ۴۷۰ میکروفارادی

۳۰

t	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۱۰۰	۱۱۰	۱۲۰	۱۳۰	۱۴۰	۱۵۰	۱۶۰
V_c	۹/۲۰	۸/۹۹	۸/۰۵	۷/۰۷	۶/۲۲	۵/۵۵	۴/۶۰	۴/۳۱	۳/۸۵	۳/۳۶	۳/۰۰	۲/۶۹	۲/۳۵	۱/۹۰	۱/۵۲	۱/۲۲	۰/۹۶	۰/۸۲	۰/۶۴	۰/۵۲	۰/۴۵	۰/۳۴	۰/۳۹

نکته: در آزمایش از ولتاژ ۱۰ ولت ($\epsilon = 10$) و مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم استفاده شده است.

داده های مربوط به ترکیب موازی خازن های ۱۰۰۰ و ۴۷۰ میکروفارادی

۳۱

t	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰
Vc	۰	۰/۳۲	۰/۶۷	۰/۹۶	۱/۲۵	۱/۵۴	۱/۸۳	۲/۱۰	۲/۳۵	۲/۶۵	۲/۸۵	۳/۱۰	۳/۳۳

نکته: آزمایش با استفاده از ولتاژ ۱۰ ولت ($\epsilon = 10$) و مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم انجام شده است.

داده های مربوط به ترکیب متوالی خازن های ۱۰۰۰ و ۴۷۰ میکروفارادی

۳۲

t	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰
V_c	۰	۱/۵۶	۲/۸۹	۳/۹۸	۴/۸۵	۵/۷۸	۶/۴۱	۶/۹۸	۷/۳۲	۷/۶۹	۸/۱۹	۸/۲۴	۸/۶۵

نکته: آزمایش با استفاده از ولتاژ ۱۰ ولت ($\epsilon=10$) و مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم انجام شده است.

داده های شماره ۴

داده های مربوط به شارژ خازن ۴۷۰ میکروفارادی

۳۴

t	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰	۷۵	۸۰	۸۵	۹۰	۹۵	۱۰۰	۱۰۵	۱۱۰	
V_c	۰	۱/۱۱۰	۲/۳۲	۲/۸۷	۳/۵۶	۴/۲۱	۴/۸۳	۵/۳۹	۵/۸۴	۶/۳۵	۶/۶۷	۷/۱۲	۷/۳۹	۷/۶۲	۶/۸/۷	۶/۰/۷	۵/۲۵	۴/۴۹	۳/۶۳	۲/۸۰	۲/۹۵	۲/۰/۶	۱/۰/۶	۰/۹/۶

نکته: آزمایش با استفاده از ولتاژ ۱۰ ولت ($\epsilon=10$) و مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم انجام شده است.

داده های مربوط به دشارژ خازن ۴۷۰ میکروفارادی

t	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰	۷۵	۸۰	۸۵	۹۰	۹۵	۱۰۰	۱۰۵	۱۱۰
V_c	۹/۹۰	۹/۷۱	۷/۸۷	۷/۷۱	۶/۴۳	۵/۷۴	۵/۱۵	۴/۷۵	۴/۱۶	۳/۷۶	۳/۴۱	۲/۹۱	۲/۶۷	۲/۴۵	۲/۱۹	۱/۹۸	۱/۷۸	۱/۶۰	۱/۵۴	۱/۳۰	۱/۱۷	۱/۰۴	۰/۹۴

t	۱۱۵	۱۲۰	۱۲۵	۱۳۰	۱۳۵	۱۴۰	۱۴۵	۱۵۰	۱۵۵
V_c	۰/۸۵	۰/۷۷	۰/۷۰	۰/۶۲	۰/۵۶	۰/۵۰	۰/۴۴	۰/۳۹	۰/۳۲

نکته: آزمایش با استفاده از ولتاژ ۱۰ ولت ($\epsilon=10$) و مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم انجام شده است.

داده های مربوط به ترکیب موازی خازن های ۱۰۰۰ و ۴۷۰ میکروفارادی

۳۶

t	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰
V_c	۰	۰/۵۱	۱/۱۴	۱/۲۶	۲/۳۴	۲/۵۷	۳/۳۵	۳/۸۱	۴/۱۸	۴/۵۹	۴/۹۴	۵/۲۹	۵/۵۹

نکته: آزمایش با استفاده از ولتاژ ۱۰ ولت ($\epsilon=10$) و مقاومت ۵۰ کیلو اهم انجام شده است.

داده های مربوط به ترکیب متوالی خازن های ۱۰۰۰ و ۴۷۰ میکروفارادی

۳۷

t	۰	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰
V_c	۰	۱/۴۷	۲/۷۴	۳/۸۶	۴/۷۰	۵/۵۲	۶/۱۷	۶/۷۰	۷/۲۷	۷/۶۹	۸/۰۴	۸/۳۵	۸/۶۱

نکته: آزمایش با استفاده از ولتاژ ۱۰ ولت ($\epsilon=10$) و مقاومت ۱۰۰ کیلو اهم.