

گزارش آزمایش شماره ۴		درس آفیزیک ۲
گروه و زیر گروه:		A و ۳
اعضای گروه:	حسین مسیحی (۴۰۱۱۰۱۱۶۱)	محمد نجفی (۹۹۱۰۰۹۸۲)

موضوع آزمایش:

باردار شدن و خالی شدن خازن ها

هدف آزمایش:

یادگیری از طریق بررسی تجربی باردار شدن و خالی شدن خازن ها و بررسی معادل به هم بستن سری و موازی خازن ها

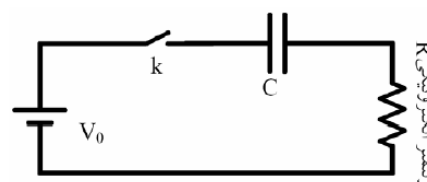
وسایل مورد نیاز:

منبع تغذیه ، دو عدد خازن $C_1 = 20\mu F$ و $C_2 = 4\mu F$ ، ولت متر، سیم های رابط، زمان سنج

مبانی تئوری آزمایش:

تعریف ظرفیت خازن: هرگاه دو صفحه یک خازن را به دو سر یک باتری وصل کنیم، بر روی صفحات آن به ترتیب بارهای مساوی $+q$ و $-q$ جمع می شوند که با ولتاژ دو سر باتری متناسب می باشد. ضریب تناسب $(C = q/V)$ ، ظرفیت خازن نامیده شده که به شکل و صفحات و محیط آن بستگی دارد.

باردار شدن (پر شدن) خازن: مدار ساده ای شامل باتری، کلید، خازن و ولت متر با مقاومت R به صورت سری را در نظر بگیرید (شکل ۱).



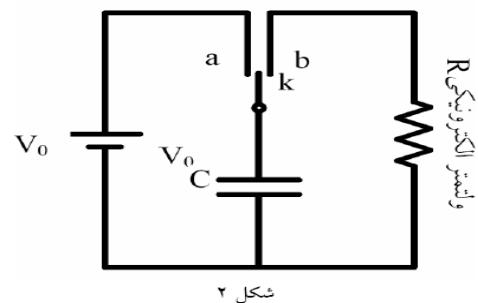
شکل ۱

با بسته شدن کلید ، خازن بلافاصله باردار نمی شود، بلکه بارها کم کم بر روی صفحه های خازن جمع شده بطوریکه اختلاف پتانسیل دو صفحه ی خازن V_C بر اساس قانون پایستگی انرژی از رابطه ی زیر حاصل می شود.

$$V_C = V_0(1 - e^{-t/RC})$$

از این رابطه نمایی، نتیجه می شود که در زمان $\tau = RC$ (که به آن ثابت زمانی مدار گفته می شود) اختلاف پتانسیل بین دو صفحه خازن 0.63 اختلاف پتانسیل نهایی دو صفحه (یا همان اختلاف پتانسیل منبع تغذیه) می گردد.

بی بار شدن (خالی شدن) خازن: در این حالت، مدار ساده دیگری شامل باتری، کلید دو طرفه، خازن و ولت متر با مقاومت R به صورت شکل ۲ را در نظر بگیرید.



با بستن کلید دو طرفه به نقطه ی a خازن به باتری متصل شده و باردار می شود، بعد با بستن کلید به نقطه b انرژی جمع شده خازن در مقاومت R تخلیه می شود. در این حالت، اختلاف پتانسیل دو صفحه ی خازن V_C بر اساس قانون پایستگی انرژی از رابطه ی زیر حاصل می شود.

$$V_C = V_0 \cdot e^{-t/RC}$$

به هم بستن سری و موازی خازن ها:

در مدارهای اشاره شده بالا برای پر و خالی شدن خازن ها، می توان به جای تک خازن از چند خازن به صورت موازی یا سری استفاده کرد.

از روابط زیر برای به دست آوردن ظرفیت معادل در حالت بستن سری و موازی خازن های می توان استفاده نمود:

خازن های موازی:

$$C_{\text{معادل}} = C_1 + C_2 + \dots$$

خازن های سری:

$$1/C_{\text{معادل}} = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots$$

اطلاعات آزمایشگاهی و نحوه کار:

الف) اندازه گیری اختلاف پتانسیل یک خازن پر شده:

ابتدا یک خازن را با اتصال کوتاه مدتی به منبع تغذیه با ولتاژ 10V پر کرده و بعد از منبع تغذیه جدا نموده و با اتصال موازی به ولت متر، اختلاف پتانسیل دو سر آن را با ولت متر اندازه می گیریم. در انتها دو صفحه خازن را با سیم به هم متصل نموده تا خازن تخلیه گردد. دوباره خازن را با همان ولتاژ شارژ کرده و برای مدت کوتاهی دو دست خود را به دو اتصال خازن وصل می کنیم و دوباره ولتاژ دو سر خازن را اندازه می گیریم.

ب) رسم منحنی پر شدن خازن ها و تعیین مقاومت داخلی ولت متر (با ثابت زمانی مدار):

مشابه شکل ۱ خازن C1 را به منبع تغذیه (۱۰ ولت) و یک ولت با کلید وصل می کنیم. با اتصال کلید و در طول مدت زمانی که خازن باردار می شود مقادیر نشان داده شده ولت متر را در زمان های مختلف آورده شده جدول خوانده و در جدول یادداشت می کنیم. در طول این مدت زمان، رابطه بین اختلاف پتانسیل منبع تغذیه (V_0) اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن (V_C) و و عددی که ولت متر نشان می دهد (V_m) به صورت زیر است:

$$V_m = V_0 - V_C = V_0 \cdot e^{-t/RC}$$

ج) رسم منحنی خالی شدن خازن ها و تعیین مقاومت داخلی ولت متر (با ثابت زمانی):

مشابه شکل ۲ خازن C2 را به منبع تغذیه (۱۰ ولت) و یک ولت با کلید دوطرفه وصل می کنیم. ابتدا کلید را چند لحظه به a اتصال می دهیم تا خازن پر شود. سپس کلید را به b وصل کرده تا خازن از راه مقاومت داخلی ولت متر تخلیه شود. مقادیر نشان داده شده ولت متر را در زمان های مختلف آورده شده جدول خوانده و در جدول یادداشت می کنیم.

د) بررسی رابطه ی به هم بستن سری خازن ها

مشابه شکل ۱ خازن های C1 و C2 را به طور سری در مدار به منبع تغذیه (۱۰ ولت) و یک ولت با کلید وصل می کنیم. برای زمان آورده شده در جدول، مقادیر نشان داده شده ولت متر را در زمان های مختلف خوانده و در جدول یادداشت می کنیم.

ه) بررسی رابطه ی به هم بستن موازی خازن ها

مشابه حالت قبل خازن های C1 و C2 را البته به طور موازی در مدار با منبع تغذیه (۱۰ ولت) باردار می کنیم. سپس با جدا کردن منبع تغذیه و اتصال به ولت متر تخلیه خازن ها از طریق مقاومت داخلی ولت متر صورت می گیرد. برای زمان آورده شده در جدول، مقادیر نشان داده شده ولت متر را در زمان های مختلف خوانده و در جدول یادداشت می کنیم.

جداول نتایج آزمایشگاهی:

نتایج به دست آمده در آزمایشگاه در برگه گزارش در جدول زیر نشان داده شده است.

C₁

جدول ۱

t (s)	۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵
V (V)	9.8	9.08	8.31	7.73	7.10	6.53	6	5.53	5.06	4.67
V/V ₀	0.98	0.908	0.831	0.773	0.71	0.653	0.6	0.553	0.506	0.467

C₂

جدول ۲

t (s)	۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵
V (V)	9.6	7	5.03	3.59	2.56	1.75	1.26	0.94	0.67	0.49
V/V ₀	0.96	0.7	0.503	0.359	0.256	0.175	0.126	0.094	0.067	0.049

جدول ۳

t (s)	۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵
V (V)	9.64	6.35	4.11	2.7	1.8	1.2	0.8	0.53	0.3	0.23

جدول ۴

t (s)	۰	۳۰	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰	۲۱۰	۲۴۰	۲۷۰	۳۰۰
V (V)	9.85	8.61	7.56	6.59	5.77	5.06	4.43	3.87	3.4	2.97	2.6

بررسی و تحلیل نتایج آزمایشگاهی و محاسبات:

الف) اندازه گیری اختلاف پتانسیل یک خازن پر شده:

با باردار نمودن خازن در این آزمایش با ولتاژ حدود ۱۰ ولت، مقدار ولتاژی که پس از وصل کردن خازن به ولت متر می بینیم کمی کم تر است که نشان می دهد در همان لحظه ی اول مقدار ناچیزی از ولتاژ در مقاومت داخلی ولت متر (که مقدار قابل توجه بزرگی است) تخلیه می شود.

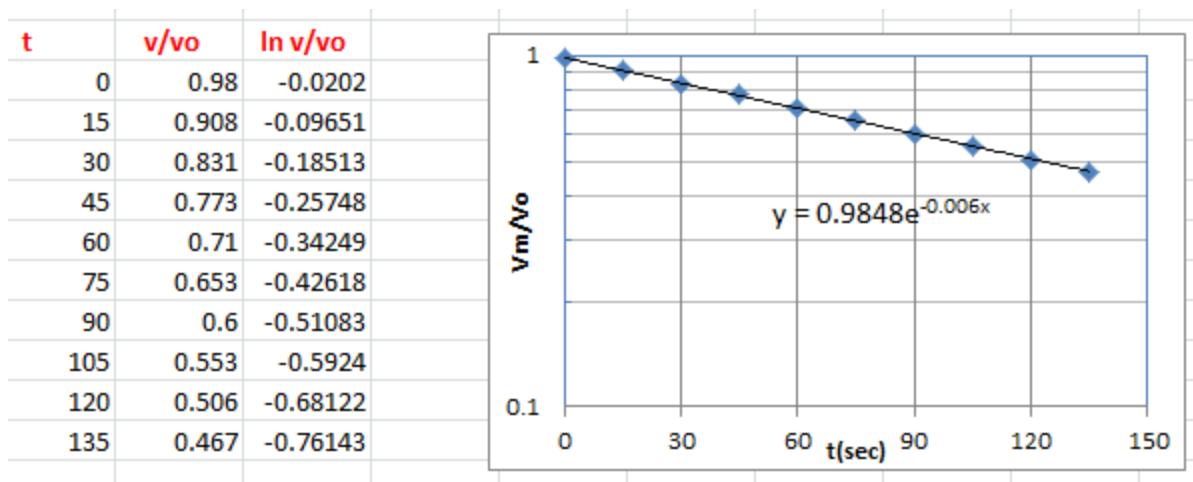
در بخش دوم به دلیل تخلیه شدن خازن در اتصال از طریق دست، این بار ولت متر مقدار کمتری را ثبت می کند (حدود ۹/۸ ولت) که کمتر از ولتاژ منبع تغذیه (۱۰ ولت) است که می تواند ناشی از تخلیه ی باز خازن از طریق دست های ما باشد.

ب) رسم منحنی پر شدن خازن ها و تعیین مقاومت داخلی ولت متر (با ثابت زمانی مدار):

اطلاعات این بخش آزمایش در جدول ۱ بشرح زیر است

جدول ۱										
t (s)	۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵
V (V)	9.8	9.08	8.31	7.73	7.10	6.53	6	5.53	5.06	4.67
V/V ₀	0.98	0.908	0.831	0.773	0.71	0.653	0.6	0.553	0.506	0.467

ابتدا نمودار تغییرات نسبت اختلاف پتانسیل ثبت شده ولت متر به اختلاف پتانسیل منبع تغذیه V_m/V_0 را به عنوان تابعی از زمان t در یک نمودار نیم لگاریتمی به کمک نرم افزار اکسل رسم می کنیم (شکل زیر).



با لگاریتم گیری از رابطه ارایه شده در بخش قبل داریم:

$$\ln\left(\frac{V_m}{V_0}\right) = \frac{-1}{RC} \cdot t = \frac{-1}{\tau} \cdot t$$

لذا از روی شیب نمودار مقدار تقریبی آن 0.006 (البته با محاسبه لگاریتم اختلاف پتانسیل ها و رسم نسبت به زمان و برازش خطی شیب 0.0055 می دهد که دقت بالاتری دارد) می توان مقدار ثابت زمانی مدار (τ) و هم چنین مقاومت داخلی ولت متر (R) را به دست بشرح آورد.

$$\frac{-1}{\tau} = -0.0055 \Rightarrow \tau = 181 \text{ s}$$

$$R = \frac{\tau}{C} = \frac{181}{20 \times 10^{-6}} \Rightarrow R = 9.09 \text{ M}\Omega$$

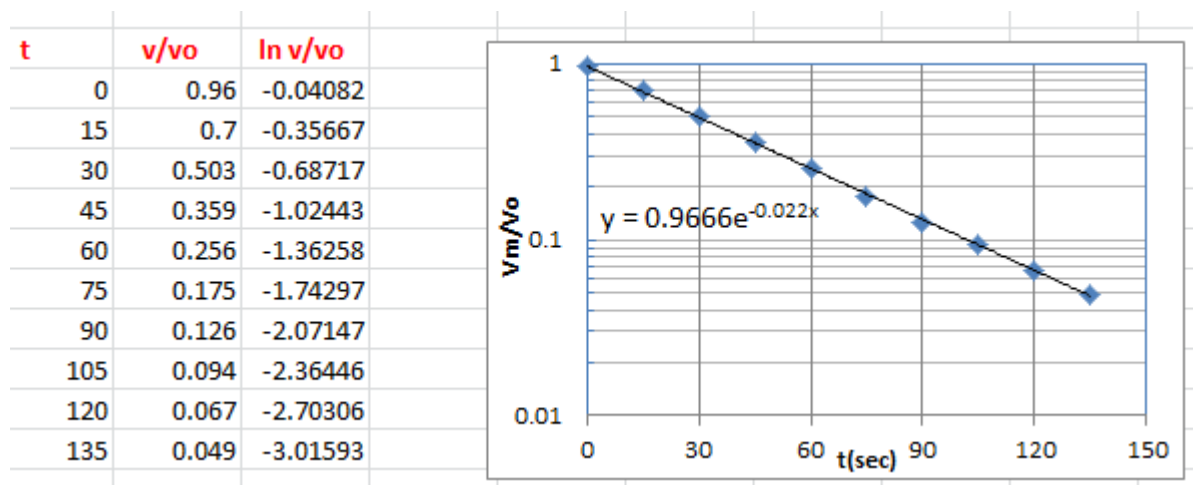
ج) رسم منحنی خالی شدن خازن ها و تعیین مقاومت داخلی ولت متر (با ثابت زمانی مدار):

اطلاعات این بخش آزمایش در جدول ۲ بشرح زیر است.

جدول ۲

t (s)	۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵
V (V)	۹.۶	۷	۵.۰۳	۳.۵۹	۲.۵۶	۱.۷۵	۱.۲۶	۰.۹۴	۰.۶۷	۰.۴۹
V/V ₀	۰.۹۶	۰.۷	۰.۵۰۳	۰.۳۵۹	۰.۲۵۶	۰.۱۷۵	۰.۱۲۶	۰.۰۹۴	۰.۰۶۷	۰.۰۴۹

ابتدا نمودار تغییرات نسبت اختلاف پتانسیل ثبت شده ولت متر به اختلاف پتانسیل منبع تغذیه V_m/V_0 را به عنوان تابعی از زمان t در یک نمودار نیم لگاریتمی به کمک نرم افزار اکسل رسم می کنیم (شکل زیر).



لذا از روی شیب نمودار مقدار تقریبی آن 0.022 (البته با محاسبه لگاریتم اختلاف پتانسیل ها و رسم نسبت به زمان و برازش خطی شیب 0.00223 می دهد که دقت بالاتری دارد) می توان مقدار ثابت زمانی مدار (τ) و هم چنین مقاومت داخلی ولت متر (R) را به دست بشرح آورد.

$$\frac{-1}{\tau} = -0.00223 \quad \Rightarrow \quad \tau = 44.8 \text{ s}$$

$$R = \frac{\tau}{C} = \frac{44.8}{4 \times 10^{-6}} \quad \Rightarrow \quad R = 11.2 \text{ M}\Omega$$

با استفاده از مقادیر مقاومت درونی ولت متر به دست آمده از دو قسمت قبل (ب) و (ج) می توان مقدار مقاومت متوسط ولت متر (\bar{R}) را محاسبه نمود.

$$\bar{R} = \frac{9.09 + 11.2}{2} = 10.14 \text{ M}\Omega$$

هم چنین مقدار خطای مقاومت درونی ولت متر به دست آمده از هر دو قسمت قبل (ب) و (ج) را با مقایسه با مقدار مقاومت متوسط ولت متر (\bar{R}) بشرح زیر می توان ارزیابی نمود:

$$\text{خطای مقاومت در بخش ب: } \bar{R} = \left| \frac{9.09 - 10.14}{10.14} \right| \times 100 = 10.3 \%$$

خطای مقاومت در بخش ج: $\bar{R} = \left| \frac{11.2 - 10.14}{10.14} \right| \times 100 = 10.4 \%$

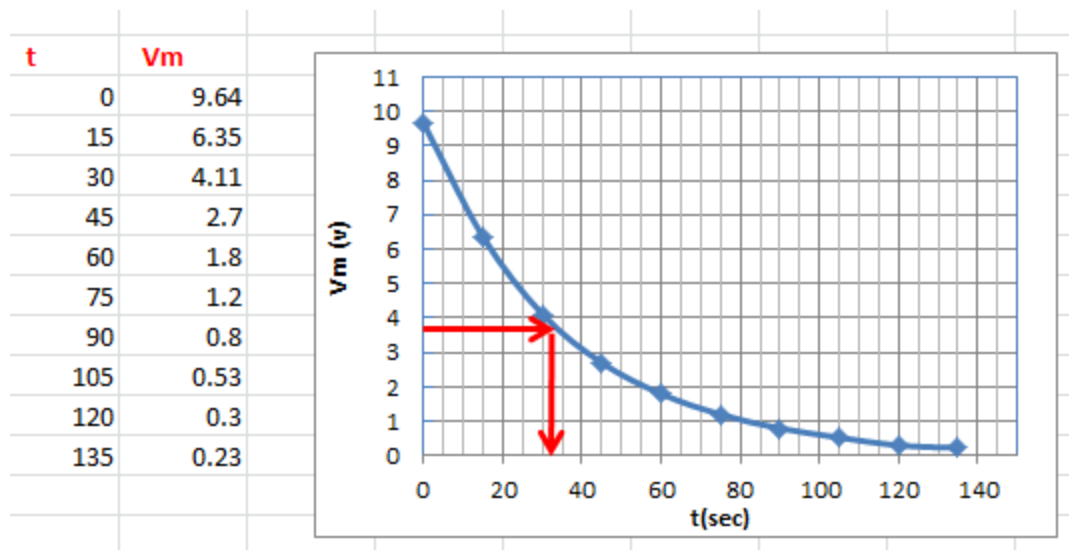
د) بررسی رابطه ی به هم بستن سری خازن ها

اطلاعات این بخش آزمایش در جدول ۳ بشرح زیر است.

جدول ۳

t (s)	۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵
V (V)	9.64	6.35	4.11	2.7	1.8	1.2	0.8	0.53	0.3	0.23

ابتدا نمودار تغییرات اختلاف پتانسیل ثبت شده ولت متر V_m را به عنوان تابعی از زمان t در یک نمودار به کمک نرم افزار اکسل رسم می کنیم (شکل زیر).



با توجه به تعریف ثابت زمانی مدار ($\tau = RC$) و رابطه زیر می توان ثابت زمانی مدار را از نمودار بالا در اختلاف پتانسیل معادل حدود 3.6 ولت به دست آورد.

$$V_m = V_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}, \quad t = \tau = RC \quad \Rightarrow \quad V_m = \frac{1}{e} V_0 = 0.37 \times 9.64 = 3.6 \text{ V}$$

لذا ثابت زمانی مدار τ برابر است با:

$$\tau = 33 \text{ s}$$

با استفاده از ثابت زمانی مدار τ به دست آمده و مقاومت داخلی ولت متر از قسمت قبل، مقدار عملی ظرفیت خازن به دست می آید

$$\tau = \bar{R}C_{eq} \Rightarrow C_{eq} = \frac{33}{10.14 \times 10^6} = 3.25 \mu F$$

هم چنین مقدار نظری ظرفیت معادل خازن ها از روی مقدار خازن های اندازه گیری شده در اول آزمایش از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$1/C_{eq} = 1/C_1 + 1/C_2 \Rightarrow C_{eq} = \frac{20 \times 4}{20 + 4} = 3.33 \mu F$$

هم چنین مقدار خطای ظرفیت معادل خازن به دست آمده عملی با مقایسه با مقدار نظری ظرفیت معادل را بشرح زیر می توان ارزیابی نمود:

$$\text{خطای ظرفیت خازن} = \left| \frac{3.33 - 3.25}{3.33} \right| \times 100 = 2.4 \%$$

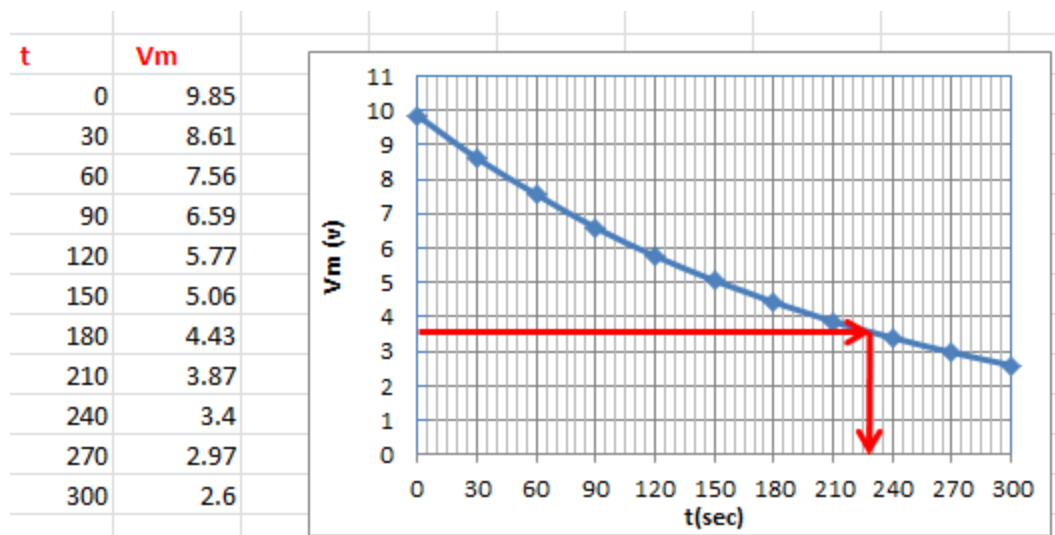
ه) بررسی رابطه ی به هم بستن موازی خازن ها

اطلاعات این بخش آزمایش در جدول ۴ بشرح زیر است.

جدول ۴

t (s)	۰	۳۰	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰	۲۱۰	۲۴۰	۲۷۰	۳۰۰
V (V)	9.85	8.61	7.56	6.59	5.77	5.06	4.43	3.87	3.4	2.97	2.6

ابتدا نمودار تغییرات اختلاف پتانسیل ثبت شده ولت متر V_m را به عنوان تابعی از زمان t در یک نمودار به کمک نرم افزار اکسل رسم می کنیم (شکل زیر).



همانطور که اشاره شد با توجه به تعریف ثابت زمانی مدار ($\tau = RC$) و رابطه زیر می توان ثابت زمانی مدار را از نمودار بالا در اختلاف پتانسیل معادل حدود 3.64 ولت به دست آورد.

$$V_m = V_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}, \quad t = \tau = RC \quad \Rightarrow \quad V_m = \frac{1}{e} V_0 = 0.37 \times 9.85 = 3.64 \text{ V}$$

لذا ثابت زمانی مدار τ برابر است با: $\tau = 232 \text{ s}$

با استفاده از ثابت زمانی مدار τ به دست آمده و مقاومت داخلی ولت متر از قسمت قبل، مقدار عملی ظرفیت خازن به دست می آید

$$\tau = \bar{R}C_{eq} \quad \Rightarrow \quad C_{eq} = \frac{232}{10.14 \times 10^6} = 22.9 \mu F$$

هم چنین مقدار نظری ظرفیت معادل خازن ها از روی مقدار خازن های اندازه گیری شده در اول آزمایش از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$C_{eq} = C_1 + C_2 \quad \Rightarrow \quad C_{eq} = 20 + 4 = 24 \mu F$$

هم چنین مقدار خطای ظرفیت معادل خازن به دست آمده عملی با مقایسه با مقدار نظری ظرفیت معادل را بشرح زیر می توان ارزیابی نمود:

$$\text{خطای ظرفیت خازن} = \left| \frac{24 - 22.9}{24} \right| \times 100 = 4.5 \%$$