

آزمایش شماره ۱۰

خازن

هدف آزمایش

- (۱) آشنایی با انواع خازن ها
- (۲) تعیین ظرفیت خازن با استفاده از کد روی آنها
- (۳) اندازه‌گیری ظرفیت خازن غیرالکترولیتی با استفاده از پل وین
- (۴) اندازه‌گیری ظرفیت خازن الکترولیتی به روش تقسیم بار
- (۵) تحقیق رابطه‌ی مربوط به خازنهای متوالی
- (۶) تحقیق رابطه‌ی مربوط به خازنهای موازی



وسایل مورد نیاز

خازن‌های مختلف، مولتی متر، آمپر متر AC، ولت متر AC، ترانسفورماتور، مقاومت، پل وین، منبع تغذیه جریان مستقیم، سیم‌های رابط

تئوری آزمایش

(۱) خازن و انواع آن

خازن وسیله‌ای است که انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کرده و ساختمان آن از دو قسمت تشکیل شده است: الف) صفحات رسانا که به آن جوشن نیز می‌گویند و از ورقه‌های نازکی از جنس آلومینیوم، روی و یا نقره ساخته می‌شوند. ب) عایق بین صفحات رسانا که به آن دی الکتریک می‌گویند. اگر اختلاف پتانسیل V بین دو

رسانا برقرار شود بارهای مساوی با علامت مخالف روی رساناهای آن قرار می‌گیرد. برای هر خازن نسبت بار روی رساناها به اختلاف پتانسیل بین رساناهای آن مقدار ثابتی است. این مقدار را ظرفیت خازن می‌نامند و با C نشان می‌دهند.

$$C = \left| \frac{q}{V} \right|$$

واحد ظرفیت در سیستم SI، فاراد F است. فاراد، واحد بزرگی است و ظرفیت خازن‌ها معمولاً برحسب μF ، $10^{-6} F$ ، $nF = 10^{-9} F$ و $pF = 10^{-12} F$ بیان می‌شود.

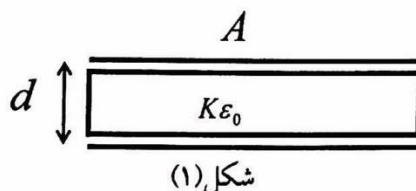
ساده‌ترین خازن از لحاظ نظری از دو صفحه رسانای تخت به مساحت A که به فاصله d از یکدیگر قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است (شکل (۱)). در این حالت ظرفیت خازن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (۲)$$

که در آن ϵ گذردهی ماده‌ی دی‌الکتریک بین صفحات خازن است. و برابر است با

$$\epsilon = K\epsilon_0 \quad (۳)$$

که در آن K ثابت دی‌الکتریک و ϵ_0 ثابت گذردهی خلأ است.



در بعضی از خازن‌ها، ظرفیت و نیز بیشترین مقدار ولتاژی که می‌توان به خازن اعمال کرد تا خازن از بین نرود، بر روی خازن نوشته شده است. ظرفیت بعضی از خازن‌ها به وسیله‌ی نوارهای رنگی و یا رمزهای عددی مشخص می‌شود. از خازن‌ها برای صاف کردن سطح تغییرات ولتاژ مستقیم و نیز به عنوان فیلتر استفاده می‌شود زیرا خازن‌ها به راحتی سیگنال‌های غیر مستقیم یا متناوب AC را عبور می‌دهند ولی مانع عبور سیگنال‌های مستقیم DC می‌شوند. خازن‌ها در انواع مختلفی به صورت ثابت یا متغیر ساخته می‌شوند. به علاوه، خازن‌ها بر اساس شکل و دی‌الکتریک به کار رفته در ساختمان آنها نام گذاری و تقسیم بندی می‌شوند.

دانشگاه بوعلی سینا

۱) خازن ثابت

این خازن‌ها دارای ظرفیت معینی هستند که در وضعیت معمولی تغییر پیدا نمی‌کند. خازن‌های ثابت بر اساس ماده‌ی دی الکتریک شان به انواع مختلف تقسیم می‌شوند.

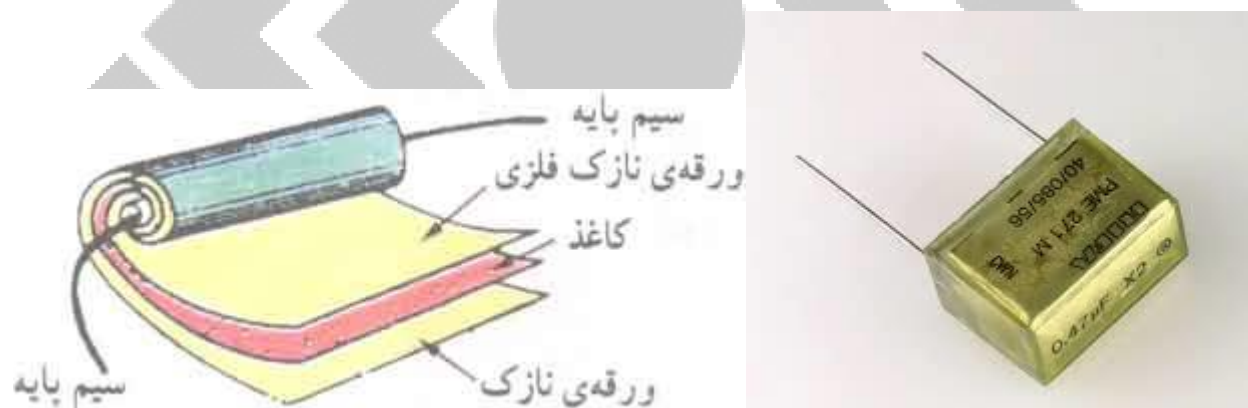
الف) خازن‌های الکتrolیتی

دی الکتریک این خازن‌ها نوعی ماده‌ی الکتrolیت است. الکتrolیت آن از فسفات یا محلول کربنات ساخته می‌شود. رساناهای این خازن‌ها معمولاً آلومینیوم یا تیتانیوم هستند این خازن‌ها بیشترین ظرفیت را در میان خازن‌ها دارند. خازن‌های الکتrolیتی قطبی بوده و دارای قطب یا پایانه‌ی مثبت و منفی هستند. روی بدنه خازن، کنار پایه‌ی منفی، علامت (-) نوشته شده است بنابراین باید طوری در مدار قرار گیرند که پایه‌ی منفی آنها به منفی منبع تغذیه و پایه‌ی مثبت به مثبت منبع تغذیه وصل شوند در غیر این صورت واکنش‌های الکتروشیمیایی درون خازن اتفاق می‌افتد که باعث معیوب شدن آن می‌گردد. مقدار واقعی ظرفیت و ولتاژ قابل تحمل آنها نیز روی بدنه درج شده است. از معایب این خازن‌ها، جریان نشتی است که پس از شارژ به طور خود به خود پس از چند دقیقه خالی می‌شوند و از مزایای آنها می‌توان به اندازه کوچک و گستره‌ی بزرگ ظرفیت آنها اشاره کرد شکل (۲) یک خازن الکتrolیتی را نشان می‌دهد.



ب) خازن‌های کاغذی

دی الکتریک این خازن‌ها از یک صفحه نازک کاغذ متخلخل تشکیل شده است که یک دی الکتریک مناسب درون آن تزریق می‌شود. جوشن‌های این خازن معمولاً از جنس قلع هستند این خازن‌ها دارای ابعاد فیزیکی بزرگی هستند و این از معایب این نوع خازن هاست، از مزایای این خازن‌ها آن است که در ولتاژها و جریان‌های زیاد می‌توان از آنها استفاده کرد. از این خازن‌ها در موتورهای الکتریکی برای تأمین اختلاف فاز و گرفتن پارازیت استفاده می‌شود. این خازن‌ها با ظرفیت‌هایی از ۲ تا ۵۰ میکروفاراد ساخته می‌شوند. نمونه‌ای از این خازن در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳)

ج) خازن‌های روغنی

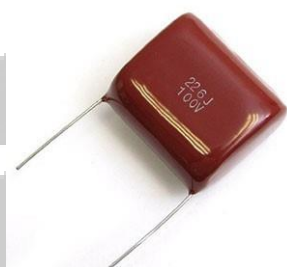
دی الکتریک این خازن‌ها از یک صفحه نازک آغشته به روغن تشکیل شده است که قدرت دی الکتریک کاغذ را بالا برده و از داغ شدن خازن جلوگیری می‌کند. این خازن‌ها از خازن الکترولیتی با ظرفیت مساوی بزرگتر اما از خازن کاغذی کوچکترند.



شکل (۴)

د) خازن‌های میکا

دی الکتریک این خازن‌ها از ورقه نازکی از میکا و جوشن آنها از قلع است. ظرفیت آنها بین ۱۰ تا ۲۰ میکرو فاراد و ولتاژ کارشان بالاست. کاربرد آنها در فرکانس صوتی و رنگ آنها قهوه ای، سبز یا آبی است.



شکل (۵)

ه) خازن‌های پلاستیکی

در این خازن از ورقه‌های نازک پلاستیک به عنوان دی الکتریک استفاده می‌شود. این خازن‌ها نسبت به تغییرات دما حساسیت زیادی ندارند و به همین دلیل در مدارهایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که احتیاج به خازنی با ظرفیت ثابت در مقابل حرارت باشد. یکی از انواع دی الکتریک‌هایی که در این خازن‌ها به کار می‌رود پلی استر است. به این نوع خازن‌ها پلی استر گفته می‌شود که از جمله رایج ترین خازن‌های پلاستیکی به شمار می‌روند و امروزه به وفور در مدارهای الکترونیکی مورد استفاده می‌گیرند. این خازن در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۶)

و) خازن‌های سرامیکی

دی الکتریک این خازن‌ها از سرامیک ساخته شده است. این خازن‌ها در الکترونیک کاربرد زیادی دارند. ظرفیت آنها در گستره‌ی پیکو تا نانوفاراد و تحمل ولتاژ آنها کم است و قطبی نیستند. بنابراین به هر شکل می‌توانند در مدار قرار گیرند. روی این خازن‌ها علائمی برای خواندن ظرفیت آنها وجود دارد. (۱) اگر روی خازن عدد یک رقمی یا دو رقمی نوشته شده باشد ظرفیت خازن همان عدد برحسب pF است. اگر عدد همراه p نوشته شده باشد باز هم ظرفیت خازن همان عدد برحسب pF است. به عنوان مثال عدد ۲۰ نماینده‌ی ظرفیت $20pF$

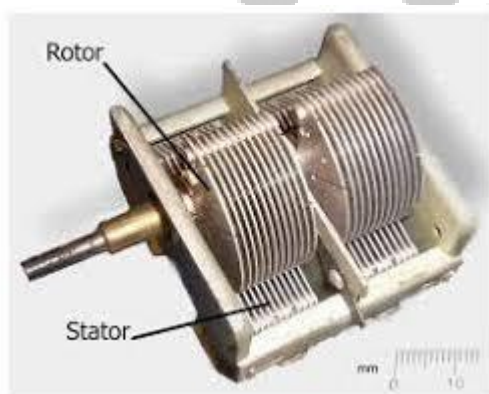
است. ۲) اگر روی خازن عدد کوچکتر از یک نوشته شده باشد ظرفیت خازن همان عدد برحسب μF است. مثلاً عدد 0.01 نماینده‌ی ظرفیت $0.01\mu F$ است. ۳) اگر روی خازن عددی و بعد از آن n نوشته شده باشد ظرفیت خازن همان عدد برحسب nF است. اگر n قبل از عدد و یا بین ارقام آن عدد نوشته شده باشد نماینده ممیز در آن است. به عنوان مثال $10nF$ به معنی ظرفیت $10nF$ ، $33n$ به معنی ظرفیت $0.33nF$ و $2n2$ به معنی ظرفیت $2/2nF$ است. ۴) اگر روی خازن عدد سه رقمی نوشته شده باشد، دو رقم اول ظرفیت را نشان می‌دهند و سومین رقم تعداد صفری است که باید بعد از ارقام فوق قرار داد و واحد آن pF است. مثلاً اگر روی خازنی 473 نوشته شده باشد مقدار ظرفیت آن $47000pF$ است. تعدادی از این خازنها در شکل (۷) نشان داده شده اند.



شکل (۷)

۲) خازن‌های متغیر

با تغییر فاصله‌ی بین صفحات، سطح صفحات و نوع دی الکتریک می‌توان ظرفیت خازن را تغییر داد. به رابطه (۲) توجه کنید. اساس کار خازن‌های متغیر بر مبنای تغییر سطح مشترک صفحات خازن یا تغییر ضخامت دی الکتریک است. خازن‌های متغیر عموماً دارای دی الکتریک هوا یا پلاستیک هستند و در موج یاب رادیو به کار می‌روند. شکل (۸) چند نوع خازن متغیر را نشان می‌دهد. در بعضی از خازن‌های متغیر، تغییر ظرفیت توسط دسته‌ی متحرک (محور) انجام می‌شود. به این خازن‌ها واریابل گفته می‌شود. در بعضی دیگر، تغییر ظرفیت توسط پیچ گوهی انجام می‌شود. به این خازن‌ها تریمر گفته می‌شود.



شکل (۸)

۲) پل وین

با استفاده از پل وین می‌توان ظرفیت خازن مجهول را اندازه‌گیری کرد. این پل که در شکل (۹) نشان داده شده است توسط جریان متناوب تغذیه می‌شود. در این پل V یک ترانسفورماتور جریان متناوب، C خازن غیر الکترولیتی با ظرفیت معلوم، C_x خازن غیر الکترولیتی با ظرفیت مجهول، AB یک رشته سیم یکنواخت به طول L است. N لغزنده‌ای است که می‌تواند روی سیم بلغزد و آن را همواره به دو قسمت x و $l-x$ (با مقاومتهایی متناظر با این دو طول) تقسیم کند. بین نقطه M و N یک ولت‌متر جریان متناوب قرار دارد. با تغییر مکان لغزنده می‌توان اختلاف پتانسیل بین دو نقطه M و N را صفر کرد. در این حالت اختلاف پتانسیل AM با اختلاف پتانسیل AN برابر است. همچنین اختلاف پتانسیل BM با اختلاف پتانسیل BN برابر است. بنابراین می‌توان نوشت:

$$V_{AN} = V_{AM} \quad (۴)$$

$$V_{BN} = V_{BM} \quad (۵)$$

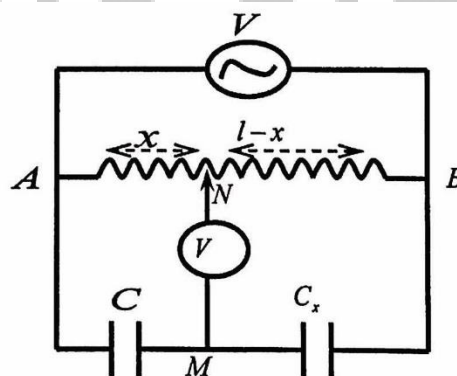
و یا

$$R_{AN}I_1 = \frac{I_2}{C\omega} \quad (۶)$$

$$R_{AN}I_1 = \frac{I_2}{C_x\omega} \quad (۷)$$

که I_1 و I_2 به ترتیب جریان‌هایی که از سیم AB و خازن‌ها می‌گذرند. از تقسیم روابط (۶) و (۷) می‌توان ظرفیت خازن مجهول را به صورت زیر به دست آورد:

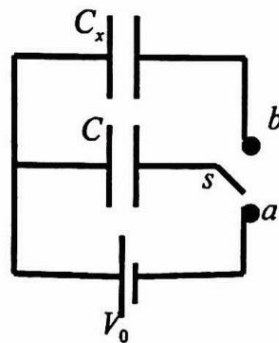
$$C_x = C \frac{x}{l-x}$$



شکل (۹)

روش تقسیم بار

در این روش ابتدا کلید S در وضعیت a است و خازن معلوم C توسط باتری $\mathcal{E}$ شارژ می‌شود. به شکل (۱۰) مراجعه کنید. در این حالت بار روی خازن C برابر است با



شکل (۱۰)

$$q_0 = C\mathcal{E} \quad (9)$$

سپس کلید S به وضعیت b برده می‌شود و خازن معلوم C از باتری جدا شده و به خازن مجهول C_x متصل می‌شود. در این وضعیت قسمتی از بار روی خازن C به خازن مجهول C_x منتقل می‌شود. از قانون بقای بار الکتریکی داریم:

$$q_0 = q + q_x \quad (10)$$

q بار روی خازن C و q_x بار روی خازن C_x پس از تقسیم بار است. به علاوه پس از تقسیم بار اختلاف پتانسیل دو خازن‌ها با هم برابر است و داریم:

$$V = \frac{q}{C} = \frac{q_x}{C_x} \quad (11)$$

با حذف q_x از روابط (۱۰) و (۱۱) و با جایگذاری q_0 از رابطه (۹) ظرفیت خازن مجهول به صورت زیر به دست می‌آید:

$$C_x = \frac{\mathcal{E}-V}{V} C \quad (12)$$

دانشگاه بوعلی سینا

۳) خازن‌های متوالی و موازی

هرگاه مطابق شکل (۱۱-الف) خازن‌های C_1 ، C_2 ، C_3 را به طور متوالی به یکدیگر ببندیم و آنها را به اختلاف پتانسیل V وصل کنیم بار الکتریکی روی خازن‌ها یکسان است و داریم:

$$V = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3} \quad (۱۳)$$

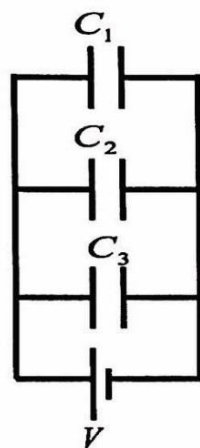
با جایگذاری رابطه $V = \frac{q}{C}$ در سمت چپ رابطه فوق، ظرفیت معادل آنها از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (۱۴)$$

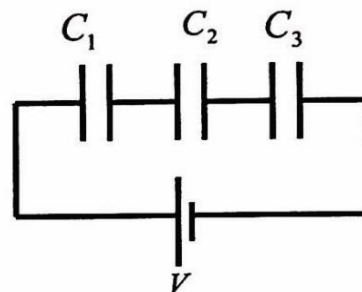
و به طور کلی برای n خازن متوالی خواهیم داشت:

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (۱۵)$$

هرگاه مطابق شکل (۱۱-ب) خازن‌های C_1 ، C_2 ، C_3 را به طور موازی به یکدیگر ببندیم و آنها را به اختلاف پتانسیل V وصل کنیم در این صورت با استفاده از قانون بقای بار الکتریکی داریم:



(ب)



(الف)

شکل (۱۱)

$$q = q_1 + q_2 + q_3 \quad (۱۶)$$

از آنجا که اختلاف پتانسیل دو سر خازن‌ها یکسان است، و با توجه به رابطه‌ی $q = CV$ خواهیم داشت:

$$CV = C_1V + C_2V + C_3V \quad (۱۷)$$

با حذف V از طرفین رابطه فوق ظرفیت معادل به صورت زیر به دست می‌آید:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (۱۸)$$

و به طور کلی برای n خازن موازی خواهیم داشت:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i \quad (19)$$

روش آزمایش

(۱) اندازه‌گیری ظرفیت خازن به کمک خازن سنج و نیز کد روی آنها

ابتدا ظرفیت ۴ خازن را با استفاده از کد روی خازن‌ها، تعیین کرده و در جدول (۱) یادداشت نمایید. سپس ظرفیت این خازن‌ها را به کمک خازن سنج اندازه‌گیری کرده و در جدول (۱) بنویسید. در نهایت درصد خطای نسبی را در هر مورد به دست آورده و در جدول (۱) یادداشت نمایید.

۴	۳	۲	۱	
				کد روی خازن
				ظرفیت خازن (از روی کدهای روی آن)
				ظرفیت خازن (با خازن سنج)
				درصد خطای نسبی

جدول (۱)

(۲) اندازه‌گیری ظرفیت خازن غیر الکترولیتی به کمک پل وین

مداری مطابق شکل (۹) ببندید، بین نقاط M و N یک ولتمتر (یا آمپر متر) برای اندازه‌گیری ولتاژ متناوب قرار دهید. طول سیم AB را اندازه گرفته و دو سر آن را به منبع جریان متناوب ۶ ولت وصل کنید. بین نقاط M, A خازن معلوم C و بین نقاط M, B خازن مجهول C_x را قرار دهید. منبع تغذیه جریان متناوب (ترانسفورماتور) را روشن کنید. لغزنده N را آنقدر جابجا کنید تا ولتمتر اختلاف پتانسیل صفر را نشان دهد. در این حالت طول x را اندازه گرفته و در جدول (۲) بنویسید. سپس از رابطه (۸) ظرفیت خازن مجهول C_x را به دست آورده و در جدول (۲) یادداشت نمایید. همین عمل را برای دو خازن دیگر تکرار کرده و نتایج را در جدول (۲) بنویسید.

تعداد آزمایش	x	l-x	C_x (پل وین)
۱			
۲			
۳			

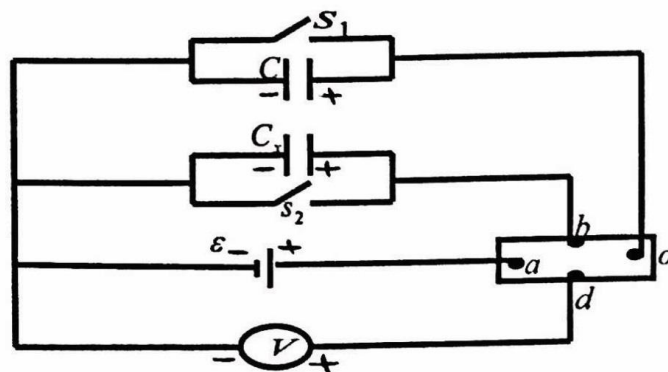
جدول (۲)

۳) تحقیق روابط مربوط به خازن‌های متوالی و موازی

اینک ۳ خازن آزمایش قبل را به طور متوالی ببندید و ابتدا ظرفیت آن را از رابطه‌ی (۱۱) به دست آورده و در جدول (۳) بنویسید. سپس (با نظر استاد) ظرفیت آن را با استفاده از پل وین و یا خازن سنج تعیین کرده و در جدول (۳) یادداشت کنید.

	C_{x1}	C_{x2}	C_{x3}	C معادل (تئوری)	C معادل (اندازه‌گیری شده)
متوالی					
موازی					

جدول (۳)



شکل (۱۲)

۴) اندازه‌گیری ظرفیت خازن الکترولیتی به روش تقسیم بار

مداری مطابق شکل (۱۲) ببندید و آن را به استاد آزمایشگاه نشان دهید. پس از تأیید مدار توسط استاد، به ترتیب زیر عمل نمایید. (۱) ابتدا کلیدهای S_1 و S_2 را فشار دهید تا بار احتمالی خازن‌ها تخلیه شود. (۲) نقطه o را به نقطه a ارتباط دهید تا خازن C شارژ شود. (۳) نقطه o را به نقطه d ارتباط دهید و ولتاژ آن ($\mathcal{E}$) را از روی ولت‌متر بخوانید. (۴) نقطه o را به نقطه b ارتباط دهید تا بار خازن C ، بین خودش و خازن مجهول C_x تقسیم شود.

(۵) نهایتاً نقطه o را به نقطه d ارتباط دهید و ولتاژ نهایی آن (V) را از روی ولت‌متر بخوانید. مقادیر C, V, ε را در جدول (۳) نوشته و با استفاده از رابطه (۱۲) ظرفیت خازن مجهول را به دست آورید. آزمایش را برای دو خازن مجهول دیگر تکرار کرده و مقادیر را در جدول (۴) یادداشت کنید. به علاوه ظرفیت خازن‌ها را با خازن سنج (مولتی متر) اندازه‌گیری کرده و در ستون آخر جدول (۴) بنویسید.

تعداد آزمایش	ε	V	C	C_x (تقسیم بار)	C_x (مولتی متر)
۱					
۲					
۳					

جدول (۴)

محاسبات، بررسی نتایج، پرسش‌ها

- علل خطا در آزمایش پل وین را بیان کنید.
- با استفاده از مقادیر به دست آمده از جدول (۲) درصد خطای اندازه‌گیری شده را برای هر خازن محاسبه کنید.
- با استفاده از مقادیر به دست آمده از جدول (۳) صحت روابط (۱۱) و (۱۵) را تحقیق کنید.
- با استفاده از مقادیر به دست آمده از جدول (۳) درصد خطای اندازه‌گیری را برای هر دو طریقه بهم بستن متوالی و موازی محاسبه کنید.
- با استفاده از مقادیر به دست آمده از جدول (۴) درصد خطای اندازه‌گیری را برای هر خازن محاسبه کنید.

دانشگاه بوعلی سینا