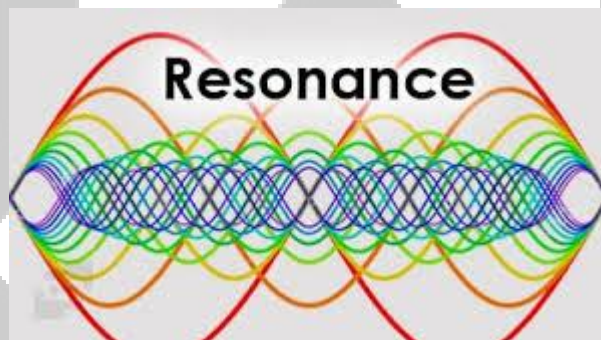


آزمایش شماره ۱۷

مدار RLC



هدف آزمایش

- (۱) مطالعه مدار ساده جریان متناوب
- (۲) تعیین مقاومت ظاهری (Impedance) مدار RLC
- (۳) مطالعه اختلاف فاز در مدارهای جریان متناوب
- (۴) بررسی حالت تشدید در RLC

وسایل مورد نیاز

مقاومت، خازن غیرالکتrolیتی، سیم پیچ (القاگر)، آمپر متر، ولت متر، رئوستا، کلید، دستگاه موج ساز، منبع تغذیه، نوسان نما، سیم‌های رابط

تئوری آزمایش

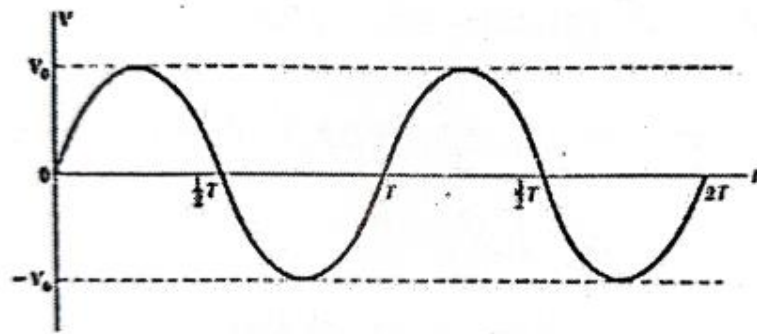
(۱) جریان متناوب

در جریان مستقیم (DC) مقدار و جهت جریان الکتریکی در مدار ثابت است، در حالی که در جریان متناوب (AC) اندازه و جهت جریان در فواصل زمانی منظم تغییر می‌کند. معمول‌ترین جریان متناوب، جریان متناوب سینوسی است که تابع ولتاژ آن بر حسب زمان به صورت زیر تغییر می‌کند.

$$V(t) = V_0 \sin \omega t = V_0 \sin \left(\frac{2\pi}{T} t \right) \quad (1)$$

که در آن V_0 بیشترین مقدار ولتاژ، ω بسامد زاویه‌ای تغییرات ولتاژ و T زمان تناوب آن است. بستگی ولتاژ بر حسب زمان در شکل (۱) نشان داده شده است. البته همان‌طور که در آزمایش ۱۴ تشریح شد ولت‌مترها و

آمپرترهای جریان متناوب به ترتیب V_{eff} و I_{eff} را که مقدار مؤثر ولتاژ و جریان نامیده می‌شوند، اندازه می‌گیرند. مقدار ولتاژ مؤثر برابر با $V_{eff} = V_0/\sqrt{2}$ است.



(شکل ۱)

هرگاه ولتاژ متناوبی به دو سر یک قطعه الکتریکی متصل شود جریان متناوبی از آن می‌گذرد. اگر این عنصر یک مقاومت باشد جریان الکتریکی گذرنده از آن بر اساس قانون اهم برابر است با:

$$I(t) = (V_0/R) \sin \omega t \quad (2)$$

در این حالت جریان الکتریکی نیز متناوب و با ولتاژ هم فاز است. در مدارهای شامل خازن و القاگر وضعیت به گونه‌ی دیگری است. به عنوان مثال اگر خازنی با ظرفیت C را به منبع تغذیه متناوب وصل کنیم، در آن صورت بار لحظه‌ای خازن از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V_0 \sin \omega t = q/C \quad (3)$$

با توجه به این که $I = dq/dt$ است، با مشتق‌گیری از رابطه بالا خواهیم داشت:

$$I(t) = V_0 C \omega \cos(\omega t) = V_0 C \omega \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (4)$$

که I جریان الکتریکی در مدار است. از رابطه‌ی بالا می‌توان دریافت: الف) جریان الکتریکی و ولتاژ مدار با یکدیگر اختلاف فاز دارند و جریان الکتریکی به اندازه $(\pi/2)$ نسبت به ولتاژ تقدم فاز دارد. ب) قراردادن خازن در مدار، معادل قراردادن مقاومتی برابر $(\frac{1}{C\omega})$ در مدار است. $(\frac{1}{C\omega})$ که بعد مقاومت دارد، مقاومت ظرفیت خازن (Capacitive Reactance) (X_c) نامیده می‌شود. به بیان ریاضی داریم:

$$X_c = \frac{1}{C\omega} \quad (5)$$

اگر به جای خازن یک القاگر با القاییدگی L قرار دهیم، داریم:

$$V_0 \sin \omega t = -L \frac{dI}{dt} \quad (6)$$

با انتگرال‌گیری از رابطه‌ی بالا خواهیم داشت:

$$I(t) = \frac{V_0}{L\omega} \cos \omega t = \frac{V_0}{L\omega} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (7)$$

در این حالت نیز جریان مدار سینوسی است اما با ولتاژ اختلاف فاز دارد. جریان الکتریکی به اندازه $(\pi/2)$ نسبت به ولتاژ تأخیر فاز دارد. به علاوه قراردادن القاگر در مدار، معادل قراردادن مقاومتی برابر با $(L\omega)$ در مدار است. $L\omega$ که بعد مقاومت دارد، مقاومت القایی (Inductive Reactance) القاگر (X_L) نامیده می‌شود. به بیان ریاضی داریم:

$$X_L = L\omega \quad (8)$$

۲) مدار مقاومت - خازن - القاگر (RLC)

هنگامی که ولتاژ $V = V_m \sin \omega t$ به دو سر مدار تک حلقه‌ای که شامل خازن، القاگر و مقاومت است اعمال شود، ولتاژ مؤثر دو سر هر یک از قطعات مدار از روابط زیر به دست می‌آیند:

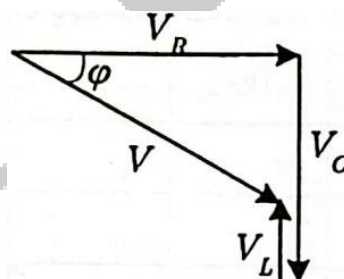
$$V_R = IR \quad V_C = IX_C \quad V_L = IX_L \quad (9)$$

که در آن V_R ، V_C و V_L به ترتیب اختلاف پتانسیل لحظه‌ای دو سر مقاومت، خازن و القاگر هستند. بدیهی است جمع سه ولتاژ فوق برابر با ولتاژ منبع نسبت به ولتاژ فوق هم فاز نیستند. ولتاژ خازن به اندازه $(\pi/2)$ نسبت به جریان تأخیر فاز دارد و ولتاژ دو سر القاگر به اندازه $(\pi/2)$ تقدم فاز دارد. بنابراین در جمع مقادیر فوق باید این نکته را در نظر گرفت. برای این منظور روشی آسان وجود دارد. به این ترتیب اگر V_R را که هم‌فاز با جریان است در امتداد افقی رسم کنیم، V_L را باید در امتداد قائم به سمت بالا و V_C را در امتداد قائم به سمت پایین در نظر بگیریم. سپس ولتاژهای دو سر هر قطعه را یک بردار در نظر گرفته و برای جمع سه بردار، مطابق شکل (۲) به صورت زیر عمل نماییم:

$$V = V_R^2 + (V_L - V_C)^2 \quad (10)$$

همچنین اختلاف فاز ولتاژ منبع نسبت به جریان مدار با توجه به شکل (۲) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\tan \varphi = \frac{V_L - V_C}{V_R} \quad (11)$$



(شکل ۲)

با جایگذاری V_R ، V_C و V_L از رابطه (۹) و در روابط (۱۰) و (۱۱) خواهیم داشت:

$$V = I[R^2 + (X_L - X_C)^2]^{1/2} \quad (۱۲)$$

$$\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} \quad (۱۳)$$

ضریب I در رابطه (۱۲) مقاومت ظاهری (امپدانس) مدار نامیده و با Z نشان داده می‌شود.

$$Z = [R^2 + (X_L - X_C)^2]^{1/2} \quad (۱۴)$$

۳) تشدید در مدار RLC

از روابط (۱۲) و (۱۳) ملاحظه می‌شود اگر X_L و X_C برابر شوند نه تنها مقاومت مدار، کمترین مقدار و جریان مدار، بیشترین مقدار خود را خواهد داشت، بلکه ولتاژ و جریان مدار هم فاز خواهند شد. این حالت را تشدید (Resonance) در مدار RLC می‌گویند. در حالت تشدید، مدار بیشترین توان را مصرف می‌کند. در حالت تشدید از شرط $X_C = X_L$ خواهیم داشت:

$$L\omega = \frac{1}{C\omega} \quad (۱۵)$$

و یا

$$LC\omega^2 = 1 \quad (۱۶)$$

که ω بسامد طبیعی مدار است. برای ایجاد تشدید در مدار می‌توان القایدگی، ظرفیت خازن یا بسامد ولتاژ را تغییر داد. تشدید در مدارهای الکترونیکی از اهمیت بسیاری برخوردار است. به عنوان مثال در رادیو برای دریافت بسامد خاص که مربوط به فرستنده است ظرفیت خازن متغیر را چنان تغییر می‌دهند که برای آن بسامد خاص، حالت تشدید اتفاق بیفتد.

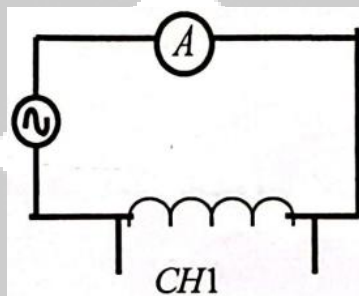
روش آزمایش

۱) محاسبه مقاومت القایی القاگر

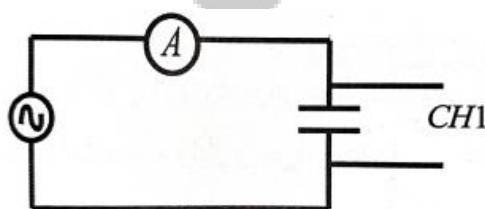
القاگری با القایدگی بزرگ را مطابق شکل (۳) به دستگاه موج‌ساز متصل کنید. برای اندازه‌گیری جریان، یک آمپر متر میلی‌آمپری را در مسیر جریان قرار دهید و برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل دو سر القاگر، دو سر آن را به کانال ۱ نوسان‌نما وصل کنید. برای بسامدهای ۳۰ الی ۱۰۰ هرتز در قدم‌های ۱۰ هرتزی، ولتاژ دو سر القاگر و جریان مدار را اندازه بگیرید و در جدول (۱) یادداشت کنید.

۲۴۰	۲۲۰	۲۰۰	۱۸۰	۱۶۰	۱۴۰	۱۲۰	۱۰۰	f(Hz)
								$\omega = 2\pi f$
								I(mA)
								$V_L(Volt)$
								$X_L(k\Omega)$

جدول (۱)



(شکل ۳)



(شکل ۴)

۲ محاسبه مقاومت ظرفیتی خازن

خازن غیرالکتrolیتی ۵ میکروفارادی را مطابق شکل (۴) به دستگاه موج‌ساز متصل کنید. برای اندازه‌گیری جریان، یک آمپر متر میلی‌آمپری را در مسیر جریان قرار دهید و برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل دو سر خازن، دو سر آن را به کانال ۱ نوسان‌نما وصل کنید. برای بسامدهای ۵۰ الی ۳۰۰ هرتز در قدم‌های ۵۰ هرتزی، ولتاژ خازن و جریان مدار را اندازه بگیرید و در جدول (۲) یادداشت کنید.

۳۵۰	۳۰۰	۲۵۰	۲۰۰	۱۵۰	۱۰۰	f(Hz)
						$\omega = 2\pi f$
						I(mA)
						$V_L(Volt)$
						$X_L(k\Omega)$

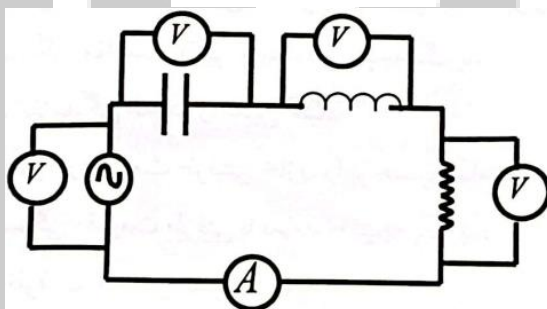
جدول (۲)

۳) تعیین مقاومت ظاهری (Impedance) مدار RLC

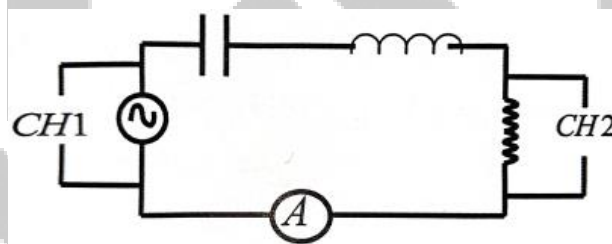
با استفاده از دستگاه موج‌ساز، مقاومت، خازن و القاگر مدار شکل (۵) را ببندید. برای اندازه‌گیری جریان، یک آمپر متر میلی آمپری را در مسیر جریان قرار دهید و برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل دو سر هر یک از قطعات و نیز ولتاژ دستگاه از ولت‌متر با مقاومت داخلی زیاد استفاده کنید. مقادیر اندازه‌گیری شده را در جدول (۳) یادداشت کنید. با استفاده از این مقادیر مقاومت ظاهری را اندازه‌گیری کرده و در جدول (۳) بنویسید.

Z	X_L	X_C	R	I	V_L	V_C	V_R	V	F
$k\Omega$	$k\Omega$	$k\Omega$	$k\Omega$	mA	$Volt$	$Volt$	$Volt$	$Volt$	Hz

جدول (۳)



شکل (۵)



شکل (۶)

۴) تعیین اختلاف فاز در مدارهای جریان متناوب

برای مشاهده اختلاف فاز در مدار RLC دو سر دستگاه موج‌ساز را به کانال ۱ نوسان‌نما و دو سر مقاومت را به کانال ۲ آن متصل کنید. به شکل (۶) توجه کنید. کلید Mode را در وضعیت Auto قرار دهید. دستگاه را بر روی بسامد مناسبی تنظیم کرده و دامنه و بسامد موج هر دو کانال را اندازه‌گرفته و در جدول (۴) یادداشت کنید. اختلاف فاز دو موج را از رابطه $(\varphi = 2\pi \frac{t}{T})$ به‌دست آورده و در جدول (۴) بنویسید. آزمایش را برای سه بسامد دیگر تکرار کرده و مقادیر به‌دست آمده را در جدول (۴) یادداشت نمایید.

φ	V_R/V	$V_R(Volt)$	$V(Volt)$	$\omega = 2\pi f$	$f(Hz)$

جدول (۴)

۵) تشدید در مدار RLC

برای مشاهده بسامد تشدید بسامد دستگاه را آن قدر تغییر دهید که بیضی به خط تبدیل شود به طوری که با تغییر بسیار کم بسامد دوباره به بیضی تبدیل شود.

محاسبات، بررسی نتایج، پرسش‌ها

۱) با استفاده از مقادیر جدول (۱) نمودار مقاومت القایی القاگر را بر حسب بسامد بر روی کاغذ میلی‌متری رسم کنید.

۲) با استفاده از نمودار فوق نوع بستگی مقاومت القایی با بسامد را نتیجه بگیرید.

۳) با استفاده از شیب نمودار فوق القاییدگی القاگر را تعیین کنید.

۴) با استفاده از مقادیر جدول (۲) نمودار مقاومت ظرفیتی خازن را بر حسب بسامد بر روی کاغذ میلی‌متری رسم کنید.

۵) با استفاده از نمودار فوق نوع بستگی مقاومت ظرفیتی با بسامد را نتیجه بگیرید.

۶) با استفاده از شیب نمودار فوق ظرفیت خازن را تعیین کنید.

۷) با استفاده از مقادیر V ، V_R ، V_C و V_L از جدول (۳) رابطه (۱۰) را تحقیق کنید.

۸) با استفاده از مقادیر Z ، R ، X_C و X_L از جدول (۳) رابطه (۱۲) را تحقیق کنید.

۹) با استفاده از مقادیر V و V_R از جدول (۴)، اختلاف فاز دو موج را با توجه به شکل (۲) و از رابطه (۱) محاسبه کرده و با مقادیر φ از همین جدول مقایسه کنید.

۱۰) ثابت کنید X_L و X_C دارای بعد مقاومت هستند.