

آزمایشگاه فیزیک 2-آزمایش 9: مقاومت، خازن و القاگر در مدارهای AC

تئوری آزمایش:

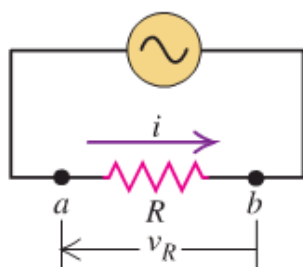
جریان متناوب (AC) جریان الکتریکی‌ای است که در آن اندازه جریان به صورت چرخه‌ای تغییر می‌کند؛ بر خلاف جریان مستقیم که در آن اندازه جریان مقدار ثابتی می‌ماند. برق تحویل داده شده به شرکت‌های تجاری و منازل مسکونی به صورت متناوب است. شکل یک مدار AC معمولاً به صورت یک موج سینوسی کامل است ولی در کاربردهای خاص ممکن است شکل موج‌های مختلفی مانند امواج مثلثی یا مربعی استفاده شود.

بسیاری از مطالبی که درباره مدارهای جریان مستقیم (DC) می‌دانیم، در مدارهای جریان متناوب (AC) نیز قابل استفاده‌اند. اما پیچیده‌ها و خازن‌ها در مدارهای AC خواص متفاوتی از خود نشان می‌دهند. در این آزمایش طرز رفتار مقاومت‌ها، خازن‌ها و پیچیده‌های القاگر را تحت شرایط جریان متناوب بررسی خواهیم کرد.

الف) مقاومت در مدارهای AC

مقاومت R متصل به چشمه‌ی ac

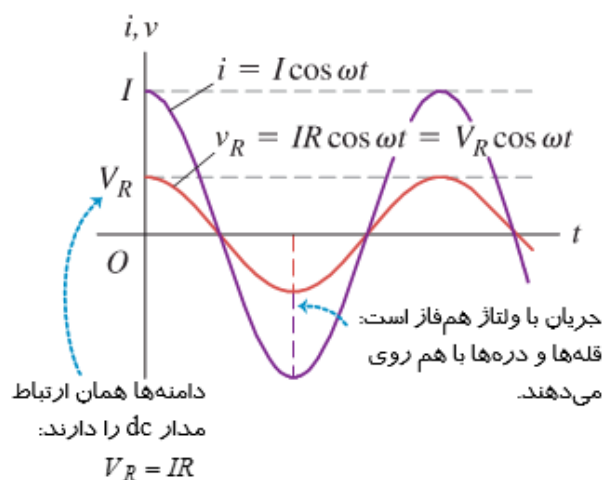
(الف) مدار با منبع ac و مقاومت



یک مدار ساده AC شامل مقاومت و منبع تغذیه در شکل مقابل نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است جریان و ولتاژ در مدار AC که شامل یک مقاومت می‌شود، هم فاز هستند. همچنین در هر لحظه، قانون اهم برای مقاومت برقرار است. یعنی:

$$V = IR \quad (1)$$

(ب) نمودارهای جریان و ولتاژ بر حسب زمان



از آنجا که ولت سنچ و آمپرسنچ در حالت AC همواره مقدار موثر (r.m.s) را نشان می‌دهند، می‌توان نوشت:

$$V_{rms} = IR_{rms} \quad (2)$$

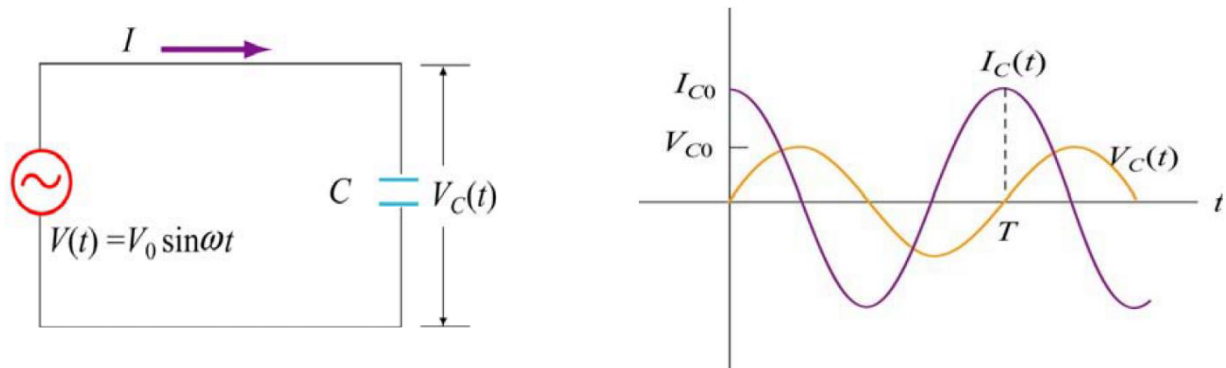
ب) خازن در مدارهای AC

در شکل زیر مدار ساده AC شامل یک خازن نشان داده شده است. چنانچه ولتاژ دو سر خازن به صورت $V(t) = V_0 \sin \omega t$ باشد، داریم:

$$Q(t) = CV(t) = CV_0 \sin \omega t \quad (3)$$

$$I(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = CV_0 \cos \omega t \quad (4)$$

بنابراین هنگامی که یک خازن تحت یک ولتاژ متناوب قرار می‌گیرد، جریان و ولتاژ به اندازه $\pi/2$ با هم اختلاف فاز دارند. همانطور که از شکل زیر مشخص است، ولتاژ دو سر خازن همواره به اندازه $1/4$ دوره تناوب از جریان عبوری عقب تر است.



روشن است که خازن همیشه با عبور جریان مخالفت می‌کند. مثلاً در یک مدار DC خازن عبور جریان را کاملاً متوقف می‌کند. این خاصیت با مقاومت ظاهری خازن نشان داده می‌شود. مقاومت خازن را با X_c نمایش می‌دهند و با ظرفیت (C) و بسامد چشمه ولتاژ (f) به صورت زیر ارتباط دارد:

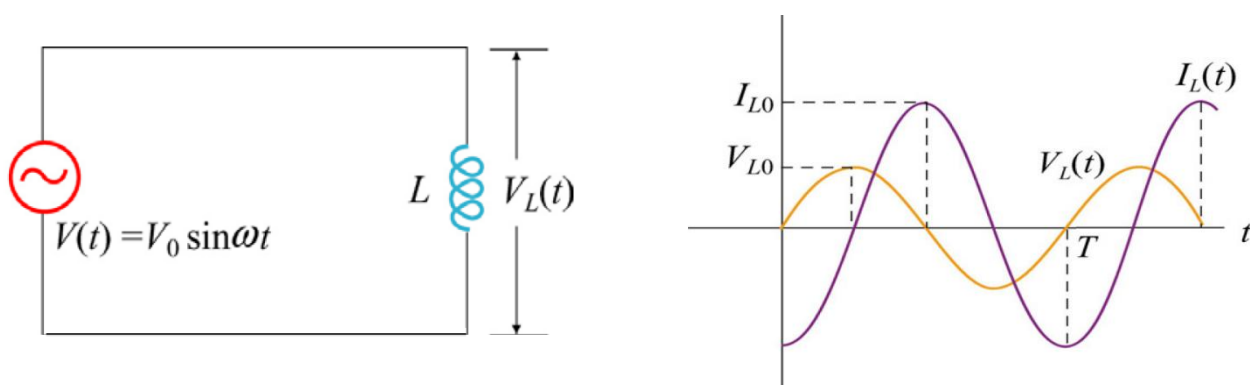
$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} \quad (5)$$

یکای این کمیت همان اهم (Ω) است. رابطه بین ولتاژ و جریان موثر مدار نیز به صورت زیر بیان می‌شود.

$$V_{rms} = X_c I_{rms} \quad (6)$$

ج) پیچه (القاگر) در مدارهای AC

در شکل زیر یک القاگر متصل به یک چشمه ولتاژ AC، نشان داده شده است. هنگامی که جریان گذرنده از یک پیچه در حال تغییر باشد یک نیروی محرکه خودالقا در پیچه تولید می‌شود که با تغییر جریان مخالفت می‌کند. یعنی ولتاژ سینوسی باعث عبور جریانی سینوسی از مدار می‌شود اما نیروی محرکه القا شده در پیچه با تغییر جریان مخالفت می‌کند. در نتیجه این امر، عبور جریان از مدار به تاخیر می‌افتد؛ به طوری که در مدار القاگر ولتاژ دو سر القاگر از جریان مدار به مقدار $(1/4)$ چرخه (سیکل) جلوتر است.



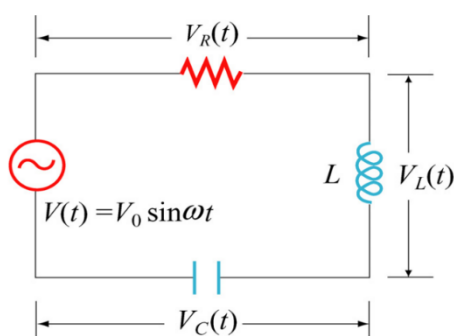
در اینجا هم مانند مدارهای R و C با نوعی مقاومت رو به رو هستیم که آن را مقاومت ظاهری القایی می‌نامند. این کمیت را با X_L نمایش می‌دهیم با ضریب خودالقایی (L) و بسامد چشمه ولتاژ به صورت زیر ارتباط دارد.

$$X_L = 2\pi fL \quad (7)$$

یکای این کمیت نیز اهم (Ω) است. رابطه بین ولتاژ و جریان موثر مدار نیز به صورت زیر بیان می‌شود.

$$V_{rms} = X_L I_{rms} \quad (8)$$

د) مدار RLC متوالی



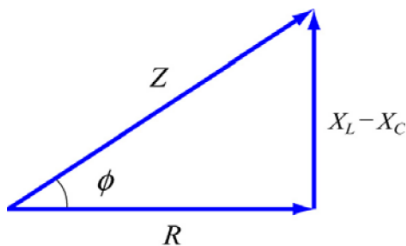
برای یک مدار RLC متوالی مانند شکل مقابل، مقاومت ظاهری به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (9)$$

در نتیجه رابطه بین ولتاژ و جریان موثر مدار (که توسط ولت‌متر و آمپر‌متر AC قابل اندازه‌گیری است) به صورت زیر بیان می‌شود:

$$V_{rms} = I_{rms} Z \quad (10)$$

توجه کنید که در اینجا هم به شکلی از قانون اهم می‌رسیم که در آن به جای R ، عامل ریشه دوم قرار گرفته است.



همچنین اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ نیز به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\phi = \text{Arctan} \left(\frac{X_L - X_C}{R} \right) \quad (10)$$

به طوری که:

$$V(t) = V_0 \sin \omega t \quad , \quad I(t) = \frac{V_0}{Z} \sin(\omega t - \phi) \quad (11)$$

ه) تشدید در مدارهای متوالی RCL

طبق رابطه (10) هنگامی که Z کمترین مقدار خود را دارد، I به بیشترین مقدار خود می‌رسد. همانطور که از رابطه (9) مشخص است، این شرایط به ازای $X_L = X_C$ رخ می‌دهد. در این حالت گفته می‌شود مدار در حالت تشدید قرار دارد. با توجه به تعریف X_L, X_C بسامد تشدید در مدار RLC متوالی عبارتست از:

$$X_L = X_C \rightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C} \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (12)$$

و) عناصر متوالی R, L, C در مدارهای AC

با توجه به موارد ب و ج در مدارهای AC ولتاژهای V_c, V_L نسبت به یکدیگر 180 درجه اختلاف فاز دارند و در نتیجه علامت‌های مختلفی دارند. به همین دلیل این ولتاژها متقابلاً اثر یکدیگر را تخریب می‌کنند. از

آنجا که ولت سنج‌های AC همیشه مقادیری مثبت را نشان می‌دهند، حاصل جمع ولتاژها در یک حلقه RLC که تحت یک ولتاژ متناوب قرار دارد، صفر نمی‌شود. از این رو قاعده کیرشهف را نمی‌توان برای حاصل جمع ولتاژهای اندازه‌گیری شده توسط ولت سنج‌های AC نوشت.

در مدارهای AC ولتاژ اندازه‌گیری شده در دو انتهای دو مولفه مدار متوالی، با حاصل جمع ولتاژهای این دو مولفه برابر نیست. به عنوان نمونه در مدار AC، ولت سنجی که به دوسر مجموعه متوالی یک القاگر (سلف) و یک خازن وصل شده است، مقداری معادل $|V_c - V_L|$ را نشان می‌دهد. به طور کلی در یک مجموعه AC، اگر V_L, V_c و V_R مقادیر موثر ولتاژ در القاگر، خازن و مقاومت باشد، ولتاژ موثر V_{rms} در دوسر مجموعه RCL از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$V = \sqrt{V_R^2 - (V_L - V_c)^2} \quad (13)$$

ی) توان مصرف شده در مدارهای AC

میانگین زمانی توان مصرف شده در مدار RLC متوالی که تحت ولتاژ AC قرار دارد، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\langle P(t) \rangle = I_{rms} V_{rms} \cos \phi \quad (14)$$

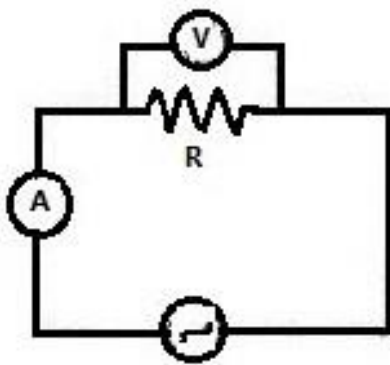
کمیت $\cos \phi$ ضریب توان نام دارد که عبارتست از:

$$\cos \phi = \frac{R}{Z} \quad (15)$$

همانطور که مشخص است هنگامی که $\cos \phi = 1$ و یا $Z = R$ باشد، مدار در حالت تشدید قرار گرفته و $\langle P(t) \rangle$ به بیشینه مقدار خود می‌رسد.

اجرای آزمایش :

(الف)



1) مدار مقابل بسته شده است. به ازای ولتاژهای مختلف، جریان مدار اندازه گرفته شده است. نتایج در بخش داده‌ها آمده‌اند. با استفاده از این داده‌ها جدول زیر را کامل کنید.

(جدول 1) $R = 50\Omega$

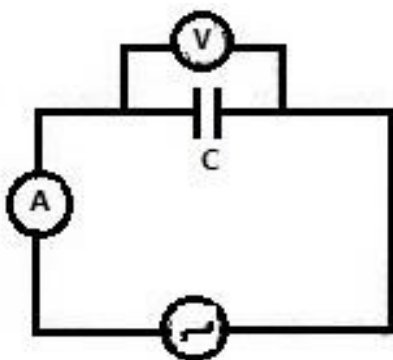
$V (v)$			
$I (mA)$			
IR			

2) درستی رابطه $V = IR$ را تحقیق کنید.

(ب)

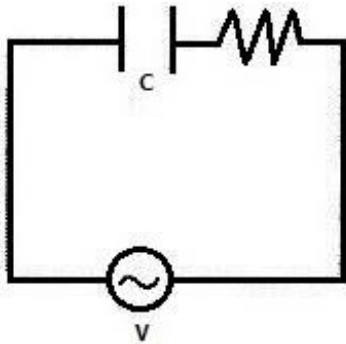
1) در مدار اول به جای R ، خازن C را قرار داده و به ازای بسامدهای مختلف، منبع ولتاژ و جریان مدار را اندازه می‌گیریم. نتایج در بخش داده‌ها آمده‌اند. با استفاده از این داده‌ها جدول زیر را کامل کنید.

(جدول 2) $C = 10\mu f$



$f (Hz)$	100	500	1000
$I (mA)$			
X_c			
$X_c I$			
v			

2) درستی رابطه $V = X_c I$ را برای هر فرکانس تحقیق کنید.



(3) با قرار دادن مقاومت R به طور متوالی با خازن مدار RC را تشکیل می دهیم.

$$R = 50\Omega \quad , \quad C = 10\mu f$$

(4) به ازای بسامدهای زیر V_R و V_C اندازه گرفته شده‌اند. نتایج در بخش داده‌ها آمده‌اند. با استفاده از این داده‌ها جدول زیر را کامل

$f (Hz)$	100	500	1000
V_C			
V_R			
V			

کنید و برای هر فرکانس درستی رابطه

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

را تحقیق نماید.

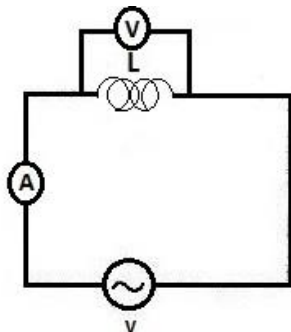
(جدول 3)

(ج)

(1) مدار ساده القاگر (سلف) را مطابق شکل زیر بسته و به ازای بسامدهای مختلف منبع، ولتاژ و جریان

مدار اندازه گرفته شده‌اند. نتایج در بخش داده‌ها آمده‌اند. با استفاده

از این داده‌ها جدول زیر را کامل کنید.

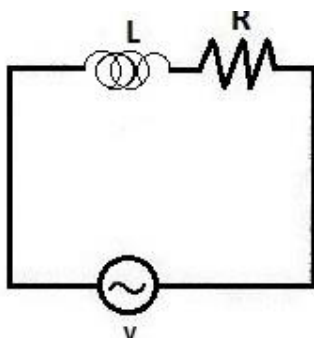


$$L = 51mH$$

(جدول 4)

$f (Hz)$	100	500	1000
$I (mA)$			
X_L			
$X_L I$			
V			

(2) درستی رابطه $V = X_L I$ را تحقیق کنید.



(3) با قرار دادن مقاومت R به طور متوالی با القاگر مدار RL را تشکیل

می دهیم.

4) به ازای بسامدهایی که در جدول آمده V_c و V_R را اندازه می‌گیریم. نتایج در بخش داده‌ها آمده است. با استفاده از این داده‌ها جدول زیر را کامل کنید و درستی رابطه $V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$ را تحقیق نماید.

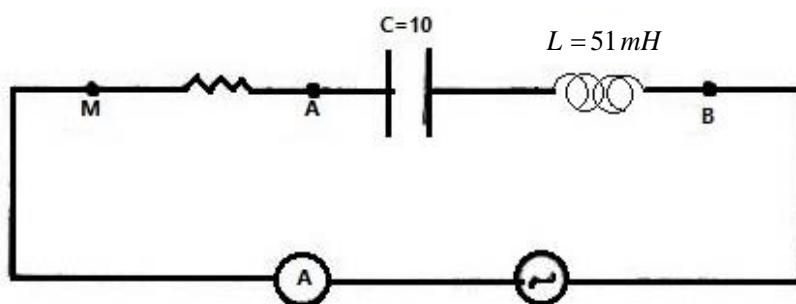
(جدول 5)

f (Hz)	100	500	1000
V_L			
V_R			
V منبع			
V رابطه			

(د)

1) عناصر R, C, L را به طور متوالی در مدار AC مطابق شکل زیر قرار داده شده است.

$$R = 50\Omega \quad , \quad C = 10\mu f$$



2) با استفاده از ولت سنج AC موارد خواسته شده در جدول اندازه گرفته شده‌اند. نتایج در بخش داده‌ها آمده است. با استفاده از این داده‌ها جدول زیر را کامل کنید و درستی روابط زیر را تحقیق کنید.

(جدول 6)

f	I	V_R	V_c	V_L	V_{AB}	V_{MB}

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_c)^2}$$

$$V_{AB} = |V_L - V_c|$$

3) با توجه به مقادیر R,C,L مقاومت ظاهری مدار (Z) را تعیین کنید. با استفاده از آن و ولتاژ V_{MB} اندازه‌گیری شده، جریان مدار را بدست آورده و با جریان اندازه‌گیری شده مقایسه نمایید.

(۵)

1) در مدار RLC بخش قبل، با تغییر بسامد منبع ولتاژ، جریان مدار را اندازه می‌گیریم. نتایج در بخش داده‌ها آمده است. با استفاده از این داده‌ها جدول زیر را کامل کنید.

$f \text{ (Hz)}$											
$I \text{ (mA)}$											

2) نمودار تغییرات I بر حسب f را رسم کرده و به کمک آن بسامد تشدید را تعیین کنید.

3) حال بسامد تشدید را از رابطه زیر بدست آورده و با نتیجه بالا مقایسه نمایید.

$$(12) \rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$