

گزارش کار آزمایشگاه فیزیک (۲) الکتریسته

آزمایش شماره ۹

اسیلوسکوپ ۲

در آزمایش پیش، چگونگی عملکرد اسیلوسکوپ، چگونگی کار با آن و رسم نمودارهای گوناگون ولتاژ را آموختیم و دانستیم که اسیلوسکوپ، ولتاژ دو سر ورودی‌هایش را بر حسب زمان رسم می‌کنند. یکی از موارد سودمند در بهره‌گیری از اسیلوسکوپ، دیدن نمودار پر و خالی شدن یک خازن است. برای این هدف، یک مدار RC می‌بندیم و یک سر ورودی اسیلوسکوپ را به زمین (نول-بدنه) و سر دیگر آن را به سری از خازن که به زمین وصل نیست، می‌زنیم. (شکل ۱) اگر سرچشمه‌ی ما از نوع DC معمولی (، یعنی، $V_c = E$) باشد، پس از وصل کلید، خازن پس از زمان τ ، که زمان نسبتاً اندکی است، پر می‌شود و پس از آن، اسیلوسکوپ، ولتاژ خازن را به صورت یک خط ثابت نمایش می‌دهد؛ پس، در این حالت، به دلیل کوچک بودن زمان پر شدن خازن، عملاً ما ناتوان از دیدن نمودار شارژ آن در بازه‌ی $0 < t < \tau$ هستیم. از سوی دیگر، پس از پر شدن خازن، برای دیدن نمودار خالی شدن آن، باید کلید را قطع کنیم؛ در این حالت نیز، خازن پس از زمان τ ، که زمان نسبتاً اندکی است، خالی می‌شود و پس از آن، اسیلوسکوپ، ولتاژ خازن را به صورت یک خط ثابت صفر نمایش می‌دهد؛ پس، در این حالت، به دلیل کوچک بودن زمان خالی شدن خازن، عملاً، ما ناتوان از دیدن نمودار دشارژ آن در بازه‌ی $0 < t < \tau$ هستیم. برای این که بتوانیم نمودار پر و خالی شدن خازن را به درستی ببینیم، باید مرتباً کلید را قطع و وصل نماییم و این کار، معادل استفاده از یک سرچشمه‌ی مربعی می‌باشد. پس، برای انجام این آزمایش از یک نوسان‌ساز مربعی بهره‌می‌بریم و بدین روش، در صفحه‌ی دستگاه، در آغاز، نمودار شارژ و در ادامه، نمودار دشارژ را خواهیم داشت. اکنون از این نمودارها، می‌توانیم با تعیین τ و قرار دادن $t = RC$ ، مقدار خازن را بدست آوریم. برای این کار، در نمودارها، فاصله‌ی کمینه و بیشینه‌ی آن‌ها را بدست آورده، در مورد شارژ، 0.63 آن و در مورد دشارژ، 0.37 آن را معین می‌کنیم؛ تصویر این نقاط بر محور t ، برابر مقدار τ خواهد بود.

از دیگر کاربردهای اسیلوسکوپ، این است که با آن می‌توانیم، بسامد تشدید یک مدار را بدست آورد. برای نمونه، ما در اینجا، بسامد تشدید یک مدار RLC سری را بدست خواهیم آورد. این کار را از چند روش می‌توانیم انجام دهیم. در روش یکم، از دانسته‌های خود درباره‌ی این مدار می‌دانیم که تشدید هنگامی رخ می‌دهد که در رابطه‌ی $Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$ ، مقدار $L\omega - \frac{1}{C\omega}$ ، صفر شود و چون R ، ثابت است، بنابراین، در بسامد تشدید، امپدانس کمینه است و سرانجام از رابطه‌ی $I_s = \frac{V_s}{Z}$ ، (که در آن V_s ثابت است)، می‌توان دریافت که در بسامد تشدید، جریان مدار بیشینه می‌شود. پس، بسامد سرچشمه را آنقدر کم و زیاد می‌کنیم، تا دامنه‌ی جریان گذرنده بیشینه شود و سپس در این نمودار بیشینه، بسامد را بدست آوریم. در روش دوم، با توجه به فازورهای جریان و ولتاژها در مدار RLC (، که ولتاژ مقاومت هم‌فاز با جریان است و ولتاژ خازن 90° تأخر فاز و ولتاژ القاگر 90° تقدم فاز دارد)، که فازورهای ولتاژ خازن و القاگر در یک راستا، اما، با سوی مخالف قرار می‌گیرند، در هنگام تشدید جمع فازورهای ولتاژ خازن و القاگر صفر می‌شود؛ یعنی، تنها فازور مانده، فازور مقاومت است، که

با جریان هم فاز می باشد. پس، در بسامد تشدید، اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان، صفر می شود. بنابراین، می توانیم، ولتاژ و جریان مدار (یا در اینجا، ضریبی از آن) را همزمان در اسیلوسکوپ ایجاد کنیم، سپس، با تغییر بسامد، بسامدی را که در آن، این دو نمودار هم فاز می شوند (یعنی، کمینه و بیشینه ی آنها، برهم سوار می شود)، از روی نمودار بدست آوریم.

از دیگر کاربردهای اسیلوسکوپ در اینجا، بررسی درستی روابط تئوری حاکم بر اختلاف فاز و امپدانس، در

مدارهای بالا است. درباره ی اختلاف فاز تئوری، می دانیم که از رابطه ی $\tan f = \frac{Lw - \frac{1}{cw}}{R}$ می توان آن را

بدست آورد؛ یعنی، $f = \tan^{-1} \left(\frac{Lw - \frac{1}{cw}}{R} \right)$ ؛ اما، برای مقدار عملی، باید اختلاف فاز را از نمودارها بدست آورد.

برای این کار، پس از رسم نمودارها در یک صفحه، اگر فاصله ی بین دو قله ولتاژ را X و فاصله بین قله ی نمودار ولتاژ را با قله ی جریان X بنامیم، خواهیم داشت $\frac{f}{\frac{x}{2p}} = \frac{x}{X}$ یا $f = \frac{x}{X} 2p$. همچنین درباره ی امپدانس تئوری

می دانیم $Z = \sqrt{R^2 + \left(Lw - \frac{1}{cw} \right)^2}$ و درباره ی مقدار عملی امپدانس، باید ولتاژ کل مدار را بر جریان کل مدار بخش کنیم. ولتاژ کل مدار را که به آسانی از اسیلوسکوپ می خوانیم و برای جریان کل مدار، کافی است ولتاژ دو سر مقاومت را با اسیلوسکوپ بدست آورده و بر مقدار مقاومت بخش کنیم. بدین روش، می توانیم مقدارهای تئوری و عملی اختلاف فاز و امپدانس را مقایسه کنیم.

همچنین با یک اسیلوسکوپ، می توانیم اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان یک مدار RC را اندازه بگیریم و آن را با مقدار تئوری مقایسه کنیم؛ که در این آزمایش، به آن می پردازیم.

شرح آزمایش

یکمین هدف ما از این آزمایش، دیدن نمودار پر و خالی شدن خازن و مشخص کردن ثابت زمانی آن در هر دو حالت شارژ و دشارژ و بدست آوردن ظرفیت خازن است. برای این کار، از مدار شکل ۱ دستورکار، که یک مدار RC ساده است، بهره می بریم. همچنان که در بالا گفته شد برای درستی نمودار نمایش داده شده، باید از یک نوسانساز مربعی بهره ببریم. درباره ی روش وصل کردن اسیلوسکوپ برای نمایش ولتاژ خازن، سر نول (null) آن را به سر نول مدار وصل کنیم و سر دیگر آن را به سری از خازن که به نول وصل نمی باشد (مانند شکل)، وصل کنیم؛ به این روش، اسیلوسکوپ، ولتاژ دو سر خازن را نمایش می دهد. درباره ی τ در هنگام شارژ، می دانیم که این مقدار برابر 0.63 قله ی نمودار شارژ است؛ پس، در آغاز فاصله ی کمینه ی ولتاژ تا بیشینه ی آن را در صفحه اسیلوسکوپ اندازه گرفته با ضرب کردن در عدد 0.63 و بدست آوردن مقدار آن، نمودار را به اندازه ی این مقدار، از خط تراز افقی پایین می آوریم، بدین روش، τ بر روی محور t دستگاه قرار می گیرد و خواندن آن ساده تر می شود. این مقدار را در گستره ی دستگاه ضرب می کنیم؛ تا τ بدست آید. در گام پایانی، از رابطه ی $t = RC$ ، ظرفیت خازن را

بدست می آوریم. (برای بدست آوردن τ از روی نمودار دشارژ، مقدار $0.37/\tau$ آن را مشخص کرده و تصویر آن بر محور t ، ثابت زمانی خازن خواهد بود؛ که برای سادگی خواندن آن، به روش بالا عمل می کنیم.) در مورد تنظیم بسامد مناسب برای سرچشمه، باید دقت کرد، اگر این مقدار زیاد باشد، خازن فرصت شارژ نمی یابد و نمودار به یک نمودار مثلثی شبیه می شود؛ که نموداری خوبی نیست و بدست آوردن τ برای آن، چندان آسان نیست.

دومین هدف این آزمایش، بدست آوردن بسامد تشدید در یک مدار RLC سری است؛ که به دو روش، بیشینه ی جریان و صفرکردن اختلاف فاز، انجام پذیر است. برای این آزمایش از مدار شکل ۲ دستورکار بهره می بریم. در این بخش، در هر دو روش بالا، که نیاز به نمودار ولتاژ و جریان کل مدار (به گونه ی هم زمان) داریم، باید از هر دو کانال اسیلوسکوپ بهره ببریم. کانال ۱ را برای نمودار ولتاژ برمی گزینیم و سر نول آن را به نول مدار و سر دیگرش را به سر دیگر مدار می زنیم. برای نمودار جریان نیز (مانند گفته های بخش پیش)، کانال دو را به سری از مقاومت می بندیم که به نول وصل نباشد و از آنجا که نول هر دو کانال یکی است، نیازی به وصل کردن نول کانال ۲ به نول مدار نیست. البته، نمودار کانال دو، در همه ی این آزمایش ها، نمودار V_R است؛ که ضرب R در I است؛ اما، به هر حال، این تفاوت، در محاسبه های ما اشکالی به وجود نمی آورد.

برای روش بیشینه کردن جریان، پیش از این گفتیم که در بسامد تشدید، جریان بیشینه است؛ پس، اسیلوسکوپ را بر روی کانال دو قرار می دهیم؛ تا نمودار جریان مدار را رسم کند؛ سپس، بسامد نوسان ساز را آنقدر کم و زیاد می کنیم، تا بسامدی را که در آن دامنه ی جریان بیشینه می شود، بدست آوریم. مقدار این بسامد را از صفحه ی اسیلوسکوپ می خوانیم. برای آسانی تشخیص بیشینه شدن، بهتر است، سرعت جاروب (swap) اسیلوسکوپ را افزایش دهیم.

در روش دوم، مانند گفته ی بالا، دستگاه را روی دو کانال قرار می دهیم؛ تا ولتاژ و جریان را در یک صفحه بکشد. اکنون، آن اندازه بسامد را کم و زیاد می کنیم، تا ولتاژ و جریان مدار هم فاز شوند؛ یعنی، هر دو با هم به بیشینه برسند. در این حالت، از روی یکی از نمودارهای ولتاژ یا جریان، بسامد (تشدید) مدار را می خوانیم.

سومین هدف ما از این آزمایش، مقایسه ی مقدارهای نظری و عملی اختلاف فاز و امپدانس در مدار بالا است. برای این کار یک بار بسامد سرچشمه را کمتر و یک بار آن را بیشتر از بسامد تشدید مدار بر می گزینیم،

بدین ترتیب، اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان یکبار منفی بار دیگر مثبت خواهد بود؛ چراکه $f = \tan^{-1} \frac{LC\omega - 1}{CR\omega}$. به هر حال، با توجه به گفتار بالا، به بررسی این روابط می پردازیم.

در بخش سوم این آزمایش، همچنان که گفتیم، می خواهیم اختلاف فاز جریان و ولتاژ یک خازن را در مدار AC ببینیم. برای این کار از مدار شکل ۳ دستورکار بهره می بریم. برای نمودار ولتاژ خازن، می دانیم که باید دو سر یک کانال اسیلوسکوپ را به دو سر خازن بزنیم؛ از سوی دیگر می خواهیم (ضریبی) از جریان را نیز در کانال دیگر نمایش دهیم و می دانیم که باید نول این دو کانال یک نقطه ی باشد. پس، یک سوی خازن را باید به عنوان نول مشترک برگزینیم و از آنجایی که یک سر خازن مستقیماً به فاز منبع وصل است؛ بنابراین، بیش از یک گزینه نخواهیم داشت و آن این است که سر مشترک خازن و مقاومت را به عنوان نول مشترک برگزینیم. از سوی دیگر، می دانیم در چنین مدارهایی برای نمودار جریان، باید دو سر دستگاه را به دو سر عناصری مانند مقاومت بزنیم و

چون یک سر مقاومت به عنوان نول گزیده شده است، باز هم برای ورودی کانال دوم، گزینه‌ای جز سر دیگر مقاومت که به نول سرچشمه وصل شده است نخواهیم داشت. اکنون، در چنین سیم‌بندی‌ای، باید دقت کنیم جریانی که دستگاه به ما می‌نماید، عکس جریان واقعی مدار است؛ یعنی، در یک منفی ضرب شده است؛ یا به گفته‌ی دیگر، اگر معادله جریان $\sin(wt + q)$ باشد، اسیلوسکوپ مقدار $-\sin(wt + q)$ را به ما نشان می‌دهد. از سویی برای مقایسه‌ی آن با ولتاژ، باید نمودارها به گونه‌ای باشد، که شیب مثبت آنها، با هم و شیب منفی آنها نیز با هم باشد. برای این کار، ما باید از دکمه Inverse یا معکوس اسیلوسکوپ بهره‌بریم؛ که در واقع نمودار را در یک منفی ضرب می‌کنیم. پس از آمادگی‌های بالا، نوسانی سینوسی را به مدار می‌دهیم و از صفحه‌ی اسیلوسکوپ، با توجه به گفته‌های بخش تئوری و رابطه‌ی $f = \frac{X}{X} \cdot 2p$ ، این اختلاف فاز را بدست می‌آوریم.

داده‌ها و محاسبه‌ها

بخش اول

$$R = 2 \text{ k}\Omega, \quad C = 1 \text{ nF}$$

$$V_{pp} = 4 \text{ dev} \quad V_{\tau} = 0.63 \times 4 = 2.52 \text{ dev} \rightarrow \tau = RC = 0.4 \text{ dev} = 0.4 \times 0.2 \times 10^{-3} \text{ s} = 0.08 \text{ s} \Rightarrow C = \frac{8 \times 10^{-5}}{1.0} \text{ F}$$

بخش دوم

$$R = 2 \text{ k}\Omega, \quad C = 1 \text{ nF}, \quad L = 50 \text{ mH}, \quad n_1 = \frac{1}{2p \sqrt{LC}} \quad v_1 = 0.2 \text{ MHz}$$

■ روش اول

$$T = 3.3 \text{ dev} \times 0.2 \text{ }\mu\text{s/dev} = 0.66 \text{ }\mu\text{s} \rightarrow v = 1.51 \text{ MHz}$$

■ روش دوم

$$T = 3.6 \text{ dev} \times 0.2 \text{ }\mu\text{s/dev} = 0.72 \text{ }\mu\text{s} \rightarrow v = 1.39 \text{ MHz}$$

■ اختلاف فاز و امپدانس

$$\square \text{ تئوری: } f = \tan^{-1} \frac{LCw^2 - 1}{CRw} \rightarrow f = \tan^{-1} \left(\frac{50 \times 10^{-3} w - \frac{1}{10^{-9} w}}{2 \times 10^{-3}} \right)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2} \rightarrow Z = \sqrt{\left(2 \times 10^{-3} \right)^2 + \left(50 \times 10^{-3} \omega - \frac{1}{10^{-9} \omega} \right)^2}$$

$$\square \varphi > 0 : f = + \frac{x}{X} \varphi p \rightarrow f = + \frac{2/5}{8/8} \varphi p = 1/4 \text{ Rad}$$

$$V_{RPP} = 2 \times 1 = 2 \text{ V} \rightarrow I = \frac{V_{RPP}}{R} = \frac{2}{2 \times 10^{-3}} = 10^{-3} \text{ A} \rightarrow Z = \frac{V_{SPP}}{I} = \frac{2/4 \times 5}{10^{-3}} = 17 \text{ k}\Omega$$

$$\square \varphi < 0 : f = - \frac{x}{X} \varphi p \rightarrow f = - \frac{1/8}{6/4} \varphi p = -1/4 \text{ Rad}$$

$$V_{RPP} = 2 \times 1 = 2 \text{ V} \rightarrow I = \frac{V_{RPP}}{R} = \frac{2}{2 \times 10^{-3}} = 10^{-3} \text{ A} \rightarrow Z = \frac{V_{SPP}}{I} = \frac{2/4 \times 5}{10^{-3}} = 17 \text{ k}\Omega$$

● بخش سوم

$$f = \frac{x}{X} \varphi p \rightarrow f \approx \frac{p}{2} \text{ Rad}$$

پاسخ پرسش‌ها

- ۱- در بخش « شرح آزمایش »، بند یکم و « داده‌ها و محاسبه‌ها » انجام شده‌است.
- ۲- در بخش « شرح آزمایش »، بند سوم و « داده‌ها و محاسبه‌ها » انجام شده‌است.
- ۳- در بخش « شرح آزمایش »، بند چهارم و « داده‌ها و محاسبه‌ها » انجام شده‌است.
- ۴- در بخش « شرح آزمایش »، بند پنجم و « داده‌ها و محاسبه‌ها » انجام شده‌است.
- ۵- در بخش « داده‌ها و محاسبه‌ها »، « بخش دوم »، « اختلاف فاز و امپدانس » انجام شده‌است.
- ۶- در بخش « داده‌ها و محاسبه‌ها »، « بخش دوم »، « اختلاف فاز و امپدانس » انجام شده‌است.
- ۷- در بخش « شرح آزمایش »، بند ششم و « داده‌ها و محاسبه‌ها »، « بخش سوم » انجام شده‌است.
- ۸- در بخش « تئوری آزمایش » انجام شده‌است.