

بسمه تعالی



دستور کار آزمایشگاه:

فیزیک پایه ۲

«الکتریسیته و مغناطیس»

مخصوص دانشجویان:

«فیزیک، شیمی و رشته‌های مهندسی»

دانشکده‌ی فیزیک دانشگاه اصفهان

زمستان ۱۴۰۴

به نام خدا

دستورکاری که در اختیار دارید برای درس آزمایشگاه فیزیک الکتریسیته و مغناطیس دانشجویان رشته‌ی شیمی و کلیه‌ی رشته‌های مهندسی تهیه شده است. در این دستورکار سعی بر آن بوده که آزمایش‌های مصوب ستاد انقلاب فرهنگی آورده شوند. بر این اساس منابع مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است که از آن‌ها می‌توان دستورکار قبلی آزمایشگاه فیزیک پایه ۲ دانشگاه اصفهان و دستورکارهای آزمایشگاه فیزیک الکتریسیته و مغناطیس دانشگاه‌های صنعتی اصفهان و صنعتی شریف و دانشگاه علم و صنعت و نیز کتاب‌های زیر را نام برد:

مرجع شماره‌ی ۱

Fundamental of Physics (David Holliday & Robert Resnick)

این کتاب در چهار جلد ترجمه شده است. جلد سوم آن که توسط آقایان گلستانیان و بهار ترجمه شده است مربوط به الکتریسیته و مغناطیس بوده و هم اکنون مرجع درسی درس فیزیک پایه ۲ رشته‌ی فیزیک می‌باشد.

مرجع شماره‌ی ۲

Modern University Physics (Richard, Sears & Zemansky)

این کتاب با نام فیزیک دانشگاهی توسط آقای فضل‌الله فروتن ترجمه و مباحث مربوط به الکتریسیته و مغناطیس در جلد سوم آن آورده شده است.

مرجع شماره‌ی ۳

A Laboratory Manual of Physics [SI unit] (F. Tyler)

این کتاب مجموعه‌ی نسبتاً کاملی از آزمایش‌های فیزیک مقطع کارشناسی است.

در آغاز این دستورکار، دستورالعمل نکات ایمنی عمومی در شروع آزمایش‌ها و جدول علایم به کار رفته در این جزوه و سپس فشرده‌ای درباره‌ی خطاگیری، رسم نمودار و محاسبات مربوط به آن آورده شده است. مطالعه‌ی دقیق این بخش و همچنین جزوه‌ی خطاگیری و رسم نمودار به کلیه‌ی دانشجویان توصیه می‌شود. صفحه‌ی آخر دستورکار نیز دستورالعمل پایان آزمایش‌ها ذکر شده که دانشجویان موظفند در هر جلسه، طبق آن صفحه، میز و وسایل خود را مرتب نمایند.

امید است این دستورکار سودمند واقع شود و ما را از پیشنهادات و انتقادات خود محروم نفرمایید.

مجید شکرانه

کارشناس آزمایشگاه

دستورالعمل نکات ایمنی عمومی و شروع آزمایش‌ها

دانشجویان موظفند قبل از شروع آزمایش‌ها، این قسمت را مطالعه کنند.

هدف از این قسمت تذکر چند نکته و موارد کلی است که رعایت آن‌ها باعث انجام آزمایش‌ها به نحو احسن یعنی به شکل ایمن و دقیق در مدت زمان محدود آزمایشگاه خواهد شد.

هر زمان که با الکتریسیته کار می‌کنید برای حفظ سلامت خود و دستگاه مورد استفاده، جوانب احتیاط را رعایت کنید. گرچه در ساخت هر دستگاهی، نهایت کوشش به عمل می‌آید تا از بروز خطرات احتمالی جلوگیری شود ولی در نهایت این استفاده کننده از وسایل است که باید سلامت خود و دستگاه را حفظ کند. برای این کار کاربر باید:

* دستگاه مورد مصرف را بشناسد.

* نوع کاربردی را که می‌خواهد از دستگاه برای آن استفاده کند بشناسد.

* مطمئن شود که تمام جوانب احتیاط را رعایت کرده باشد.

* از هر گونه ایجاد خطر و یا کوتاهی در امور ایمنی خودداری کند.

بنابراین رعایت نکات ذیل پیش از شروع هر آزمایش الزامی است:

۱- با توجه به معلوم بودن آزمایش هر جلسه، پیش از شروع آزمایشگاه، آزمایش مورد نظر مطالعه شود. این کار ضمن آشنایی دانشجو با آزمایش و نکات ایمنی احتمالی آن، ضریب آسیب به وسایل را نیز کاهش می‌دهد.

۲- سر هر میز، وسایل لازم برای آزمایش آن جلسه (حتی تعداد سیم‌های رابط مورد نیاز) قرار داده شده است. چنان چه احساس می‌کنید وسیله‌ای بر سر میز کم بوده یا خراب است، کارشناس آزمایشگاه را مطلع نموده و از استفاده‌ی وسایل سایر میزها جداً خودداری نمایید.

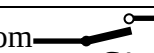
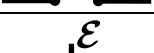
۳- در صورت وجود مشکل در مدار، از روش تست گام به گام استفاده نمایید. ثابت نبودن یا نوسان کردن وسایل اندازه‌گیری نظیر آوومتر، می‌تواند نشان دهنده‌ی تنظیم نادرست، خرابی وسیله یا قطعی در مدار باشد. برای این منظور از کارشناس آزمایشگاه راهنمایی بخواهید.

۴- قبل از قرار دادن آوومترها در مدار، حتماً در ابتدا وضعیت مورد نظر تنظیم شود (یعنی ولت‌سنج یا آمپرسنج بودن آوومترها و مستقیم یا متناوب بودن آن‌ها). چرخاندن انتخابگرهای آوومتر جهت تنظیم، موقعی که آن‌ها در مدار باشند (جریان در مدار برقرار باشد)، بسیار خطرناک است.

۵- از جابجا کردن منبع‌ها جداً خودداری کرده و در عوض از سیم‌های بلندتر برای اتصال به منبع استفاده کنید.

جدول علائم به کار رفته در این دستور کار

در این دستور کار برای نمایش مدارها از برخی علامت‌های زیر استفاده شده است:

علامت	کاربرد
	سیم رابط بدون مقاومت
	اتصال دو سیم
	عبور دو سیم از روی یکدیگر
	مقاومت اهمی ثابت
	مقاومت اهمی متغیر؛ جعبه مقاومت
	رئوستا (مقاومت اهمی متغیر با سر وسط)
	خازن
	خودالقا (سلف)
	خودالقا با هسته‌ی آهنی
	مبدل (ترانسفورماتور)
	کلید قطع و وصل یک راهه (spst)
	کلید قطع و وصل دو راهه (spdt)
	کلید بسته‌ای که فقط هنگام فشار دادن باز است (Normally Close)
	کلید بازی که فقط هنگام فشار دادن بسته است (Normally Open)
	پیل؛ انباره؛ باتری؛ توان‌ساز (منبع تغذیه) مستقیم
	توان‌ساز (منبع تغذیه) متناوب؛ سیگنال ژنراتور (نوسان‌ساز یا موج‌ساز)
	آوومتر
	ولت‌سنج و میلی‌ولت‌سنج
	آمپرسنج و میلی‌آمپرسنج
	گالوانومتر
	اتصال به زمین
	دیود؛ یکسوساز

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
دستورالعمل نکات ایمنی عمومی و شروع آزمایش‌ها.....	۳
جدول علایم به کار رفته در این دستور کار.....	۴
فهرست مطالب.....	۵
فشرده‌ای درباره‌ی خطاگیری.....	۱۰
الف) اندازه‌گیری مستقیم.....	۱۰
ب) استفاده از روابط ریاضی.....	۱۰
ج) رسم خط.....	۱۱
چگونگی رسم خط.....	۱۲
اندازه‌گیری شیب خط.....	۱۳
اندازه‌گیری عرض از مبدأ.....	۱۳
د) روش حداقل مربعات و استفاده از ماشین حساب در تعیین بهترین خط.....	۱۴
آزمایش جلسه‌ی اول: آشنایی با آوومتر.....	۱۵
هدف آزمایش.....	۱۵
مقدمه.....	۱۵
آوومتر مکانیکی (عقربه‌ای) BMK7.....	۱۵
الف) مشخصات کلی.....	۱۵
۱- قسمت ورودی.....	۱۵
۲- کلیدهای کنترل.....	۱۵
۳- قسمت مربوط به خواندن کمیت‌ها.....	۱۷
ب) چگونگی کار با آوومتر.....	۱۸
۱- اندازه‌گیری جریان.....	۱۸
۲- اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل.....	۱۹
۳- اندازه‌گیری مقاومت.....	۲۰
۴- دقت اندازه‌گیری‌ها.....	۲۱
آوومتر رقمی (دیجیتال) VOLTcraft 6601.....	۲۲
مشخصات کلی.....	۲۲
۱- قسمت ورودی.....	۲۲
۲- کلیدهای کنترل.....	۲۳
۳- صفحه‌ی نمایش.....	۲۳
چند تذکر.....	۲۴
وسایل آزمایش.....	۲۴
دستور کار.....	۲۵
الف) اندازه‌گیری ولتاژ.....	۲۵
ب) اندازه‌گیری مقاومت.....	۲۶
پرسش‌ها.....	۲۶
آزمایش جلسه‌ی دوم: تعیین مقاومت مجهول.....	۲۸
هدف آزمایش.....	۲۸

زمینه‌ی نظری..... ۲۸ .

الف) استفاده از قانون اهم..... ۲۸

ب) روش جانشینی..... ۲۸

ج) روش پل و تستون..... ۲۸

د) تعیین مقاومت به کمک رنگ‌های آن..... ۲۹

وسایل آزمایش..... ۳۴

دستور کار..... ۳۴

الف) روش قانون اهم..... ۳۴

ب) روش جانشینی..... ۳۵

ج) روش پل و تستون..... ۳۶

د) روش اهم‌متر..... ۳۷

ه) روش رنگ‌ها..... ۳۷

پرسش‌ها..... ۳۸

آزمایش جلسه‌ی سوم: بستگی مقاومت یک رسانا با طول و سطح مقطع آن..... ۳۹

هدف آزمایش..... ۳۹

زمینه‌ی نظری..... ۳۹

وسایل آزمایش..... ۳۹

دستور کار..... ۳۹

الف) تحقیق وابستگی مقاومت سیم مسی به طول آن..... ۳۹

ب) تحقیق وابستگی مقاومت سیم مسی به سطح مقطع آن..... ۴۱

پرسش‌ها..... ۴۱

آزمایش جلسه‌ی چهارم: مقاومت درونی باتری و ولت‌سنج..... ۴۲

هدف آزمایش..... ۴۲

زمینه‌ی نظری..... ۴۲

الف) مقاومت درونی باتری..... ۴۲

ب) مقاومت درونی ولت‌سنج..... ۴۲

وسایل آزمایش..... ۴۳

دستور کار..... ۴۳

الف) اندازه‌گیری مقاومت درونی باتری..... ۴۳

ب) اندازه‌گیری مقاومت درونی ولت‌سنج..... ۴۴

پرسش‌ها..... ۴۵

آزمایش جلسه‌ی پنجم: خازن..... ۴۶

هدف آزمایش..... ۴۶

زمینه‌ی نظری..... ۴۶

الف) پر شدن و خالی شدن خازن..... ۴۶

ب) ترکیب موازی و سری خازن‌ها..... ۴۷

وسایل آزمایش..... ۴۷

دستور کار..... ۴۷

الف) منحنی پر شدن خازن..... ۴۸

۴۹	 (ب) منحنی خالی شدن خازن
۵۰	 (ج) ترکیب موازی خازن ها
۵۰	 (د) ترکیب سری خازن ها
۵۱	 پرسش ها
۵۲	 آزمایش جلسه ی ششم: آشنایی با اسیلوسکوپ
۵۲	 هدف آزمایش
۵۲	 مقدمه
۵۴	 عملکرد کلیدها و قسمت های مختلف اسیلوسکوپ
۵۵	 الف) کلیدهای اولیه
۵۶	 (ب) محور عمودی (VERTICAL)
۵۸	 (ج) محور افقی (HORIZONTAL)
۵۸	 (د) مدار آتش کن (TRIGGER)
۶۰	 زمینه ی نظری
۶۱	 وسایل آزمایش
۶۱	 دستور کار
۶۱	 الف) آشنایی با محور زمان (انتخاب گر TIME/DIV)
۶۲	 (ب) آشنایی با محور قائم، اندازه گیری ولتاژ مستقیم
۶۲	 (ج) اندازه گیری ولتاژ متناوب و بسامد، مقایسه ی ولت سنج و اسیلوسکوپ در اندازه گیری ولتاژ
۶۳	 (د) مقایسه ی منبع تغذیه و نوسان ساز، مقایسه ی ولت سنج و اسیلوسکوپ در استفاده از آنها
۶۴	 (هـ) نوسان ساز مربعی
۶۵	 (و) کار با ورودی کانال ۲
۶۵	 (ز) کار با هر دو ورودی به طور همزمان، تفاوت ALT و CHOP
۶۵	 (ح) مشاهده ی اشکال لیسازوس و اندازه گیری نسبت بسامد دو منبع
۶۶	 پرسش ها
۶۸	 آزمایش جلسه ی هفتم: کاربردهای از اسیلوسکوپ
۶۸	 هدف آزمایش
۶۸	 زمینه ی نظری
۶۸	 الف) اختلاف فاز بر روی اسیلوسکوپ
۶۹	 (ب) مدار R-C
۷۰	 وسایل آزمایش
۷۰	 دستور کار
۷۱	 الف) اندازه گیری اختلاف فاز به کمک اسیلوسکوپ
۷۲	 (ب) مشاهده ی منحنی پر و خالی شدن خازن بر روی اسیلوسکوپ
۷۳	 پرسش ها
۷۴	 آزمایش جلسه ی هشتم: بررسی و اندازه گیری نیروی محرکه القایی و مطالعه ی مبدل ها
۷۴	 هدف آزمایش
۷۴	 زمینه ی نظری
۷۴	 الف) قانون القای فاراده
۷۴	 (ب) مبدل (ترانسفورماتور)

۷۶	وسایل آزمایش
۷۶	دستور کار
۷۶	الف) قانون القای فاراده و نیروی محرک القایی
۷۶	آزمایش I
۷۷	آزمایش II
۷۷	آزمایش III
۷۸	آزمایش IV
۷۸	ب) مبدل‌ها
۸۰	پرسش‌ها
۸۱	آزمایش جلسه‌ی نهم: بررسی قوانین کیرشهوف در مدارهای R-R (مقاومت‌های سری و موازی)
۸۱	هدف آزمایش
۸۱	زمینه‌ی نظری
۸۱	وسایل آزمایش
۸۱	دستور کار
۸۱	الف) مقاومت‌های سری
۸۲	ب) مقاومت‌های موازی
۸۳	پرسش‌ها
۸۴	آزمایش جلسه‌ی دهم: مدارهای R-C و R-L
۸۴	هدف آزمایش
۸۴	زمینه‌ی نظری
۸۴	الف) مدار R-C
۸۵	ب) مدار R-L
۸۶	وسایل آزمایش
۸۶	دستور کار
۸۶	الف) مدار R-C
۸۷	ب) مدار R-L
۸۸	پرسش‌ها
۸۹	آزمایش جلسه‌ی یازدهم: مدار R-C-L
۸۹	هدف آزمایش
۸۹	زمینه‌ی نظری
۹۰	وسایل آزمایش
۹۰	دستور کار
۹۰	الف) تحقیق قانون اهم در مدار R-C-L
۹۲	ب) تعیین بسامد بازآوایی (تشدید) و رسم منحنی پاسخ مدار R-C-L
۹۳	پرسش‌ها
۹۴	دستورالعمل پایان آزمایش‌ها

فشرده‌ای درباره خطاگیری

هنگامی که در آزمایشگاه کمیتی را اندازه می‌گیریم، باید دقت آن را نیز مشخص کنیم. یعنی مشخص کنیم که کمیت اندازه‌گیری شده ممکن است تا چه اندازه با مقدار واقعی اختلاف داشته باشد. بسته به روش انجام آزمایش و تعیین کمیت مورد نظر، دقت اندازه‌گیری نیز به روش‌های متفاوتی به دست می‌آید.

برای بحث کامل‌تر درباره سرچشمه‌ی خطاها، انواع خطاها و محاسبه‌ی سهم هر یک در دقت اندازه‌گیری به بخش خطاگیری در دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۱ یا هر جزوه یا کتابی که درباره‌ی خطاگیری نوشته شده باشد، مراجعه کنید. در این جا، به طور فشرده روش‌های خطاگیری را بیان می‌کنیم.

فرض کنید کمیت مجهول مورد نظر x است. این کمیت را می‌توان به یکی از روش‌های زیر به دست آورد:
اندازه‌گیری مستقیم، استفاده از روابط ریاضی و به کمک رسم خط.

الف) اندازه‌گیری مستقیم

اگر بتوان x را مستقیماً اندازه گرفت، این اندازه‌گیری را n بار (مثلاً ۱۰ بار) انجام می‌دهیم. اگر نتیجه‌ی i امین اندازه‌گیری را با x_i نمایش دهیم و تمام اندازه‌گیری‌ها در شرایط (نسبتاً) یکسان انجام شده باشند،

$$\langle x \rangle = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{var } x = \sigma^2 = \langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2 \quad (1)$$

که میانگین و پراش (واریانس) x خوانده می‌شوند و به ترتیب مقادیری برای محتمل‌ترین مقدار x و گستره‌ی پراکندگی x_i ‌ها حول آن را به دست می‌دهند (از علامت $\langle \dots \rangle$ برای میانگین‌گیری استفاده شده است). σ انحراف استاندارد خوانده می‌شود. برای n ‌های به قدر کافی بزرگ، حدود ۷۰٪ اندازه‌گیری‌ها در بازه‌ی $\pm \sigma$ حول $\bar{x}$ قرار خواهند داشت و می‌توان نوشت:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x \quad (2)$$

که در آن $\Delta x = \sigma$ (اگر بخواهیم که بیش از ۹۵٪ اندازه‌گیری‌ها در گستره‌ی دقت اندازه‌گیری قرار گیرند کافی است که قراردادیم $\Delta x = 2\sigma$). این روش به نام روش آماری خوانده می‌شود. بدیهی است با بزرگ شدن n ، دقت اندازه‌گیری نیز بهبود می‌یابد. برای n ‌های کوچک، بنا بر ملاحظات آماری بهتر است پراش چنین محاسبه شود:

$$\text{var } x \approx \frac{1}{n-1} \left\{ \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right\} = \frac{n}{n-1} (\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2) \quad (3)$$

دیده می‌شود برای n ‌های بزرگ $n-1 \approx n$ و این رابطه به رابطه‌ی ۱ تبدیل خواهد شد. در ماشین حساب‌های پیشرفته، حالتی به نام SD (مخفف Standard Deviation) وجود دارد که به کمک آن می‌توان میانگین و پراش را محاسبه کرد. معمولاً انحراف استاندارد طبق رابطه‌ی ۱ با σ_n و طبق رابطه‌ی ۳ با σ_{n-1} نمایش داده می‌شود.

ب) استفاده از روابط ریاضی

اگر x به طور غیرمستقیم و به کمک رابطه‌ای به دست آید که اجزای دیگر آن رابطه قابل اندازه‌گیری‌اند، آن‌گاه:

۱- اگر آزمایش را فقط یک بار انجام دهیم: با توجه به دقت اندازه‌گیری کمیت‌های اندازه‌گیری شده، دقت x به دست آمده را به روش دیفرانسیل یا دیفرانسیل لگاریتمی محاسبه می‌کنیم. اگر کمیت‌های اندازه‌گیری شده را a ، b ، c و ... و دقت اندازه‌گیری آن‌ها را Δa ، Δb ، Δc و ... بنامیم، آن‌گاه:

I. اگر x توسط روابط جمع و تفریق به a ، b ، c و ... مرتبط گردد، برای محاسبه‌ی Δx ، از رابطه‌ی مورد نظر دیفرانسیل می‌گیریم:

$$x = a + b - 2c \dots \Rightarrow dx = da + db - 2dc \dots \Rightarrow \Delta x = \Delta a + \Delta b + 2\Delta c \dots$$

که در گام آخر علامت منفی را به مثبت تبدیل کرده‌ایم زیرا وجود یک خطا معمولاً باعث کاهش خطای دیگری نمی‌شود و خطاها را باید با هم جمع کرد.

مثال ۱: به کمک ترازویی با دقت ± 1 گرم، جرم ظرفی را اندازه می‌گیریم ($m_1 = 200 \text{ gr}$). درون ظرف مقداری آب ریخته، دوباره جرم جدید را اندازه می‌گیریم ($m_2 = 254 \text{ gr}$). جرم آب افزوده شده و دقت آن برابر است با:

$$m = m_2 - m_1 = 254 - 200 = 54 \text{ gr} \quad \text{و} \quad \Delta m = \Delta m_1 + \Delta m_2 = 1 + 1 = 2 \text{ gr}$$

II. اگر x توسط روابط ضرب و تقسیم به a ، b ، c و ... مرتبط گردد، برای محاسبه‌ی Δx از رابطه‌ی مورد نظر ابتدا لگاریتم و سپس دیفرانسیل می‌گیریم (گرفتن لگاریتم ضروری نیست و برای ساده‌سازی انجام می‌شود).

مثال ۲:

$$x = \frac{ab^3}{\sqrt{c}} \Rightarrow \ln x = \ln a + 3 \ln b - \frac{1}{2} \ln c$$

$$\Rightarrow \frac{dx}{x} = \frac{da}{a} + 3 \frac{db}{b} - \frac{1}{2} \frac{dc}{c} \Rightarrow \text{خطای نسبی بیشینه} \quad \frac{\Delta x}{|x|} = \frac{\Delta a}{|a|} + 3 \frac{\Delta b}{|b|} + \frac{1}{2} \frac{\Delta c}{|c|}$$

کمیت $\frac{\Delta x}{|x|}$ دقت نسبی (خطای نسبی!) خوانده می‌شود و معیار خوب بودن اندازه‌گیری است. در این آزمایشگاه دقت نسبی باید از مرتبه‌ی حدود ۵٪ یا کم‌تر باشد.

۲- اگر آزمایش را چند بار انجام دهیم: ابتدا به روش آماری میانگین و پراش را محاسبه می‌کنیم ($\bar{x}$ و Δx قسمت الف)، آن‌گاه به روش قسمت ب-۱ برای هر اندازه‌گیری Δx_i را محاسبه کرده و از آن‌ها میانگین می‌گیریم ($\overline{\Delta x}$). خطای مطلق بیشینه، بزرگ‌ترین مقدار Δx و $\overline{\Delta x}$ است.

(ج) رسم خط

اگر برای اندازه‌گیری x تنها دو کمیت را اندازه بگیریم و بتوانیم به گونه‌ای معادله‌ی مورد نظر را به شکل

$$Y = a + bX \quad (۴)$$

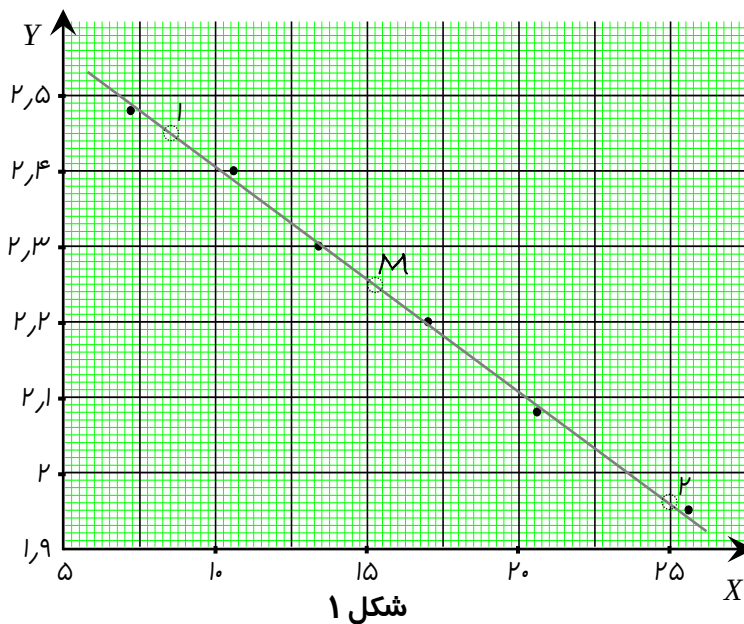
درآوریم (که در آن Y تابعی از یکی از آن دو کمیت و X تابعی از کمیت دیگر است)، آن‌گاه مجهول x با شیب آن خط، b ، یا با عرض از مبدأ آن، a یا با ترکیبی از آن دو ارتباط خواهد داشت. پس با رسم نمودار Y بر

حسب X می‌توان x را به دست آورد (دقت کنید x را با X اشتباه نکنید). هر چه تعداد اندازه‌گیری بیش‌تر باشد، رسم خط جواب بهتری می‌دهد. یک معادله را ممکن است بتوان به شکل‌های مختلف خطی کرد؛ بنابراین اگر سرچشمه‌های خطا را بشناسیم، می‌توانیم معادله را به گونه‌ای خطی کنیم که اثر بعضی از خطاهای سیستماتیک را کاهش (یا حذف) کنیم. در جدول ۱ چند مثال از خطی سازی آورده شده است.

نام آزمایش	رابطه	کمیت قابل اندازه‌گیری	مجهول	رابطه‌ی خطی شده $Y = a + bX$	نتیجه
آونگ ساده	$T = 2\pi\sqrt{\frac{L + \varepsilon}{g}}$	$(\varepsilon \text{ خطا})$ T و L	g	$L = -\varepsilon + \frac{g}{4\pi^2}T^2$	$4\pi^2 = g$ برابر شیب خط
باتری	$\varepsilon = (R + r)I$	R و I	ε و r	$R = -r + \frac{\varepsilon}{I}$	$\varepsilon =$ شیب خط $r =$ منفی عرض از مبدأ خط
مقاومت لامپ	$i = kV^n$	i و V	n و k	$\ln i = \ln k + n \ln V$	$n =$ شیب خط $\ln k =$ عرض از مبدأ خط
عدسی‌ها	$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$	i و o	f	$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$	$f =$ عکس عرض از مبدأ خط
خازن	$V = \varepsilon e^{-t/RC}$	$(R \text{ خطا})$ V و t	C	$\ln V = \ln \varepsilon - \frac{t}{RC}$	$-\frac{1}{RC} = C$ برابر عکس شیب خط

جدول ۱

چگونگی رسم خط



شکل ۱

ابتدا دامنه‌ی تغییرات X و Y را به دست آورده، با انتخاب مبدأ و مقیاس مناسب اطلاعات را به شکل نقطه‌گذاری به یک کاغذ میلی‌متری منتقل نموده و سپس بهترین خط را رسم می‌کنیم. بهترین خطی است که در مجموع کم‌ترین (مربع) فاصله را تا نقاط داشته باشد و در ضمن نقاط تقریباً به طور یکسان حول آن توزیع شده باشند. بدیهی است این خط ممکن است از هیچ یک از نقاط نگذرد.

X (s)	7.2	10.6	13.4	17.0	20.6	25.4
Y	2.48	2.40	2.30	2.20	2.08	1.95

جدول ۲

مثال ۳: نمودار شکل ۱ به کمک داده‌های جدول ۲ رسم شده است (به انتخاب مناسب مبدأ و مقیاس دقت

کنید). این اعداد، مثال نوعی از بستگی ولتاژ دو سر خازن در حال خالی شدن، V_C ، به زمان t است. این دو طبق رابطه $V = \varepsilon e^{-t/RC}$ به یکدیگر مربوط می‌شوند. در این جا $X \equiv t$ و $Y \equiv \ln V_C$ اختیار شده‌اند (جدول ۱).

اندازه‌گیری شیب خط

برای اندازه‌گیری شیب خط رسم شده، دو نقطه‌ی واقع بر روی خط (که در شکل ۱ با نقاط «۱» و «۲» مشخص شده‌اند) و در محدوده‌ای که آزمایش را انجام داده‌ایم به گونه‌ای انتخاب می‌کنیم که تا حد امکان بیش‌ترین فاصله را از یکدیگر داشته باشند. این دو نقطه عموماً هیچ یک از نقاط آزمایش نیستند. با مشخص کردن مختصات آن دو نقطه، شیب خط (که نباید آن را با شیب هندسی اشتباه گرفت) به سادگی به دست می‌آید؛

$$Y = a + bX \Rightarrow \text{شیب} = b = \frac{\delta Y}{\delta X} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad (5)$$

و دقت آن به روش دیفرانسیل لگاریتمی به دست می‌آید؛

$$\begin{aligned} \ln|b| &= \ln|Y_2 - Y_1| - \ln|X_2 - X_1| \\ \frac{db}{|b|} &= \frac{d(Y_2 - Y_1)}{|Y_2 - Y_1|} + \frac{d(X_2 - X_1)}{|X_2 - X_1|} \\ \text{خطای نسبی بیشینه} &= \frac{\Delta Y_2 + \Delta Y_1}{|Y_2 - Y_1|} + \frac{\Delta X_2 + \Delta X_1}{|X_2 - X_1|} \end{aligned} \quad (6)$$

که اگر دقت اندازه‌گیری X ها و Y ها ثابت باشند، به صورت زیر در می‌آید:

$$\frac{\Delta b}{b} = 2 \left(\frac{\Delta Y}{|Y_2 - Y_1|} + \frac{\Delta X}{|X_2 - X_1|} \right)$$

که در روابط بالا از علامت δ برای نمو (تغییرات) و از علامت Δ برای نمایش دادن دقت اندازه‌گیری استفاده شده است.

مثال ۴: در آزمایش آونگ ساده (ر. ک. جدول ۱)، محور قائم، طول اندازه‌گیری شده (L) و محور افقی،

مجذور زمان تناوب (T^2) می‌باشد و لذا رابطه‌ی ۵ به شکل زیر در می‌آید:

$$g = 4\pi^2 \frac{\delta L}{\delta T^2} \Rightarrow \frac{\Delta g}{g} = 2 \left(\frac{\Delta L}{|L_2 - L_1|} + \frac{2\Delta T}{|T_2 - T_1|} \right)$$

اندازه‌گیری عرض از مبدأ

ابتدا شیب خط را اندازه می‌گیریم؛ سپس با انتخاب یک نقطه (M) بر روی خط و تقریباً وسط محدوده‌ی

آزمایش (طبق شکل ۱)، مختصات آن نقطه را تعیین و به کمک آن عرض از مبدأ خط را به دست می‌آوریم.

$$Y = a + bX \quad (M \text{ جمله از خط از جمله}) \Rightarrow a = Y_M - bX_M \quad (7)$$

که در آن X_M و Y_M مختصات نقطه‌ی M است. دقت اندازه‌گیری عرض از مبدأ چنین به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \Delta a &= \Delta Y_M + |b| \Delta X_M + |X_M| \Delta b \\ \Delta a &= \Delta Y_M + |b| \Delta X_M + \left| X_M \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \right| \left(\frac{\Delta Y_2 + \Delta Y_1}{|Y_2 - Y_1|} + \frac{\Delta X_2 + \Delta X_1}{|X_2 - X_1|} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

بدیهی است اگر شیب خط معلوم باشد (!) رابطه‌ی ۸ به شکل $\Delta a = \Delta Y_M + |b| \Delta X_M$ ساده می‌شود. گاهی

ترجیح داده می‌شود که از رابطه‌ی اصلی، کمیت مورد نظر را به صورت تحلیلی به دست آورده، سپس به روش دیفرانسیل لگاریتمی دقت آن را تعیین کنیم. اگر به مقدار عددی برای کمیت‌های مورد اندازه‌گیری نیاز بود، از مختصات نقطه‌ی M استفاده می‌شود.

مثال ۵: در آزمایش باتری داریم (ر. ک. جدول ۱):

$$R = -r + \frac{\varepsilon}{I} \Rightarrow$$

$$\varepsilon = \frac{\delta R}{\delta \left(\frac{1}{I} \right)} \Rightarrow \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} = \frac{\Delta R_2 + \Delta R_1}{|R_2 - R_1|} + \frac{I_1^2 \Delta I_2 + I_2^2 \Delta I_1}{I_1 I_2 |I_2 - I_1|}$$

$$r = \frac{\varepsilon}{I_M} - R_M \Rightarrow \Delta r = \frac{\varepsilon}{I_M} \left(\frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} + \frac{\Delta I_M}{I_M} \right) + \Delta R_M$$

(اگر ε مستقیماً اندازه‌گیری شود، $\Delta \varepsilon$ دقت آن اندازه‌گیری خواهد بود که به وسیله‌ی ولت‌سنج تعیین می‌شود).

د) روش حداقل مربعات و استفاده از ماشین حساب در تعیین بهترین خط

اگر مجموعه‌ای از n زوج نقطه $(X_i \text{ و } Y_i)$ معادله‌ی خطی $y = a + bx$ را به گونه‌ای بیابیم که مجموعه مربع فاصله‌ی نقاط تا خط، یعنی $\xi = \sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2$ کمینه شود، بهترین خط را در تقریب حداقل مربعات به دست آورده‌ایم. $y_i = a + bX_i$ عرض خط در طول $x = X_i$ است. کمینه بودن ξ نسبت به a و b (یعنی $\frac{\partial \xi}{\partial a} = 0$ و $\frac{\partial \xi}{\partial b} = 0$) به دستگاه معادلات زیر منجر می‌شود:

$$\begin{cases} a + b \langle X \rangle = \langle Y \rangle \\ a \langle X \rangle + b \langle X^2 \rangle = \langle XY \rangle \end{cases}$$

که می‌توان آن را به سادگی حل کرد:

$$b = \frac{\langle XY \rangle - \langle X \rangle \langle Y \rangle}{\langle X^2 \rangle - \langle X \rangle^2} \text{ و } a = \langle Y \rangle - b \langle X \rangle \quad (9)$$

که در آن‌ها مجدداً از علامت $\langle \dots \rangle$ برای میانگین‌گیری استفاده شده است.

ماشین حساب‌های پیشرفته دارای حالتی هستند که قادر است a و b را بر طبق رابطه‌ی ۹ برای n زوج نقطه‌ی $(X_i \text{ و } Y_i)$ محاسبه کند. این حالت معمولاً با علامت LR (مخفف Linear Regression) مشخص می‌شود. در ماشین حساب‌های CASIO (fx 3600 p, pv) مختصات X_i به دکمه‌ی (x_0, y_0) و مختصات Y_i متناظر، به دکمه‌ی DATA داده می‌شوند. در ماشین حساب‌های CASIO (fx 4500 p) مختصات X_i و Y_i با یک کاما به صورت x_i, y_i به DT داده می‌شوند.

دانشجویان مجازند که ضرایب a و b را به کمک رابطه‌ی ۹، با استفاده از ماشین حساب و یا به وسیله‌ی نرم‌افزارهای ترسیم نمودار (مانند اکسل، متلب و ...) به دست آورند ولی در هر حال رسم خط بر روی کاغذ میلی‌متری ضروری است.

آزمایش جلسه اول:

آشنایی با آوومتر

هدف آزمایش: آشنایی و اندازه‌گیری با آوومتر مکانیکی (عقربه‌ای) 8Mk7 و آوومتر رقمی (دیجیتال) VOLTcraft 6601

مقدمه

آوومتر (A. V. O. Meter) وسیله‌ای است که قادر است هر یک از کمیت‌های شدت جریان (Amperes)، اختلاف پتانسیل (Volts) و مقاومت (Ohms) را اندازه بگیرد. گرچه شکل ظاهری و دقت آوومترها یکسان نیست ولی اصول کار آنها یکسان است و برای کسی که کار کردن با یک نوع آوومتر را یاد گرفته باشد، کلیه اطلاعات لازم برای کار با هر آوومتری بر روی آن نوشته شده است. در این جا به ذکر مشخصات و طرز کار آوومتر مکانیکی مدل 8MK7 و آوومتر رقمی VOLTcraft 6601 که در این آزمایشگاه از آنها استفاده می‌کنیم، می‌پردازیم. همچنین برای آشنایی با ساختمان و مبانی فیزیکی آوومترها می‌توانید به کتاب‌های فیزیک الکتریسته و مغناطیس از جمله، مرجع ۱ مراجعه کنید.

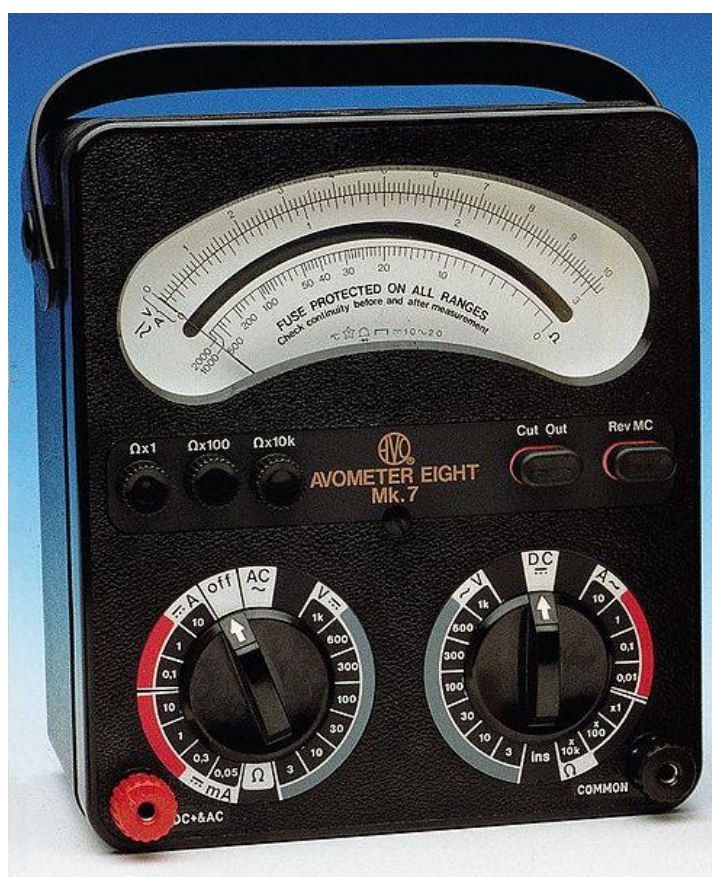
آوومتر مکانیکی 8MK7

الف) مشخصات کلی:

در شکل ۲ تصویر آوومتر 8MK7 دیده می‌شود. این آوومتر را می‌توان به سه قسمت اصلی تقسیم کرد: قسمت ورودی، کلیدهای کنترل و صفحه‌ی نمایش.

۱- قسمت ورودی

از دو ترمینال ورودی تشکیل شده است. ورودی اول (سیاه رنگ) که با حرف COMMON مشخص شده است، زمین آوومتر است و همواره یکی از سیم‌های رابط باید به این ترمینال وصل باشد. ورودی دوم (قرمز رنگ) با علامت DC+&AC مشخص شده است و در برق مستقیم، حکم قطب مثبت را دارد.



شکل ۲

۲- کلیدهای کنترل

شامل دو انتخابگر (selecotor)، یک دکمه‌ی معکوس‌کن، یک عدد فیوز الکترومکانیکی و سه عدد مقاومت متغیر است که به ترتیب شرح داده می‌شوند:



شکل ۳

I. دکمه‌های انتخابگر: این دو دکمه، مکمل یکدیگر بوده و برای هر نوع اندازه‌گیری باید هر دو دکمه را در وضعیت‌های مناسبی قرار داد. همواره یکی از این دو دکمه، نوع کمیت مورد اندازه‌گیری (AC، DC و مقاومت) را مشخص می‌کند که آن را کلید «وضعیت» می‌نامیم. دکمه‌ی دیگر که آن را «کلید مقدار» می‌نامیم، در وضعیتی متناسب با مقدار مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. مثلاً برای اندازه‌گیری ولتاژهای مستقیم، کلید سمت راست را روی علامت $\overline{\text{DC}}$ و کلید سمت چپ را روی یکی از

پله‌های $\text{V} \overline{\text{DC}}$ قرار می‌دهیم (شکل ۳). در این مورد کلید سمت راست، کلید «وضعیت» و کلید سمت چپ، کلید «مقدار» است.

توجه! همیشه پس از استفاده از آوومتر، با قرار دادن انتخابگر سمت چپ روی حالت **off** آن را خاموش کنید.

II. دکمه‌ی معکوس کن: این دکمه قطبش آوومتر را معکوس می‌کند. اگر در اندازه‌گیری‌های DC عقربه به طرف کمتر از صفر حرکت کند، می‌توان به جای قطع دستگاه و جابه‌جا کردن سیم‌های رابط آن، با فشردن این دکمه که بر روی آوومتر با عبارت Rev MC مشخص شده است، قطبش دستگاه را عوض کرد. فشردن مجدد این دکمه دستگاه را به وضع اول خود باز می‌گرداند. حالت عادی، داخل بودن دکمه است (شکل ۲).

III. فیوز الکترومکانیکی: اگر به دستگاه بار غیرمجازی (Over Load) وارد شود، دستگاه خواهد سوخت. برای جلوگیری از سوختن دستگاه، یک فیوز الکترومکانیکی با درجه‌ی ایمنی بسیار خوب در آن قرار داده شده است. اگر بار بیش از حدی به آوومتر وارد شود، این فیوز که با عبارت Cut Out مشخص شده است، قطع می‌شود (شکل ۲). برای فعال ساخت دوباره‌ی دستگاه کافی است که فیوز را به داخل فشار دهیم ولی دقت داشته باشیم که قبل از وصل کردن فیوز، علت پریدن آن را شناسایی کنید و آن را (که نادرست بودن وضعیت دکمه‌های انتخابگر، وجود اتصال کوتاه و یا ضعیف بودن بعضی از اتصال‌های مدار است) رفع کنید.

خطر! اگر فیوز دستگاه بیرون پرید، اشکالی در مدار و یا در وضعیت آوومتر وجود دارد. باید آن عیب را یافته و رفع کنید. اگر بدون رفع عیب، فیوز را فشار داده و آن را نگه دارید، آوومتر خواهد سوخت.

IV. مقاومت‌های متغیر: درجه‌بندی آوومتر در اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل و شدت جریان نسبتاً دقیق است و تنها کافی است که صفر عقربه (هنگامی که آوومتر خاموش است) تنظیم باشد ولی چون جریان لازم برای اندازه‌گیری مقاومت به کمک باتری‌های درون آوومتر تأمین می‌شود و این باتری‌ها با گذشت زمان فرسوده

می‌شوند، قبل از اندازه‌گیری مقاومت باید صفر مقاومت را تنظیم کرد. این کار به کمک سه مقاومت متغیر انجام می‌گیرد که در بالای آن‌ها عبارت‌های 1Ω ، 100Ω و $10k\Omega$ درج شده است (شکل ۲) و شرح کار با آن‌ها در قسمت اندازه‌گیری مقاومت توضیح داده خواهد شد.



شکل ۴

۳- قسمت مربوط به خواندن کمیت‌ها



شکل ۵

این قسمت شامل صفحه‌ی مدرج، آینه، عقربه (شکل ۴) و پیچ تنظیم صفر ولتاژ و جریان است. صفحه‌ی مدرج دارای سه نوع درجه‌بندی است. یکی از این درجه‌بندی‌ها در پایین آینه قرار دارد و در سمت راست آن حرف Ω نوشته شده است. این درجه‌بندی مربوط به مقاومت بوده و از صفر (سمت راست) تا 2000 (سمت چپ) مدرج شده است و فاصله‌ی بین درجات آن یکسان نیست. دو درجه‌بندی دیگر بالای آینه قرار داشته و در سمت چپ آن‌ها عبارت‌هایی به صورت $\left\{ \begin{matrix} V \\ A \end{matrix} \right\}$ درج شده است. از این دو درجه‌بندی برای خواندن مقادیر مربوط به ولتاژ و جریان (چه مستقیم و چه متناوب) استفاده می‌شود. درجه‌بندی بالاتر، از ۰ تا ۱۰ و دیگری، از ۰ تا ۳ مدرج شده است. هنگامی که آمومتر خاموش و در وضعیت افقی است، عقربه

باید روی صفر این دو درجه‌بندی قرار داشته باشد و در غیر این صورت، با تاباندن پیچ تنظیم صفر به کمک ناخن یا پیچ گوشتی، می‌توان عقربه را روی صفر تنظیم نمود (شکل ۵). با عمود نگاه کردن به صفحه‌ی مدرج (همراستا دیدن عقربه و تصویر آن در آینه) می‌توان مکان عقربه را با دقت خواند و از خطای مشاهده (خطای پارالاکس) پرهیز کرد.

ب) چگونگی کار با آوومتر

۱- اندازه‌گیری جریان

برای اندازه‌گیری جریان، آوومتر را به کمک انتخابگرها به حالت آمپرسنج در آورده و آن را به طور سری در شاخه‌ای از مدار که می‌خواهیم جریان در حال عبور از آن را اندازه بگیریم، قرار می‌دهیم. بنابراین برای آن که قرار دادن آمپرسنج در مدار کم‌ترین اثر را روی مدار داشته باشد، سعی می‌شود آمپرسنج‌ها را به گونه‌ای بسازند که مقاومت درونی آن‌ها بسیار کوچک باشد. افت ولتاژ درون ترمینال‌ها در جریان مستقیم حدود 700 mV (در پله‌ی $A \approx 10$) است که تا 100 mV (در پله‌ی $\text{mA} \approx 0.05$) کاهش می‌یابد. این افت ولتاژ در جریان متناوب کم‌تر از 450 mV (در تمام پله‌ها) است.

توجه! قبل از قرار دادن آمپرسنج در مدار، مطمئن شوید که مدار مرده باشد؛ یعنی هیچ جریانی در شاخه‌های آن وجود نداشته باشد. اگر از مقدار شدت جریان اطلاع ندارید، آمپرسنج را روی بالاترین پله قرار دهید.

اندازه‌گیری جریان مستقیم (DC): انتخابگر سمت راست را روی $\overline{\text{DC}}$ و انتخابگر سمت چپ را متناسب با جریان، روی پله‌ی مناسبی قرار می‌دهیم (اگر از مقدار جریان اطلاعی ندارید، انتخابگر «مقدار» را روی بالاترین پله قرار دهید). آمپرسنج باید به گونه‌ای در مدار قرار گیرد که جریان در جهت قراردادی، به قطب مثبت آمپرسنج وارد و از قطب منفی آن (Common) خارج شود و گرنه عقربه پس خواهد زد و باید دکمه‌ی Rev MC را یک بار فشرد. وقتی کلید «مقدار» آمپرسنج روی یک وضعیتی قرار می‌گیرد بدین معنی است که حداکثر جریان قابل اندازه‌گیری توسط آمپرسنج در این وضعیت همان «مقدار» قرار داده شده خواهد بود. مثلاً اگر کلید «مقدار»، روی $\text{mA} \approx 10$ باشد، آمپرسنج قادر به اندازه‌گیری جریان کم‌تر از 10 mA خواهد بود یا به عبارتی آخر درجه‌بندی که خواندن از آن صورت می‌گیرد، 10 mA خواهد گردید. بنابراین با یک تناسب ساده، می‌توان مقدار جریان را به دست آورد. هرچند می‌توان این تناسب را به صورت ذهنی و سریع محاسبه نمود ولی می‌توان برای آن یک فرمول نیز نوشت.

به طور کلی، نحوه‌ی خواندن عددی که آوومتر نشان می‌دهد چنین است:

ابتدا عدد مقابل عقربه را از روی یکی از دو درجه‌بندی مربوطه («۰-۳» یا «۰-۱۰») می‌خوانیم. سپس با توجه به این که انحراف کامل عقربه (حداکثر مقدار قابل اندازه‌گیری در این حالت) برابر عددی است که انتخابگر «مقدار» در مقابل آن قرار گرفته است، مقدار متناظر با عدد خوانده شده را توسط رابطه‌ی به دست می‌آوریم.

$$(۸) \quad \text{پله‌ی انتخابگر «مقدار»} \times \frac{\text{د خوانده شده روی کمان}}{\text{آخرین عدد کمان}} = \text{مقدار کمیت}$$

مثال ۶: انتخابگر سمت راست روی $\overline{\text{DC}}$ و انتخابگر سمت چپ روی پله‌ی $A \approx 0.1$ است. عقربه مقابل عدد

$$5.2 \text{ از درجه‌بندی «۰-۱۰» قرار دارد. جریان در حال عبور برابر است با } I = \frac{5.2}{10} \times 0.1 \text{ A} = 0.052 \text{ A} = 52 \text{ mA}$$

مثال ۷: می‌خواهیم جریان مستقیم مجهولی را اندازه بگیریم. چون از اندازه‌ی جریان اطلاعی نداریم، انتخابگر «مقدار» را روی بالاترین پله یعنی $A \approx 10$ قرار می‌دهیم. عقربه، مقابل عدد 0.1 از درجه‌بندی «۳-۰» ایستاده است. پس جریان در حال عبور $I = \frac{0.1}{3} \times 10 A \approx 0.3 A$ است. چون این جریان از عدد مربوط به پله‌ی پایین‌تر (یعنی پله‌ی $A \approx 1$) کم‌تر است، می‌توانیم انتخابگر «مقدار» را یک پله پایین بیاوریم (برای تغییر پله نیازی به قطع و وصل دستگاه نیست). اگر چنین کنیم عقربه تقریباً مقابل عدد ۳ از درجه‌بندی «۱۰-۰» خواهد ایستاد و دوباره $I = \frac{3}{10} \times 1 A \approx 0.3 A$ خواهد بود ولی آزمایش دقیق‌تر است.

اندازه‌گیری جریان متناوب (AC): انتخابگر سمت چپ را روی $\tilde{AC}$ قرار داده و دقیقاً مانند آن چه در اندازه‌گیری جریان مستقیم گفته شد، کلید «مقدار» را (که در این جا انتخابگر سمت راست است) روی پله‌ی مناسبی قرار می‌دهیم. پله‌های کلید «مقدار» در این حالت عبارتند از $\sim 10 A$ ، $\sim 1 A$ ، $\sim 0.1 A$ و $\sim 0.01 A$ و چون در جریان متناوب، قطب مثبت و منفی وجود ندارد، دستگاه باید در قطبش عادی خود باشد (ر. ک. قسمت II صفحه‌ی ۱۵)

۲- اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل

برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل بین دو نقطه از مدار باید آومتر را به صورت ولت‌سنج درآورد و دو ترمینال ورودی آن را به دو نقطه‌ی مورد نظر بست. چون با این کار یک شاخه جدید به مدار اضافه کرده‌ایم، برای آن که مدار تغییر قابل ملاحظه‌ای نکند و جریانی که به داخل شاخه‌ی جدید انشعاب می‌یابد، قابل چشم‌پوشی باشد باید ولت‌سنج دارای مقاومت داخلی بسیار زیادی باشد. هر چه این مقاومت درونی بیش‌تر باشد، ولت‌سنج آرمانی‌تر است. از آومتر 8MK7 هنگام اندازه‌گیری ولتاژهای DC روی تمام پله‌ها، در بیش‌ترین انحراف عقربه، فقط $50 \mu A$ از دستگاه می‌گذرد. به عبارت دیگر حساسیت یا عدد لیاقت دستگاه $\frac{1}{50 \mu A} = 20 \text{ K}\Omega/V$ است. بنابراین اگر آومتر روی پله‌ی $\sim 10 V$ باشد، ولت‌سنجی است که مقاومت درونی آن $200 \text{ K}\Omega = 10 \text{ V} \times 20 \text{ K}\Omega/V$ است. در اندازه‌گیری ولتاژهای AC، برای پله‌های $\sim 30 V$ به بالا، بیش‌ترین انحراف عقربه هنگام عبور جریان 0.5 mA از دستگاه رخ می‌دهد (حساسیت $2 \text{ K}\Omega/V$) ولی در پله‌ی $\sim 10 V$ این حساسیت به $1 \text{ K}\Omega/V$ می‌رسد (با حداکثر جریان 1 mA) و در پله‌ی $\sim 3 V$ بیش‌ترین انحراف به 10 mA نیاز دارد (عدد لیاقت $100 \Omega/V$). آومتر مورد بحث، برای اندازه‌گیری ولتاژهای سینوسی AC با بسامدهای کم‌تر از 15 KHz و ولتاژهای تا 300 V دقت خوبی دارد. به دلیل عدد لیاقت پایین پله‌های $\sim 3 V$ و $\sim 10 V$ از آن‌ها با احتیاط استفاده کنید.

گوشزد مهم: همیشه دقت کنید که هنگام اندازه‌گیری ولتاژ، آومتر در وضعیت مربوط به جریان یا مقاومت نباشد.

اندازه‌گیری ولتاژ مستقیم (DC): انتخابگر سمت راست را روی $\underline{DC}$ و انتخابگر سمت چپ را روی یکی از پله‌های $\sim 3 V$ تا $\sim 1 \text{ kV}$ قرار می‌دهیم. در این جا نیز برای ولتاژهای مجهول باید از بالاترین پله شروع کنیم و

سپس با توجه به انحراف عقربه، تا هنگامی که مجاز باشیم به پله‌های پایین‌تر بیایم.

اندازه‌گیری ولتاژ متناوب (AC): مانند مورد ولتاژ مستقیم است با این تفاوت که کلید «وضعیت» در این جا، انتخابگر سمت چپ است که روی $\tilde{AC}$ قرار می‌گیرد و کلید «مقدار»، انتخابگر سمت راست می‌باشد.

۳- اندازه‌گیری مقاومت

برای اندازه‌گیری مقاومت، علاوه بر «صفر عادی» دستگاه (قسمت ۳ صفحه‌ی ۱۶)، «صفر مقاومت» که در سمت راست درجه‌بندی مربوط به مقاومت قرار دارد نیز باید تنظیم شود. این تنظیم به کمک مقاومت‌های متغیر (بخش IV صفحه‌ی ۱۶) چنین انجام می‌شود:

- I. کلید «وضعیت» (که در این جا انتخابگر سمت چپ است) را روی Ω قرار می‌دهیم.
- II. کلید «مقدار» (که در این جا انتخابگر سمت راست می‌باشد) را روی $1\Omega \times$ قرار می‌دهیم.
- III. سیم‌های رابط که به ورودی‌ها وصل شده‌اند را به هم وصل می‌کنیم (اتصال کوتاه) و با چرخاندن پیچ مقاومت متغیر (پتانسیومتر) $1\Omega \times$ (بخش IV صفحه‌ی ۱۶)، عقربه را روی صفر تنظیم می‌کنیم.
- IV. کلید «مقدار» را روی $100\Omega \times$ قرار داده و با چرخاندن پیچ مقاومت متغیر $100\Omega \times$ ، مجدداً عقربه را روی صفر تنظیم می‌کنیم.
- V. کلید «مقدار» را روی $10k\Omega \times$ قرار داده و با چرخاندن پیچ مقاومت متغیر $10k\Omega \times$ ، باز عقربه را روی صفر تنظیم می‌کنیم.

با انجام پنج مرحله‌ی فوق صفر اهم‌سنج تنظیم شده و اصطلاحاً روی هر سه پله کالیبره شده است. ممکن است به علت فرسودگی باتری‌های درون آوومتر، صفر بعضی از وضعیت‌ها تنظیم نشود. در این صورت باید با برداشتن درپوش جاباتری پشت آوومتر، باتری یا باتری‌های فرسوده را عوض کرد (باتری ۱/۵ ولتی برای پله‌های $1\Omega \times$ و $100\Omega \times$ و باتری ۱۵ ولتی برای پله‌ی $10k\Omega \times$ است). اگر پله‌های $1\Omega \times$ و $100\Omega \times$ کار نکنند، باید فیوز یک آمپری درون جاباتری را واریسی کرد. هرگز با اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل دو سر باتری نمی‌توان از نو و کهنه بودن آن آگاهی یافت.

حال که «صفر مقاومت» تنظیم شده است می‌توان از اهم‌سنج برای اندازه‌گیری مقاومت استفاده کرد. برای این کار «انتخابگر «مقدار»» را روی پله‌ی $1\Omega \times$ قرار داده و دو سر سیم اهم‌سنج را به دو سر مقاومت مورد نظر می‌بندیم. عددی که عقربه روی درجه‌بندی مربوط به Ω نشان می‌دهد، مقدار مقاومت مورد نظر است. اگر انحراف عقربه کم باشد، می‌توان انتخابگر «مقدار» را روی پله‌ی $100\Omega \times$ قرار داد. در این حالت صد برابر عددی که عقربه نشان می‌دهد برابر مقدار مقاومت است. اگر باز هم انحراف عقربه کم بود می‌توان از پله‌ی $10k\Omega \times$ استفاده کرد. در این صورت مقدار مقاومت ۱۰ برابر عددی است که عقربه نشان می‌دهد ولی واحد آن به جای اهم، کیلو اهم است.

توجه! در موقع اندازه‌گیری مقاومت باید توجه داشته باشیم که مقاومت مورد نظر با دیگر اجزای مدار (مقاومت، باتری و) موازی نباشد.

۴- دقت اندازه‌گیری‌ها

هرگاه کمیتی اندازه‌گیری می‌شود باید دقت آن نیز مشخص شود. «دقت هر وسیله کم‌ترین مقدار تغییراتی است که آن وسیله قادر به اندازه‌گیری آن است». بدیهی است که دقت اندازه‌گیری یک وسیله الزماً مقدار ثابتی نیست و بسته به مقدار مورد اندازه‌گیری، دقت اندازه‌گیری متفاوت خواهد بود.

دقت در اندازه‌گیری جریان و اختلاف پتانسیل: مثال ۶ را مجدداً در نظر می‌گیریم. روی کمان «۰-۱۰»، بین هر دو عدد متوالی (مثلاً ۰ و ۱) به ده قسمت مساوی تقسیم شده است. چون آوومتر در پله‌ی $A = 0.1$ است، فاصله‌ی بین خطوط ریز (که کوچک‌ترین قسمت روی درجه‌بندی «۰ تا ۱۰» هستند) برابر است با:

$$\Delta I = \frac{0.1}{10} \times 0.1 \text{ A} = 0.001 \text{ A} = 1 \text{ mA}$$

بنابراین دقت اندازه‌گیری 1 mA بوده و جریان اندازه‌گیری شده در مثال ۶ را باید به صورت $I = (52 \pm 1) \text{ mA}$ بنویسیم.

حال مثال ۷ را در نظر بگیرید. برای خواندن عقربه، از درجه‌بندی «۰-۳» استفاده شد. چون کمان بین هر دو عدد متوالی در این درجه‌بندی به بیست قسمت مساوی تقسیم شده است و آوومتر نیز در پله‌ی $A = 10$ بوده است، دقت اندازه‌گیری جریان برابر $\Delta I = \left(\frac{1}{20}\right) \times 10 \text{ A} \approx 0.2 \text{ A}$ است و جریان اندازه‌گیری شده در آن مثال را باید به صورت $I = (0.3 \pm 0.2) \text{ A}$ نوشت.

همان طور که دیده می‌شود دقت این اندازه‌گیری بسیار بد است (ممکن است خطایی تا بزرگی حدود ۶۰٪ در آن وجود داشته باشد). هر چه انحراف عقربه در اندازه‌گیری جریان و اختلاف پتانسیل بیشتر باشد، دقت اندازه‌گیری بیشتر است. بنابراین تا جایی که مجاز هستیم باید از پله‌های پایین‌تر استفاده کنیم (ر. ک. پرسش ۱۱).

دقت در اندازه‌گیری مقاومت: درجه‌بندی کمان مربوط به مقاومت یکسان نیست، بنابراین حتی برای یک پله‌ی معین (مثلاً 1Ω) دقت اندازه‌گیری، یک عدد مشخص نیست. اگر عقربه در حدود وسط صفحه (بین اعداد ۲۰ تا ۳۰) باشد، دقت اندازه‌گیری حدود ۳٪ است (۰/۰۳ مقدار مقاومت). این عدد در بقیه‌ی جاها بیش‌تر خواهد بود. پس بهترین دقت در اندازه‌گیری مقاومت هنگامی است که عقربه تقریباً در وسط قرار داشته باشد. برای تعیین دقت اندازه‌گیری مقاومت، اختلاف خطی (درجه‌ای) را که عقربه روی آن قرار دارد تا خط (درجه‌ی) قبلی و خط (درجه‌ی) بعدی به دست آورده و میانگین آن دو را برای دقت اندازه‌گیری به کار می‌بریم.

مثال ۸: انتخابگر سمت چپ روی 1Ω و انتخابگر سمت راست روی پله‌ی 100Ω است (صفر مقاومت روی این پله قبلاً تنظیم شده است). عقربه تقریباً روی عدد 50 قرار دارد. مقدار مقاومت $R = 50 \times 100 \Omega = 5000 \Omega$ است. خط قبل از عدد 50، عدد 48 و خط بعد از عدد 50، عدد 55 است؛ در نتیجه:

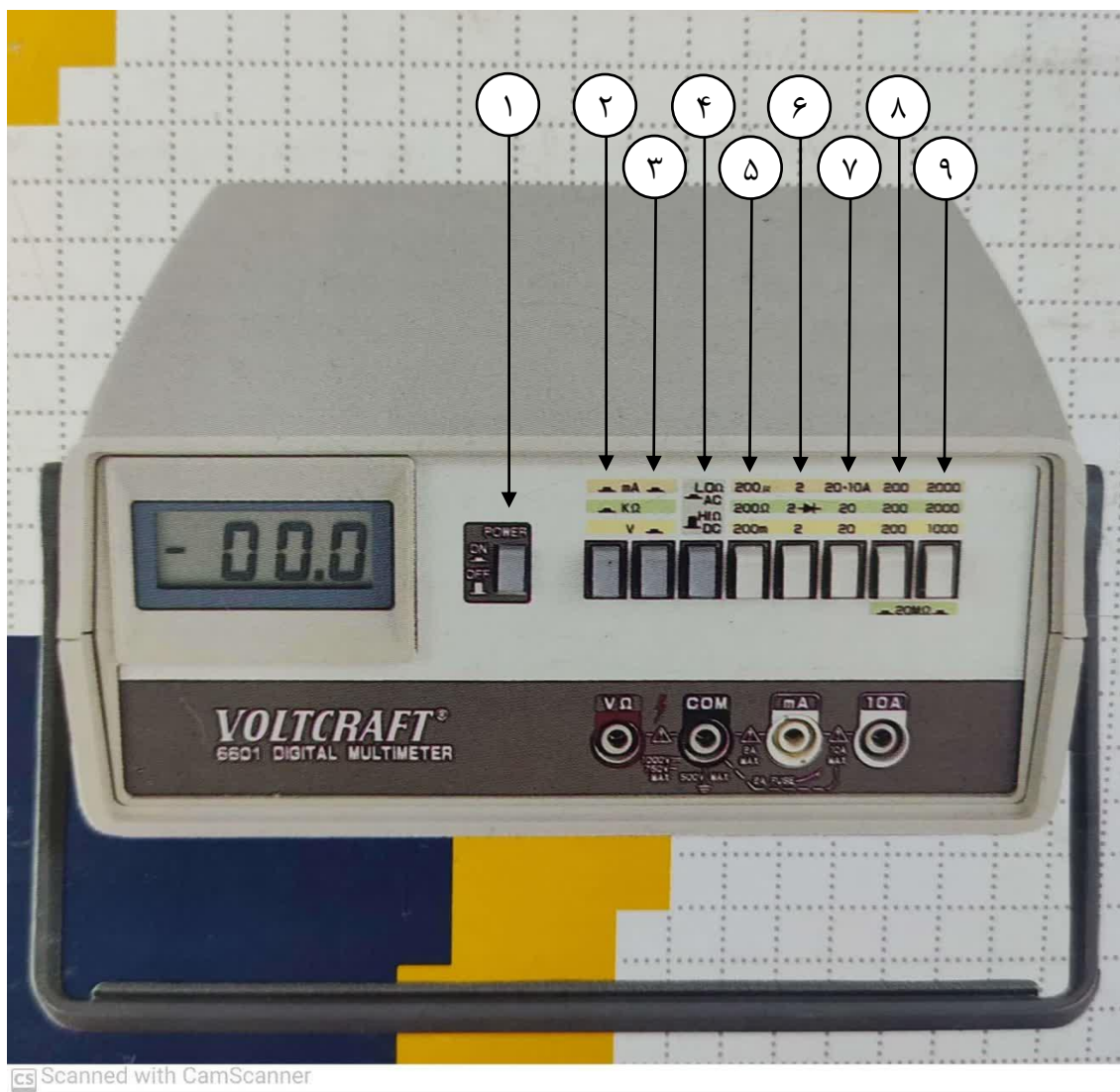
$$\Delta R = \frac{|55 - 48|}{2} \times 100_{\Omega} = 350_{\Omega}$$

با توجه به این که عدد خوانده شده از روی خط کش دارای ۲ رقم بامعنی است و دقت را معمولاً با یک رقم معنی دار نشان می دهیم، مقدار مقاومت اندازه گیری شده را باید به صورت $R = (5.0 \pm 0.4) \text{ k}\Omega$ نوشت.

آوومتر رقمی (دیجیتال) VOLTcraft 6601

مشخصات کلی

آوومترهای رقمی معمولاً از دقت و حساسیت بالاتری نسبت به آوومترهای مکانیکی برخوردار هستند و به همین دلیل باید آن ها را با دقت بیشتری به کار برد. در شکل ۶، تصویر آوومتر رقمی VOLTcraft 6601 دیده می شود که شامل سه قسمت «ورودی»، «کلیدهای کنترل» و «صفحه نمایش» است و در ادامه به توضیح مختصر قسمت های آن می پردازیم.



شکل ۶

۱- قسمت ورودی

از چهار ترمینال $V\Omega$ و COM و mA و 10A و دو سیم رابط تشکیل شده است. ترمینال COM زمین

مولتی‌متر است و همواره یکی از سیم‌ها باید به آن وصل باشد. برای اندازه‌گیری مقاومت تا ۲۰ مگا اهم و اختلاف پتانسیل تا ۷۵۰ ولت متناوب و ۱۰۰۰ ولت مستقیم، سیم دوم باید به ورودی $V\Omega$ وصل شود. حال آن که برای اندازه‌گیری جریان‌های تا ۲ آمپر، ورودی دوم ترمینال mA و برای اندازه‌گیری جریان‌های بین ۲ تا ۱۰ آمپر، ترمینال 10A است.

۲- کلیدهای کنترل

این کلیدها روی شکل ۶ با اعداد ۱ تا ۹ مشخص شده‌اند. کلید ۱ دکمه‌ی روشن و خاموش است. با فشردن این دکمه، آوومتر روشن می‌شود. فشار مجدد آن آوومتر را خاموش می‌کند. برای سالم ماندن باتری‌های درون مولتی‌متر، پس از مصرف حتماً دستگاه را خاموش کنید. کلیدهای ۲ و ۳ مکمل یکدیگرند و حالت دستگاه را مشخص کنند. اگر فقط کلید ۲ داخل (ON) باشد، دستگاه اهم‌سنج است و اگر فقط کلید ۳ داخل باشد، دستگاه ولت‌سنج است. اگر هر دو کلید داخل باشند دستگاه آمپر‌سنج خواهد بود. کلید ۴ برای اندازه‌گیری مؤلفه‌ی مستقیم یا متناوب اختلاف پتانسیل و شدت جریان به کار برده می‌شود. اگر بخواهیم مؤلفه DC کمیت مورد نظر را اندازه بگیریم، این کلید را بیرون (OFF) و برای کمیت‌های AC این کلید را در حالت فشرده قرار می‌دهیم. برای اندازه‌گیری مقاومت همواره این کلید باید بیرون باشد ($Hi\Omega$).

پنج کلید سفید رنگی که با شماره‌های ۵ تا ۹ مشخص شده‌اند، کلیدهای «مقدار» هستند. در هر اندازه‌گیری (بجز اندازه‌گیری مقاومت‌های بسیار زیاد تا ۲۰ مگا اهم) فقط یکی از این پنج کلید باید داخل باشد. بیشینه (حداکثر) مقدار قابل اندازه‌گیری به کمک هر یک از کلیدها، روی سه نوار رنگی که بالای آن‌ها رسم شده، نوشته شده است. نوار بالایی برای شدت جریان، نوار دوم برای مقاومت و نوار پایینی برای ولتاژ است. واحد این اعداد به ترتیب mA و $k\Omega$ و V است (که در بالای کلیدهای ۲ و ۳ نوشته شده است) مگر آن که پیشوند یا واحد دیگری پس از آن اعداد نوشته شده باشد. مثلاً در بالای کلید سفید رنگ شماره‌ی ۶، علامت $2 \frac{2}{2}$ درج شده است و این به معنی آن است که در هنگام اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل تا ۲ ولت یا مقاومت تا ۲ کیلو اهم یا شدت جریان تا ۲ میلی‌آمپر این کلید باید داخل باشد. در ضمن علامت دیود به معنی آن است که از اهم‌سنج در این حالت بهتر است برای آزمایش سالم بودن دیود استفاده کرد. دکمه‌ی ۵ برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل تا 20mV، مقاومت تا 200Ω و شدت جریان تا $200\mu A$ به کار می‌رود. این مقادیر برای دکمه‌ی ۷ به ترتیب 20V، $20k\Omega$ و 20mA است. همچنین هنگام استفاده از ورودی 10A، باید همین دکمه را به کار برد. برای اندازه‌گیری مقاومت‌های بسیار زیاد، کلیدهای ۸ و ۹ از «کلیدهای مقدار» را همزمان به داخل می‌فشریم. جدول ۳، راهنمای استفاده از کلیدها می‌باشد.

۳- صفحه‌ی نمایش

نمایشگر یک LCD (Liquid Crystal Display) است که از چهار رقم، یک نقطه‌ی شناور و یک علامت «-» تشکیل شده است. فرمت نمایش برای کلیدهای «مقدار» کم‌تر از ۱۰ به شکل ##### (سه رقم اعشار)، برای کم‌تر از ۱۰۰ به شکل ###.##، برای کم‌تر از ۱۰۰۰ به شکل ####.# و برای بیش‌تر از ۱۰۰۰ به شکل ##### است که

ممکن است در سمت چپ آن‌ها علامت منفی باشد (از علامت # برای نمایش یک رقم استفاده شده است). چنان چه رقم صحیح اعداد بیش از فرمت نمایش انتخابی باشد، فقط عدد «۱» در سمت چپ صفحه نمایش داده می‌شود.

کلیدهای «وضعیت» (دکمه‌های خاکستری)			کلیدهای حداکثر «مقدار» قابل اندازه‌گیری (دکمه‌های سفید)					حالت مولتی‌متر
شماره‌ی ۲	شماره‌ی ۳	شماره‌ی ۴	شماره‌ی ۵	شماره‌ی ۶	شماره‌ی ۷	شماره‌ی ۸	شماره‌ی ۹	
 ON	 OFF	 OFF	200 Ω	2 KΩ	20 KΩ	200 KΩ	2000 KΩ	اهم‌سنج
						* 20 MΩ		
 OFF	 ON	 ON	200 mV	2 V	20 V	200 V	1000 V	ولت‌سنج AC
		 OFF						ولت‌سنج DC
 ON	 ON	 ON	200 μA	2 mA	† 10 A / 20 mA	200 mA	2000 mA	آمپر‌سنج AC
		 OFF						آمپر‌سنج DC

* در صورت داخل بودن هم‌زمان هر دو دکمه.

$\dagger$ در صورت استفاده از ورودی ۱۰ آمپر.

جدول ۳

چند تذکر

- قبل از وصل کردن آوومتر، مطمئن شوید که برای اندازه‌گیری کمیت مورد نظر، دستگاه در وضعیت مناسبی قرار داشته باشد و ترمینال‌های ورودی، کلیدهای «وضعیت» و کلیدهای «مقدار» درست انتخاب شده باشد.
- اگر از حدود شدت جریان یا ولتاژ اطلاعی نداشته باشید، از بالاترین پله شروع کنید.
- بیش‌ترین مقدار ولتاژ یا جریانی که آوومتر مکانیکی می‌تواند اندازه بگیرد همان است که انتخابگر «مقدار» مقابل آن عدد قرار دارد. قبل از تغییر پله (مثلاً از پله ۳۰ ولت به پله ۱۰ ولت) از مجاز بودن آن مطمئن شوید. همچنین بیش‌ترین مقدار ولتاژ یا جریانی که آوومتر رقمی می‌تواند اندازه بگیرد همان دکمه‌ی سفید رنگی است که به داخل فشرده شده است.
- هنگام استفاده از آمپرسنج وجود مصرف کننده ضروری است. هرگز آمپرسنج را به دو سر منبع وصل نکنید زیرا خواهد سوخت (اتصال کوتاه).
- همیشه پس از پایان کار با مولتی‌متر آن را خاموش کنید.

وسایل آزمایش: باتری 1.5 ولتی، منبع تغذیه‌ی مستقیم و متناوب، آوومتر رقمی (دیجیتال)، آوومتر مکانیکی (عقربه‌ای)، جعبه مقاومت، مقاومت ۲۷ اهمی، مقاومت ۵۶۰۰ اهمی و ۲ عدد سیم رابط.

دستور کار

الف) اندازه‌گیری ولتاژ

۱- ولت‌سنج مکانیکی (عقربه‌ای) را روی پله‌ی 3V مستقیم (DC) تنظیم کرده و ولتاژ دو سر باتری را به کمک دو سیم که در اختیار دارید، اندازه بگیرید. آزمایش را با تنظیم ولت‌سنج روی پله‌ی 10V مستقیم تکرار کنید و نتایج را در جدول ۴ یادداشت کنید.

خواندن از کمان ۰ تا ۳						خواندن از کمان ۰ تا ۱۰					
پله‌ی 3V			پله‌ی 10V			پله‌ی 3V			پله‌ی 10V		
V (v)	ΔV (v)	$\frac{\Delta V}{V}$	V (v)	ΔV (v)	$\frac{\Delta V}{V}$	V (v)	ΔV (v)	$\frac{\Delta V}{V}$	V (v)	ΔV (v)	$\frac{\Delta V}{V}$

جدول ۴- ولتاژ باتری به کمک ولت‌سنج عقربه‌ای

۲- با در نظر داشتن این که مناسب‌ترین پله برای اندازه‌گیری، پله‌ای است که روی آن دقت نسبی اندازه‌گیری، کم‌ترین مقدار باشد، برای ولتاژهای جدول ۴، بهترین مقدار اندازه‌گیری شده را با توجه به تعداد ارقام بامعنی آن (خطا با یک رقم معنی‌دار) گزارش کنید:

$$V \pm \Delta V = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots) \text{ v}$$

۳- بهترین اندازه‌گیری جدول ۴ را با مقدار انتظاری ولتاژ باتری مقایسه نمایید (منظور از مقایسه، محاسبه‌ی ابیراهی نسبی یا خطای نسبی می‌باشد که همان قدر مطلق اختلاف «مقدار انتظاری» با «مقدار اندازه‌گیری شده» است تقسیم بر «مقدار انتظاری»).

۴- ولتاژ همان باتری را این بار با ولت‌سنج رقمی (دیجیتال) مستقیم روی پله‌های 2V و 20V اندازه بگیرید و نتایج را در جدول ۵ ثبت کنید.

پله‌ی 2V			پله‌ی 20V		
V (v)	ΔV (v)	$\frac{\Delta V}{V}$	V (v)	ΔV (v)	$\frac{\Delta V}{V}$

جدول ۵- ولتاژ باتری به کمک ولت‌سنج رقمی (دیجیتال)

۵- بهترین مقدار اندازه‌گیری شده جدول ۵ را با توجه به تعداد ارقام بامعنی آن گزارش کنید:

$$V \pm \Delta V = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots) \text{ v}$$

۶- بهترین اندازه‌گیری جدول ۵ را با مقدار انتظاری ولتاژ باتری مقایسه نمایید.

۷- منبع تغذیه‌ای را که در اختیار دارید را روشن کرده و انتخاب‌گر دامنهی ولتاژ را روی پله‌ی دوم آن قرار دهید. با وصل کردن دو سیم به خروجی DC منبع تغذیه، ولتاژ مستقیم آن را یک بار با ولت‌سنج مکانیکی (روی پله‌ی 10V) و یک بار با ولت‌سنج رقمی (روی پله‌ی 20V) اندازه بگیرید و نتایج را در جدول ۶ بنویسید.

پله‌ی 10V ولت‌سنج عقربه‌ای			پله‌ی 20V ولت‌سنج رقمی		
V (v)	ΔV (v)	$\frac{\Delta V}{V}$	V (v)	ΔV (v)	$\frac{\Delta V}{V}$

جدول ۶- ولتاژ منبع تغذیه DC

۸- ولت‌سنج مکانیکی را روی پله‌ی 10V متناوب (AC) و ولت‌سنج رقمی را روی پله‌ی 20V متناوب (AC) تنظیم کرده و مشابه مرحله‌ی ۷، این بار با اتصال به ورودی AC منبع تغذیه (بدون تغییر انتخاب‌گر دامنهی ولتاژ منبع)، ولتاژ متناوب منبع تغذیه را اندازه‌گیری کرده و نتایج را در جدول ۷ ثبت کنید. آیا در پر کردن جداول ۶ و ۷ به کمک ولت‌سنج دیجیتال، از پله‌های دیگر آن نیز می‌توان استفاده کرد؟

پله‌ی 10V ولت‌سنج عقربه‌ای			پله‌ی 20V ولت‌سنج رقمی		
V (v)	ΔV (v)	$\frac{\Delta V}{V}$	V (v)	ΔV (v)	$\frac{\Delta V}{V}$

جدول ۷- ولتاژ منبع تغذیه AC

ب) اندازه‌گیری مقاومت

۹- با تنظیم دو آوومتر بر روی حالت اهم‌سنج و تنظیم صفر اهم‌سنج مکانیکی به وسیله‌ی اتصال کوتاه (کالیبره کردن دستگاه)، مقاومت‌های رنگی که در اختیار شما قرار گرفته است را روی پله‌های مختلف اندازه بگیرید و در جدول ۸ ثبت نمایید.

اهم‌سنج عقربه‌ای									اهم‌سنج رقمی								
پله‌ی 1Ω ×			پله‌ی 100Ω ×			پله‌ی $10k\Omega$ ×			پله‌ی 200Ω			پله‌ی $2k\Omega$			پله‌ی $20k\Omega$		
$R(\Omega)$	$\Delta R(\Omega)$	$\frac{\Delta R}{R}$	$R(k\Omega)$	$\Delta R(k\Omega)$	$\frac{\Delta R}{R}$	$R(k\Omega)$	$\Delta R(k\Omega)$	$\frac{\Delta R}{R}$	$R(\Omega)$	$\Delta R(\Omega)$	$\frac{\Delta R}{R}$	$R(k\Omega)$	$\Delta R(k\Omega)$	$\frac{\Delta R}{R}$	$R(k\Omega)$	$\Delta R(k\Omega)$	$\frac{\Delta R}{R}$

جدول ۸- اندازه‌گیری مقاومت‌های رنگی

۱۰- با در نظر داشتن مناسب‌ترین پله برای اندازه‌گیری هر مقاومت، برای هر اهم‌سنج، بهترین مقدار اندازه‌گیری شده را با توجه به تعداد ارقام بامعنی آن به صورت زیر گزارش کنید (توجه داشته باشید که دقت اندازه‌گیری را با یک رقم بامعنی گزارش کنید):

بهترین اندازه‌گیری مقاومت شماره‌ی ۱ توسط اهم‌سنج عقربه‌ای $R_1 \pm \Delta R_1 = (\dots \pm \dots) \text{ k}\Omega$ →

بهترین اندازه‌گیری مقاومت شماره‌ی ۲ توسط اهم‌سنج عقربه‌ای $R_2 \pm \Delta R_2 = (\dots \pm \dots) \text{ k}\Omega$ →

بهترین اندازه‌گیری مقاومت شماره‌ی ۱ توسط اهم‌سنج رقمی $R_1 \pm \Delta R_1 = (\dots \pm \dots) \text{ k}\Omega$ →

بهترین اندازه‌گیری مقاومت شماره‌ی ۲ توسط اهم‌سنج رقمی $R_2 \pm \Delta R_2 = (\dots \pm \dots) \text{ k}\Omega$ →

۱۱- مقدار مقاومت اندازه‌گیری شده (روی مناسب‌ترین پله) که در قسمت ۱۰ به دست آوردید را با مقدار روی مقاومت (مقدار انتظاری) مقایسه کنید (منظور از مقایسه، محاسبه‌ی خطای نسبی است).

۱۲- به کمک جعبه مقاومت، مقاومت‌های ۱۸۷ و ۶۱۰۳ اهم را درست کرده و هر یک را به کمک اهم‌سنج‌ها روی پله‌های مختلف اندازه گرفته، در جدول ۹ درج کنید. ضمن محاسبه‌ی دقت نسبی هر اندازه‌گیری، مقدار مقاومت با مناسب‌ترین پله را مانند قبل یافته و با مقدار روی جعبه مقاومت (مقدار انتظاری) مقایسه کنید.

اهم‌سنج عقربه‌ای									اهم‌سنج رقمی								
پله‌ی $1\Omega \times$			پله‌ی $100\Omega \times$			پله‌ی $10\text{k}\Omega \times$			پله‌ی 200Ω			پله‌ی $2\text{k}\Omega$			پله‌ی $20\text{k}\Omega$		
$R(\Omega)$	$\Delta R(\Omega)$	$\frac{\Delta R}{R}$	$R(\Omega)$	$\Delta R(\Omega)$	$\frac{\Delta R}{R}$	$R(\Omega)$	$\Delta R(\Omega)$	$\frac{\Delta R}{R}$	$R(\Omega)$	$\Delta R(\Omega)$	$\frac{\Delta R}{R}$	$R(\Omega)$	$\Delta R(\Omega)$	$\frac{\Delta R}{R}$	$R(\Omega)$	$\Delta R(\Omega)$	$\frac{\Delta R}{R}$

جدول ۹- اندازه‌گیری مقاومت‌های جعبه مقاومت

بهترین اندازه‌گیری مقاومت شماره‌ی ۱ توسط اهم‌سنج عقربه‌ای $R_1 \pm \Delta R_1 = (\dots \pm \dots) \text{ k}\Omega$ →

بهترین اندازه‌گیری مقاومت شماره‌ی ۲ توسط اهم‌سنج عقربه‌ای $R_2 \pm \Delta R_2 = (\dots \pm \dots) \text{ k}\Omega$ →

بهترین اندازه‌گیری مقاومت شماره‌ی ۱ توسط اهم‌سنج رقمی $R_1 \pm \Delta R_1 = (\dots \pm \dots) \text{ k}\Omega$ →

بهترین اندازه‌گیری مقاومت شماره‌ی ۲ توسط اهم‌سنج رقمی $R_2 \pm \Delta R_2 = (\dots \pm \dots) \text{ k}\Omega$ →

پرسش‌ها

۱- فرق بین «دقت اندازه‌گیری» یک کمیت و «ابراهی» یا «خطای» آن چیست؟ چه رابطه‌ای باید بین بزرگی آن‌ها برقرار باشد؟

۲- انحراف استاندارد چیست؟

۳- چرا برای محاسبه‌ی دقت اندازه‌گیری، دقت‌ها را همواره با یکدیگر جمع می‌کنیم؟

- ۴- از سطر آخر جدول ۱ (صفحه‌ی ۱۲) خط‌گیری کنید و رابطه‌ی مربوط به خطای C یعنی ΔC را برحسب V ، t ، R ، ε و خطاهای آنها به دست آورید.
- ۵- شیب و عرض از مبدا خط ترسیم شده در شکل ۱ (صفحه‌ی ۱۲) را به دست آورید.
- ۶- آیا محاسبه‌ی مقادیر متوسط X و Y و انحراف‌های استاندارد آنها برای داده‌های جدول ۲ (صفحه‌ی ۱۲) مفهومی دارد؟
- ۷- به کمک روابط ۵، ۶ و ۸ (صفحه‌ی ۱۳)، دقت شیب و عرض از مبدا که در سوال ۵ به دست آورده‌اید را محاسبه کنید.
- ۸- چه فرقی بین شیب فیزیکی یک خط و شیب هندسی آن (که غالباً ضریب زاویه خوانده می‌شود) وجود دارد؟
- ۹- چرا برای تعیین عرض از مبدا، معمولاً خط را آن قدر ادامه نمی‌دهیم تا محور قائم را قطع کند و آن طول را اندازه بگیریم؟
- ۱۰- روابط خط‌گیری مربوط به مثال‌های ۴ و ۵ را اثبات کنید.
- ۱۱- اگر در مثال ۷ از درجه‌بندی ۱۰-۰ استفاده می‌کردیم، دقت اندازه‌گیری چقدر می‌شد؟ اگر به جای پله‌ی ۱۰ هم از پله‌ی 1 A و هم از درجه‌بندی ۱۰-۰ استفاده می‌کردیم، دقت اندازه‌گیری چقدر بود؟ آیا مجاز هستیم که انتخابگر «مقدار» را از پله‌ی 1 A یک پله دیگر پایین بیاوریم؟
- ۱۲- با توجه به رابطه‌ی ۵ (صفحه‌ی ۱۳) توضیح دهید که چرا برای تعیین شیب خط، دو نقطه را تا حد امکان دور از هم انتخاب می‌کنیم؟
- ۱۳- مقاومت درونی آوومتر مکانیکی 8MK6 در حالت‌های ولت‌سنج $3 \sim V$ و $10 \sim V$ و $3 \sim V$ و $10 \sim V$ چه قدر است؟ از عدد لیاقت (حساسیت) پله‌های ولت‌سنج که در صفحه‌ی ۱۹ ذکر شده است، استفاده نمایید.
- ۱۴- آیا قبل از اندازه‌گیری‌های جدول ۴ می‌توان حدس زد که اندازه‌گیری روی کدام کمان ولت‌سنج عقربه‌ای دقیق‌تر خواهد بود؟ چگونه؟

آزمایش جلسه دوم:

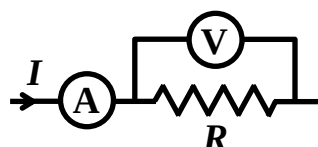
تعیین مقاومت مجهول

هدف آزمایش: اندازه‌گیری یک مقاومت مجهول با پنج روش مختلف و مقایسه‌ی آن‌ها.

زمینه‌ی نظری

علاوه بر اندازه‌گیری یک مقاومت به کمک اهمتر و یا به روش رنگ‌خوانی (ر.ک. آزمایش جلسه اول، آشنایی با آوومتر) روش‌های دیگری نیز برای این اندازه‌گیری وجود دارد. در این جا چهار روش دیگر برای اندازه‌گیری مقاومت توضیح داده می‌شود:

الف) استفاده از قانون اهم



شکل ۱

طبق شکل ۱، اگر افت ولتاژ بین دو سر یک رسانا، V ، را بر حسب جریانی که از آن می‌گذرد، I ، رسم کنیم، با فرض ثابت بودن دمای رسانا، یک خط مستقیم به دست می‌آید که معادله‌ی آن چنین است:

$$V = RI \quad (۱)$$

این معادله تعریف مقاومت است. قانون اهم بیان می‌کند که ضریب تناسب، R ، برای رساناهای فلزی (در دمای ثابت) ثابت بوده و مستقل از اختلاف پتانسیل دو سر رساناست و چنین به دست می‌آید:

$$R = \frac{\delta V}{\delta I} = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} \quad (۲)$$

ب) روش جانشینی

در روش «الف» ولتاژ اندازه‌گیری شده به مقاومت درونی ولت‌سنج بستگی دارد. اگر مقاومت درونی ولت‌سنج را با R_V نمایش دهیم، ولتاژی که ولت‌سنج نشان می‌دهد در واقع برابر است با:

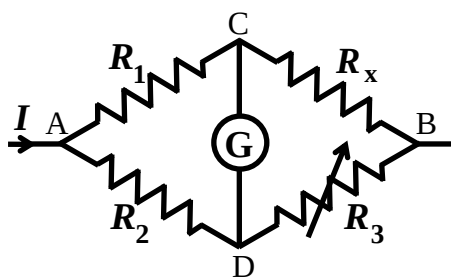
$$V' = RI \left(\frac{R_V}{R_V + R} \right) \quad (۳)$$

اگر $R_V \gg R$ آن‌گاه عبارت داخل پرانتز برابر یک شده و رابطه‌ی ۲ همان رابطه‌ی ۱ خواهد شد. اگر $R_V \geq 100 R$ می‌توان امید داشت که اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R با دقت انجام شود.

اگر مقاومت‌های معلوم و دقیقی در اختیار داشته باشیم از روش جانشینی برای اندازه‌گیری مقاومت مجهول استفاده می‌کنیم. در این روش، نخست مقاومت مورد نظر را با یک آمپرسنج به طور سری به یک منبع تغذیه وصل می‌کنیم و جریانی که از مدار می‌گذرد، I_0 ، را اندازه می‌گیریم، سپس بدون آن که بقیه‌ی اجزا مدار را دست بزنیم، مقاومت را از مدار خارج کرده و به جای آن یک جعبه مقاومت قرار می‌دهیم. مقاومت جعبه را آن قدر تغییر می‌دهیم تا همان جریان I_0 از مدار بگذرد. در این حالت، مقاومت جعبه برابر مقاومت مورد نظر است.

ج) روش پل وستون

در مدار شکل ۲، R_1 و R_2 مقاومت‌های معلومی هستند و R_3 جعبه مقاومت است. R_x مقاومت مجهولی است که می‌خواهیم آن را اندازه بگیریم. اگر R_3 را آن قدر تغییر دهیم تا جریانی از گالوانومتر G نگذرد (یعنی



شکل ۲

نقاط C و D هم پتانسیل باشند)، گوئیم پل در حال تعادل است و داریم:

$$R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2} \quad (۴)$$

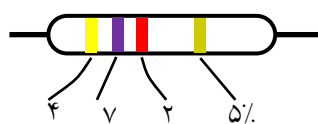
د) تعیین مقاومت به کمک رنگ‌های آن

بر روی هر مقاومت سه یا چهار نوار رنگی وجود دارد که به

کمک این نوارها، مقدار مقاومت و خطای آن به دست می‌آید. سه تا از این نوارها مقدار مقاومت و نوار چهارم (در صورت وجود) مقدار خطا را مشخص می‌کند (جدول ۱). اگر مقاومتی دارای سه رنگ باشد، خطای آن ۲۰٪ است. نوار اول، سیاه، طلایی و نقره‌ای نیست و معمولاً به سر مقاومت نزدیکتر است.

نقره‌ای	طلایی	سفید	خاکستری	بنفش	آبی	سبز	زرد	نارنجی	قرمز	قهوه‌ای	سیاه	رنگ
—	—	9	8	7	6	5	4	3	2	1	—	نوار اول (عدد)
—	—	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	نوار دوم (عدد)
10^{-2}	10^{-1}	10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	× نوار سوم (ضریب)
10 %	5 %	0.9 %	0.8 %	0.7 %	0.6 %	0.5 %	0.4 %	0.3 %	0.2 %	0.1 %	—	نوار چهارم (خطا)

جدول ۱



شکل ۳

مثلاً مقاومت دارای نوارهای «طلایی - قرمز - بنفش - زرد» برابر $R = (4.7 \pm 0.2) \text{ k}\Omega$ است (شکل ۳). برخی از مقاومت‌های جدید با دقت بسیار زیادی درست می‌شوند. چون روش بالا فقط دو رقم معنی‌دار به دست می‌دهد؛ در این مقاومت‌ها، تعداد نوارهای رنگی را به پنج عدد رسانده‌اند. قرارداد رنگ‌خوانی

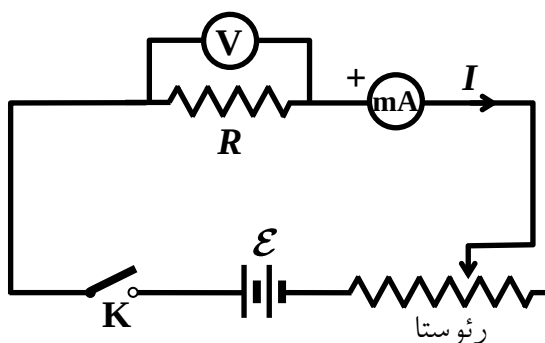
برای این مقاومت‌ها چنین است که نوار اول و دوم و سوم عدد هستند، نوار چهارم ضریب است و نوار پنجم معرف خطا می‌باشد. مثلاً اگر نوارها (از چپ به راست) قرمز (2)، آبی (6)، سبز (5)، زرد ($\times 10^4$) و نارنجی ($\pm 0.3 \%$) باشند، مقدار مقاومت برابر با $R = (265 \pm 0.8) \times 10^4 \Omega$ خواهد بود.

وسایل آزمایش: منبع تغذیه‌ی مستقیم، ۲ عدد آومتر مکانیکی (عقربه‌ای)، برد مدار پل و تستون، جعبه مقاومت، رئوس‌تا، مقاومت مجهول، کلید قطع و وصل دو راهه (spdt)، ۸ عدد سیم رابط.

دستور کار

الف) روش قانون اهم

۱- برای انجام آزمایش به روش قانون اهم، مدار شکل ۵ را ببندید (به جای کلید قطع و وصل یک راهه‌ی K، می‌توانید از ورودی com و یکی از دو ورودی a یا b کلید قطع و وصل دو راهه‌ی S استفاده نمایید). برای شروع، ولتاژ منبع تغذیه را روی کم‌ترین مقدار قرار دهید و پس از بستن کلید K، شدت جریان مدار، I، و



شکل ۵

اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت مجهول، V ، را با توجه به دقت میلی آمپرسنج و ولت سنج اندازه بگیرید (با تغییر دادن محل لغزندهی رئوستا می توان مقادیر عددی نسبتاً صحیحی برای V و I اختیار کرد).

۲- با تغییر دادن ولتاژ منبع تغذیه و جابجا کردن لغزندهی رئوستا، مقادیر دیگری برای V و I به دست آورید و جدول ۲ را پر کنید.

V (v)							
I (mA)							

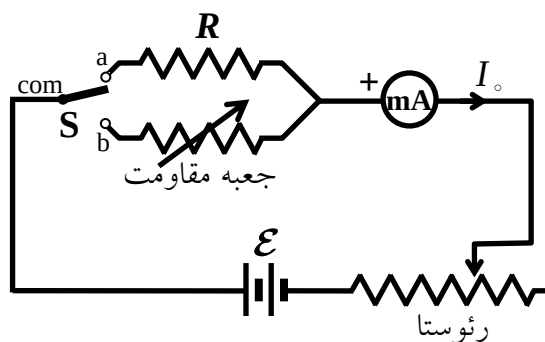
جدول ۲

۳- نمودار V بر حسب I را در یک کاغذ میلی متری با انتخاب مبدأ و مقیاس مناسب رسم کنید. این نمودار باید یک خط مستقیم باشد. شیب این خط که برابر R است را اندازه بگیرید.

۴- بدون در نظر گرفتن خطای ناشی از مقاومت داخلی ولت سنج، مقدار دقت اندازه گیری R را به دست آورید:

$$\Delta R = R \left(\frac{\Delta V_2 + \Delta V_1}{|V_2 - V_1|} + \frac{\Delta I_2 + \Delta I_1}{|I_2 - I_1|} \right) \quad (5)$$

در این رابطه، $V_1, V_2, I_1, I_2, \Delta V_1, \Delta V_2, \Delta I_1, \Delta I_2$ به ترتیب، مختصات و دقت اندازه گیری دو نقطه ای هستند که به کمک آن ها شیب خط را حساب می کنید.



شکل ۶

(ب) روش جانشینی

۵- برای انجام آزمایش به روش جانشینی، مدار شکل ۶ را ببندید. توجه داشته باشید که مقاومت رئوستا نباید خیلی بیشتر از R باشد. کلید S را در وضعیت a قرار داده، جریان I_0 را اندازه بگیرید.

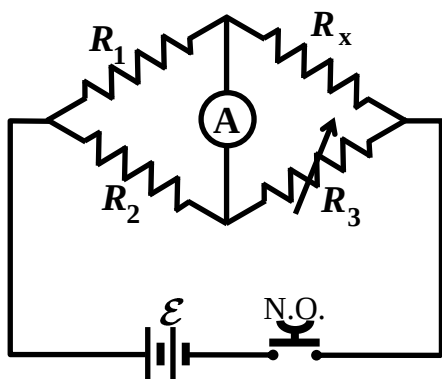
$$I_0 = \dots\dots\dots \text{ mA}$$

۶- پس از اندازه گیری جریان I_0 و بدون تغییر دامنهی ولتاژ منبع تغذیه و محل لغزندهی رئوستا، کلید S را به وضعیت b ببرید. قبل از این کار، برای جلوگیری از آسیب به آمپرسنج، مقدار مقاومت جعبه را زیاد (حداقل ۱ کیلو اهم) انتخاب کنید. حال مقدار مقاومت جعبه را آن قدر تغییر دهید تا جریانی که از مدار می گذرد همان I_0 شود. در این صورت مقدار مقاومت جعبه مقاومت برابر R است (چون ممکن است در مدتی که این تنظیم را انجام می دهید، تغییری رخ داده باشد، با تغییر وضعیت دادن کلید از a به b و بالعکس مطمئن شوید که جریان در حال عبور از مدار تغییری نمی کند). بنابراین با دقت جعبه مقاومت، مقاومت مجهول R به دست می آید

(دقت جعبه مقاومت، ۵ درصد مقدار مقاومتی است که از روی جعبه خوانده می‌شود). مقدار مقاومت را از روی جعبه یادداشت و خطای آن را محاسبه نمایید.

ج) روش پل وتستون

این آزمایش را باید با دقت انجام داد و نکات ایمنی آن را به درستی رعایت نمود.



شکل ۷

۷- مدار پل وتستون معمولاً به طور آماده در آزمایشگاه وجود دارد. با توجه به شکل ۷، به جای R_x ، مقاومت مجهول مورد نظر و به جای R_3 یک جعبه مقاومت قرار داده و مقاومت جعبه را بر روی مقدار صفر تنظیم کنید. کلید تعبیه شده بر روی برد مدار پل وتستون، یک کلید N.O. می‌باشد یعنی کلید بازی که فقط هنگام فشار دادن بسته است. اگر این کلید زرد رنگ را فشار دهید، جریان در مدار برقرار می‌گردد. به جای گالوانومتر در مدار شکل ۲، از یک آمپرسنج با دقت

قابل قبول در مدار شکل ۷ استفاده می‌کنیم. حتماً در شروع باید از بالاترین پله‌ی آمپرسنج (پله‌ی ۱۰ آمپر) استفاده شود (عدم رعایت این مسأله در شروع، باعث آسیب دیدن پله‌های حساس‌تر آمپرسنج خواهد گردید). مدار را به منبع تغذیه مستقیم وصل کنید و ولتاژ منبع را حداکثر ۶ ولت انتخاب کنید.

۸- کلید روی برد (دکمه‌ی زرد رنگ) را برای یک لحظه فشار داده و سپس رها کنید. به مقدار انحراف عقربه‌ی آمپرسنج و جهت آن توجه داشته باشید. اگر انحراف عقربه قابل مشاهده نیست، آمپرسنج را یک پله حساس‌تر می‌کنیم تا با فشردن کلید، انحرافی مشاهده شود. در صورت وجود انحراف برعکس و پس زدن عقربه، با دکمه‌ی معکوس‌کن، Rev MC، انحراف عقربه را در جهت صحیح قرار دهید.

۹- یکی از پله‌های میانی جعبه مقاومت را انتخاب و یک پله آن را زیاد کنید و مجدداً با فشار و نگه داشتن کلید برد، انحراف عقربه را زیر نظر بگیرید. برای عقربه دو حالت ممکن است رخ دهد: یا عقربه به صفر نزدیک‌تر شده و یا از صفر می‌شود. اگر انحراف عقربه‌ی آمپرسنج، به گونه‌ای است که عقربه از صفر رد می‌شود (عقربه پس می‌زند)، در این صورت، میزان مقاومت انتخابی جعبه به قدری زیاد بوده که باعث تغییر جهت جریان در شاخه‌ی وسط شده و لذا مقاومت جعبه را باید از این مقدار کم‌تر انتخاب کنید (در صورت نیاز از پله‌های کوچک‌تر جعبه استفاده شود). اگر انحراف عقربه کاهش پیدا کرد (عقربه به صفر نزدیک‌تر شد)، این تغییر مقاومت را آن قدر انجام دهید تا انحراف عقربه تقریباً به صفر برسد. واضح است که در تغییر مقاومت هر چه پیش می‌رویم باید از انتخابگرهای کوچک‌تر جعبه مقاومت استفاده نمود.

۱۰- آمپرسنج را یک پله پایین بیاورید (حساس‌تر کنید) و مجدداً با فشردن کلید، میزان انحراف عقربه‌ی آمپرسنج را مشاهده نمایید و مرحله‌ی ۹ را تکرار کنید. دقت داشته باشید که تغییرات داده شده در جعبه مقاومت در این مرحله باید بسیار کم‌تر از مرحله‌ی قبل باشد. هر بار که انحراف عقربه کم باشد، پله‌ی آمپرسنج (میلی آمپرسنج) را حساس‌تر کنید. هنگامی که میلی آمپرسنج در حساس‌ترین حالت خود (پایین‌ترین پله) بوده و

انحراف عقربه بسیار کم باشد، پل تقریباً به تعادل رسیده است.

۱۱- پس از آن که پل به تعادل رسید، مقدار مقاومت جعبه، R_3 را بخوانید و به کمک رابطه‌ی ۴، مقاومت R_x را محاسبه کنید.

R_1 (Ω) R_2 (Ω) R_3 (Ω)

$\Delta R_1 =$ (Ω) $\Delta R_2 =$ (Ω) $\Delta R_3 =$ (Ω)

۱۲- دقت جعبه مقاومت را ۵٪ بگیرید و به روش دیفرانسیل لگاریتمی از رابطه‌ی ۴، خطاگیری کرده، دقت نسبی و دقت مطلق R_x را به دست آورید.

د) روش اهمتر

۱۳- به کمک اهمتر، مقاومت مجهول و دقت آن را با توجه به دقت اهمتر روی مناسب‌ترین پله اندازه بگیرید (برای تنظیم کردن صفر اهمتر و اندازه‌گیری با آن، به صفحه‌ی ۱۳ آزمایش جلسه‌ی اول مراجعه نمایید).

ه) روش رنگ‌ها

۱۴- مقدار مقاومت و دقت آن را به کمک نوارهای رنگی روی آن تعیین کنید.

(— — — —) : رنگ‌ها به ترتیب از چپ به راست

۱۵- مقدار مقاومت‌های و دقت مطلق آن‌ها در مراحل قبل را با توجه به رقم معنی‌دار آن‌ها در جدول ۳ بنویسید و دقت نسبی آن‌ها را هم محاسبه کنید.

خواندن رنگ‌ها	اهمتر	پل و تستون	جانشینی	قانون اهم	روش اندازه‌گیری
					$R (\Omega)$
					$\Delta R (\Omega)$
					$\frac{\Delta R}{R}$

جدول ۳

پرسش‌ها

۱- توضیح دهید که در کدام یک از مدارها می‌توانستید از منبع متناوب استفاده کنید و در آن صورت آیا نتیجه‌ی بهتری به دست می‌آمد یا نه؟

۲- با توجه به شرط تعادل پل، رابطه‌ی ۴ را اثبات کنید.

۳- نقش رئوستا در مدار شکل ۶ چیست؟ چرا در بند ۵ گفته شده نباید مقدار آن خیلی زیاده‌تر از R باشد؟ آیا می‌توان آن را در مدار به کار نبرد؟

۴- به کمک رابطه‌ی ۲، رابطه‌ی ۵ را اثبات کنید.

۵- چرا در روش جانشینی، در آغاز قبل از قرار دادن کلید روی حالت b، باید مقدار مقاومت جعبه مقاومت را نسبتاً زیاد انتخاب کرد؟

۶- آیا در روش قانون اهم، مقاومت داخلی آمپرسنج در تعیین مقدار R تأثیری دارد؟ مقاومت داخلی ولتسنج چطور؟ توضیح دهید.

۷- اگر از ولتسنج $V \sim 3$ برای اندازه‌گیری ولتاژ دو سر یک مقاومت $1K\Omega$ استفاده کنیم، با توجه به رابطه‌های ۱ و ۳، چند درصد خطا مرتکب می‌شویم؟ (ابتدا، R_V را از صفحه‌ی ۱۹ و به کمک عدد لیاقت پله‌ی $V \sim 3$ ولتسنج به دست آورده و سپس خطای نسبی بین ولتاژ انتظاری رابطه‌ی ۱ (V) و ولتاژ واقعی رابطه‌ی ۳ (V') را محاسبه کنید)

آزمایش جلسه سوم:

بستگی مقاومت یک رسانا با طول و سطح مقطع

هدف آزمایش: بررسی عوامل موثر در مقاومت الکتریکی یک رسانا (طول و سطح مقطع) و اندازه‌گیری مقاومت ویژه‌ی نمونه‌ی فلزی

زمینه‌ی نظری

دو میله‌ی مشابه، یکی از گرافیت و دیگری از مس را در نظر بگیرید. اگر به دو سر میله اختلاف پتانسیل $\mathcal{E}$ اعمال کنیم، مشاهده خواهیم کرد جریانی که از میله‌ی مسی عبور می‌کند، خیلی بیش‌تر از جریانی است که از میله‌ی گرافیکی می‌گذرد. واضح است که علت این اختلاف، تفاوت بین مقاومت الکتریکی این دو میله است. طبق قانون اهم می‌توان نوشت:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} \quad (1)$$

که R مقاومت رسانا است. اگر طول میله ℓ و سطح مقطع آن A باشد، آن‌گاه:

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (2)$$

که ρ مقاومت ویژه جسم است و بستگی به جنس جسم و درجه‌ی حرارت دارد.

اگر R بر حسب اهم (Ω)، ℓ بر حسب متر و A بر حسب مترمربع باشد، ρ بر

حسب اهم‌متر خواهد بود. برای نمونه، مقاومت ویژه‌ی مس و گرافیت در دمای 20°C عبارتند از:

$$\rho_{\text{Cu}} = 1.68 \times 10^{-8} \Omega\cdot\text{m} \quad \text{و} \quad \rho_{\text{Graphite}} = 1.4 \times 10^{-5} \Omega\cdot\text{m}$$

مشاهده می‌شود که $\rho_{\text{Graphite}} > 800 \rho_{\text{Cu}}$ است و به همین دلیل در شکل ۱، جریان در حال عبور از مس خیلی بیش‌تر از جریان در حال عبور از گرافیت بود.

در این آزمایش می‌خواهیم ضمن تحقیق رابطه‌ی ۲، مقاومت ویژه‌ی نمونه‌ی فلزی (مسی) را پیدا کنیم.

وسایل آزمایش: منبع تغذیه‌ی مستقیم، آومتر مکانیکی (آمپرسنج مستقیم)، جعبه مقاومت، بورد مدار پل و تستون، بورد سیم‌های مسی با طول‌ها و سطح مقطع‌های مختلف، ۸ عدد سیم رابط

دستور کار:

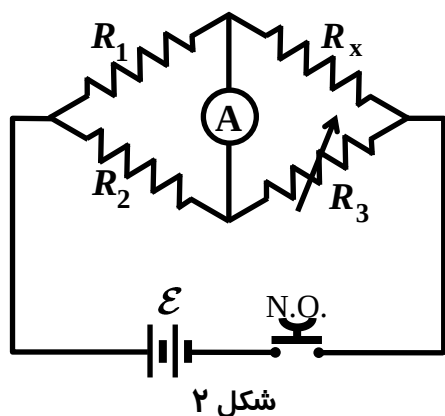
روش انجام این آزمایش، اندازه‌گیری یک مقاومت مجهول به روش پل و تستون است. لذا مراجعه به دستور کار آزمایش جلسه‌ی دوم (قسمت «ج») ضروری است. در این آزمایش ولتاژ منبع نباید از ۴ ولت بیش‌تر باشد.

الف) تحقیق وابستگی مقاومت سیم به طول آن

۱- مدار شکل ۲ را ببندید. به جای R_3 ، جعبه مقاومت و به جای R_x ، سیم مورد نظر را قرار دهید (در این قسمت به سیم‌های با قطر ثابت و طول متفاوت نیاز داریم که خطای قطر و طول سیم‌ها را ۱٪ اختیار کنید).

۲- چنان‌چه، قطر سیم برابر $D = 0.20 \text{ mm}$ باشد، سطح مقطع سیم، A ، را حساب کنید. ΔA را نیز به دست آورید:

$$A = (\dots \pm \dots) \text{ mm}^2$$



۳- آمپرسنج را روی بالاترین پله قرار دهید. با فشردن کلید زردرنگ N.O. و با توجه به توضیحات آزمایش جلسه قبل، مقاومت R_3 را تغییر دهید تا پل به حال تعادل در آید (با تغییر مقاومت جعبه مقاومت، جریان در حال عبور از آمپرسنج را به حدود صفر رسانده و سپس پله‌ی آن را پایین بیاورید تا روی حساس‌ترین پله، میلی آمپرسنج صفر را نشان دهد). مقدار R_3 را از روی جعبه مقاومت یادداشت کنید.

۴- این آزمایش را با طول‌های مختلف تکرار کنید (در هر بار، قبل از عوض کردن طول سیم، دست خود را از روی کلید زردرنگ برداشته، آمپرسنج را روی بالاترین پله قرار دهید و بعد، طول را عوض کنید).

۵- مقاومت‌های R_1 و R_2 را از روی بورد مربوطه بخوانید؛ $R_1 = (\dots \pm \dots) \Omega$ و $R_2 = (\dots \pm \dots) \Omega$ و با استفاده از شرط تعادل پل:

$$R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2} \quad (۳)$$

مقاومت R_x و خطای آن را برای طول‌های مختلف حساب کرده و نتایج را در جدول ۱ بنویسید (برای محاسبه‌ی ΔR_x از روش خطاگیری لگاریتمی و رابطه‌ی ۳ استفاده و خطای جعبه مقاومت را ۵٪ فرض کنید).

ℓ (m)	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
R_3 (Ω)					
R_x (Ω)					
ΔR_x (Ω)					
ρ ($\Omega.m$)					
$\Delta \rho$ ($\Omega.m$)					

جدول ۱

۶- برای هر ستون از اطلاعات جدول ۱، مقاومت ویژه ρ را به دست آورده و در جدول ۱ بنویسید. به روش آماری، مقدار میانگین سطر پنجم ($\bar{\rho}$)، انحراف معیار سطر پنجم (σ) و میانگین سطر ششم ($\Delta \rho$) را محاسبه کرده و با توجه به این که ρ بهینه، همان $\bar{\rho}$ و دقت اندازه‌گیری آن $\Delta \rho = \max\{\sigma, \Delta \rho\}$ است، مقدار مقاومت ویژه و دقت اندازه‌گیری آن را با توجه به رقم معنی دار بنویسید:

$$\rho_{Table 1} = (\dots \pm \dots) \Omega.m$$

۷- با استفاده از جدول ۱، نمودار R_x بر حسب ℓ را بر روی کاغذ میلی‌متری رسم کنید. این نمودار، خط

مستقیمی با شیب $\frac{\rho}{A}$ خواهد بود. شیب این خط را اندازه بگیرید: () = شیب خط نمودار ۱

۸- با استفاده از شیب به دست آمده و دقت شیب محاسبه شده از نمودار ۱، مقاومت ویژه‌ی مس و دقت آن را

محاسبه و با توجه به تعداد ارقام بامعنی گزارش کنید:

$$\rho_{Graph 1} = (\dots \pm \dots) \Omega.m$$

ب) تحقیق بستگی مقاومت سیم به سطح مقطع آن

۹- آزمایش قبل را تکرار کنید اما این بار به جای R_x ، از سیم‌های با طول ثابت (۵ متر) و قطرهای متفاوت استفاده کنید (خطای طول و قطر سیم‌ها را ۱٪ مقدار آن‌ها اختیار کنید). در این جا نیز توجه کنید که در هر مرحله، قبل از عوض کردن قطر سیم، آمپرسنج را روی بالاترین پله قرار دهید. نتایج را در جدول ۲ بنویسید (برای R_3 ستون مربوط به قطر 0.20 میلی‌متر، از اطلاعات جدول ۱ استفاده کنید).

D (mm)	0.20	0.30	0.45	0.60	0.75
A (mm ²)					
1/A (m ⁻²)					
R ₃ (Ω)					
R _x (Ω)					
ΔR _x (Ω)					
ρ (Ω.m)					
Δρ (Ω.m)					

جدول ۲

۱۰- برای هر ستون از اطلاعات جدول ۲، مقاومت ویژه ρ را به دست آورده و در همان جدول ۲ بنویسید. به روش آماری، مقدار میانگین سطر پنجم ($\bar{\rho}$)، انحراف معیار سطر پنجم (σ) و میانگین سطر ششم ($\Delta\rho$) را محاسبه کرده و با توجه به این که ρ بهینه، همان $\bar{\rho}$ و دقت اندازه‌گیری آن $\Delta\rho = \max\{\sigma, \Delta\rho\}$ است، مقدار مقاومت ویژه و دقت اندازه‌گیری آن را با توجه به رقم معنی دار بنویسید:

$$\rho_{\text{Table 2}} = (\dots \pm \dots) \Omega.m$$

۱۱- به کمک اطلاعات جدول ۲، نمودار تغییرات R_x بر حسب $\frac{1}{A}$ را روی کاغذ میلی‌متری رسم کنید. نمودار فوق خط مستقیمی با شیب $\rho\ell$ خواهد بود. شیب آن را اندازه بگیرید:

$$\text{شیب خط نمودار ۲} = (\dots)$$

۱۲- با استفاده از شیب نمودار ۲ و طول سیم‌ها (۵ متر)، مقاومت ویژه‌ی مس و دقت آن را برای نمودار ۲ محاسبه و با توجه به تعداد ارقام بامعنی گزارش کنید:

$$\rho_{\text{Graph 2}} = (\dots \pm \dots) \Omega.m$$

۱۳- چهار مقدار مقاومت ویژه‌ی نمونه‌ی فلزی را که به دست آورده‌اید، با مقدار انتظاری داده شده‌ی در بخش زمینه‌ی نظری مقایسه کنید (مثلاً برای $\rho_{\text{Table 1}}$ به دست آمده، $\frac{\rho_{\text{Cu}} - \rho_{\text{Table 1}}}{\rho_{\text{Cu}}}$ یا همان ابیراهی نسبی را حساب کنید و درصد اختلاف از مقدار انتظاری را بیان نمایید).

۱۴- در مورد نتایج آزمایش و عوامل خطا بحث نمایید.

پرسش‌ها

- ۱- در شکل ۲ هنگامی که ولتاژ منبع $\mathcal{E}$ بوده است، چنان چه پل را به حال تعادل در آوریم و سپس ولتاژ منبع را تغییر دهیم، آیا پل باز هم به حال تعادل باقی خواهد ماند یا این که باید آن را مجدداً به حال تعادل در آوریم؟ راجع به جواب خود توضیح دهید.
- ۲- آیا مقاومت ویژه‌ی یک فلز، با ظرفیت آن (تعداد الکترون‌های رسانشی) ارتباط دارد؟ توضیح دهید.
- ۳- آیا با اندازه‌گیری مقاومت ویژه یک فلز می‌توان جنس آن را تعیین کرد؟
- ۴- دو فلز با رسانایی خوب در اختیار داریم. اگر از ترکیب آن دو، آلیاژی بسازیم، راجع به رسانایی الکتریکی آلیاژ حاصل، چه چیزی می‌توانید بگویید؟

آزمایش جلسه چهارم:

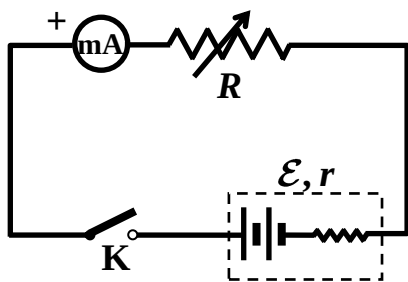
مقاومت درونی باتری و ولتسنج

هدف آزمایش: اندازه‌گیری و مقایسه‌ی مقاومت درونی باتری‌های نو و کهنه و اندازه‌گیری مقاومت درونی ولتسنج روی پله‌ی ۱۰ ولت جریان مستقیم

زمینه‌ی نظری

الف) مقاومت درونی باتری

باتری‌ها دارای مقاومت درونی (داخلی) هستند و این مقاومتی است که الکترولیت باتری به هنگام عبور



شکل ۱

جریان الکتریسته از خود نشان می‌دهد. مقاومت درونی باتری یک مقدار ثابت نیست بلکه با زمان و با تغییرات شیمیایی داخل آن‌ها، جریانی که از آن کشیده می‌شود تغییر می‌کند. اگر یک باتری با نیروی محرک $\mathcal{E}$ و مقاومت درونی r به یک مقاومت خارجی R متصل شود (شکل ۱) آن گاه جریانی که از مدار می‌گذرد، I برابر است با:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{(R + r)} \quad (۱)$$

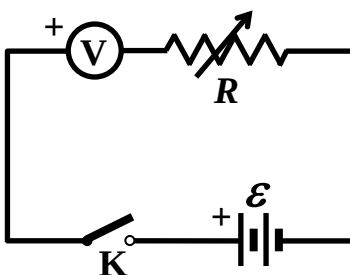
یا

$$R = -r + \frac{\mathcal{E}}{I} \quad (۲)$$

اگر r ثابت فرض شود، آن گاه نمودار تغییرات R بر حسب $\frac{1}{I}$ خط راستی با عرض از مبدأ $-r$ خواهد بود.

ب) مقاومت درونی ولتسنج

در مدار شکل ۲ اگر از مقاومت درونی منبع تغذیه در مقابل مقاومت بقیه‌ی مدار صرف‌نظر کنیم، می‌بینیم که افت ولتاژ در دو سر ولتسنج (با مقاومت درونی R_V) و جعبه مقاومت R باید برابر نیروی محرک منبع، $\mathcal{E}$ ، باشد لذا می‌توان نوشت:



شکل ۲

$$\mathcal{E} = (R + R_V)I \quad (۳)$$

و چون اختلاف پتانسیلی که به وسیله‌ی ولتسنج اندازه‌گیری می‌شود برابر است با حاصل ضرب مقاومت درونی ولتسنج در جریانی که از آن می‌گذرد، R_V ، خواهیم داشت:

$$\mathcal{E} = (R + R_V) \left(\frac{V}{R_V} \right) \quad (۴)$$

و از آن جا داریم:

$$R = -R_V + \frac{R_V \mathcal{E}}{V} \quad (۵)$$

پس اگر نمودار تغییرات R را نسبت به $\frac{1}{V}$ رسم کنیم یک خط راست به دست خواهد آمد که عرض از مبدأ آن برابر $-R_V$ و طول آن از مبدأ (روی محور $\frac{1}{V}$) برابر $\frac{1}{\mathcal{E}}$ است (شیب خط برابر $R_V \mathcal{E}$ می باشد).

وسایل آزمایش: ۲ عدد باتری 1.5 ولتی (نو و کهنه)، منبع تغذیه مستقیم، ۲ عدد آوومتر مکانیکی (عقربه‌ای)، جعبه مقاومت، لامپ کوچک، کلید، ۶ عدد سیم رابط.

دستور کار

الف) اندازه‌گیری مقاومت درونی باتری

- ۱- به کمک ولت‌سنج و با انتخاب مقیاس مناسب، ولتاژ دو سر باتری‌های نو و کهنه را قبل از آن که در مدار قرار گیرد اندازه بگیرید.
- ۲- لامپی کوچکی که در اختیار دارید را جداگانه به دو سر باتری‌های نو و کهنه‌ای که در اختیار دارید، وصل کنید. کدام یک، لامپ را روشن‌تر می‌کند؟ مشاهدات خود را یادداشت کنید و با توجه به مقدار ولتاژ دو سر هر باتری (که در بند ۱ اندازه گرفته‌اید) درباره‌ی آن بحث کنید.
- ۳- مقدار R جعبه مقاومت را برابر ۸۰ اهم انتخاب کنید و به کمک باتری نو، مدار شکل ۱ را ببندید.
- ۴- کلید را ببندید و آمپرسنج مستقیم را روی پله‌ی 100 mA (0.1 A) قرار داده و شدت جریان را به کمک آمپرسنج خوانده، در جدول ۱ ثبت کنید (توجه داشته باشید که برای ثابت فرض کردن مقاومت درونی باتری در حین انجام آزمایش، عدد شدت جریان را به سرعت خوانده و کلید را باز نمایید).
- ۵- با کاهش مقاومت طبق جدول ۱، مرحله‌ی ۴ را برای مقاومت‌های تا ۱۰ اهم تکرار کنید.
- ۶- به ازای هر مقدار I مقدار $\frac{1}{I}$ را حساب کنید و در جدول ۱ بنویسید.

$R (\Omega)$	10	20	30	40	50	60	70	80
I (mA)								
$\frac{1}{I} (A^{-1})$								

جدول ۱- باتری نو

- ۷- نمودار تغییرات R بر حسب $\frac{1}{I}$ را روی کاغذ میلی‌متری و با انتخاب مقیاس مناسب رسم کنید.
- ۸- شیب بهترین خط گذرنده از نقاط نمودار و دقت آن را محاسبه نمایید. این شیب که برابر نیروی محرک باتری است را با توجه به تعداد ارقام بامعنی بنویسید: $V = (\dots \pm \dots)$ ε باتری نو
- ۹- عرض از مبدأ نمودار که همان مقاومت درونی باتری r است و دقت عرض از مبدأ را به دست آورده و با توجه به تعداد ارقام معنی‌دار گزارش کنید: $r = (\dots \pm \dots)$ Ω باتری نو
- ۱۰- آزمایش را برای باتری کهنه‌ای که در اختیار دارید برای مرحله‌های ۳ تا ۶ تکرار کنید و نتایج را در جدول ۲ بنویسید.

$R (\Omega)$	10	20	30	40	50	60	70	80
$I \text{ (mA)}$								
$\frac{1}{I} \text{ (A}^{-1}\text{)}$								

جدول ۲- باتری کهنه

۱۱- مشابه مراحل ۷ تا ۹، نیروی محرک و مقاومت درونی باتری کهنه را نیز با توجه به تعداد ارقام بامعنی تعیین کنید:

$$V = (\dots \pm \dots) \text{ } \varepsilon \text{ باتری کهنه}$$

$$r = (\dots \pm \dots) \Omega \text{ باتری کهنه}$$

۱۲- ولت‌سنج را به دو سر باتری نو وصل کنید و در همان حالت، لامپ را نیز به صورت موازی به دو سر ولت‌سنج متصل کنید. چه تغییری در عددی که ولت‌سنج نشان می‌داد رخ می‌دهد؟ این آزمایش را با باتری کهنه تکرار کنید (به این نکته توجه کنید که ولت‌سنج همواره ولتاژ ترمینال باتری را اندازه می‌گیرد نه نیروی محرک آن را). مشاهدات خود را با ذکر دلیل شرح دهید.

ب) اندازه‌گیری مقاومت درونی ولت‌سنج

۱۳- مقدار R جعبه مقاومت را صفر انتخاب کنید و به کمک منبع تغذیه‌ی DC مدار شکل ۲ را ببندید.

۱۴- کلید انتخاب مقیاس ولت‌سنج را روی وضعیت $10 \text{ V} \equiv$ (پله‌ی ۱۰ ولت DC) قرار دهید. ولتاژ منبع را مقداری اختیار کنید تا هنگامی که مقاومت جعبه صفر است، عقربه حدود ۱۰ ولت را نشان دهد. مقدار R (که اکنون صفر است) و مقدار V که ولت‌سنج نمایش داده را در جدول ۳ یادداشت کنید.

$R \text{ (K}\Omega\text{)}$	0	50	100	200	300	400	500	600
$V \text{ (v)}$								
$\frac{1}{V} \text{ (V}^{-1}\text{)}$								

جدول ۳

۱۵- بدون تغییر ولتاژ منبع، به ازای ۷ مقاومت دیگر جدول ۳ که همگی از مرتبه‌ی $\text{k}\Omega$ هستند نیز، مقادیری که ولت‌سنج نشان می‌دهد را در جدول ۳ ثبت کنید (حتماً برای تغییر مقادیر R باید از پله‌های کیلو اهم جعبه مقاومت استفاده کرد. استفاده از پله‌های ابتدایی جعبه مقاومت، نه تنها تغییر چندانی در عدد ولت‌سنج ایجاد نمی‌کند بلکه به دلیل توان کم این پله‌ها باعث آسیب دیدن آن‌ها خواهد شد).

۱۶- نمودار تغییرات R بر حسب $\frac{1}{V}$ را روی کاغذ میلی‌متری و با انتخاب مقیاس مناسب رسم کنید.

۱۷- طول از مبدأ (یا شیب) و عرض از مبدأ نمودار را اندازه گرفته و با توجه به رابطه‌ی آن‌ها با نیروی محرک منبع تغذیه و مقاومت درونی ولت‌سنج، مقادیر $\mathcal{E}$ و R_V و دقت‌های آن‌ها را تعیین کنید (در گزارش آن‌ها به واحدها و تعداد رقم‌های معنی‌دار دقت نمایید).

$$V = (\dots \pm \dots) \text{ } \varepsilon$$

$$R_V = (\dots \pm \dots) \text{ k}\Omega$$

۱۸- با توجه به پله‌ی انتخاب شده روی ولت‌سنج در طی آزمایش، مقاومت درونی ولت‌سنج، R_V ، به دست آمده را با مقدار انتظاری آن که به کمک حساسیت (عدد لیاقت اهمی) ولت‌سنج به دست می‌آید مقایسه کنید (برای مقدار انتظاری مقاومت درونی ولت‌سنج ر.ک. آزمایش جلسه‌ی اول، آشنایی با آوومتر، صفحه‌ی ۱۹).

پرسش‌ها

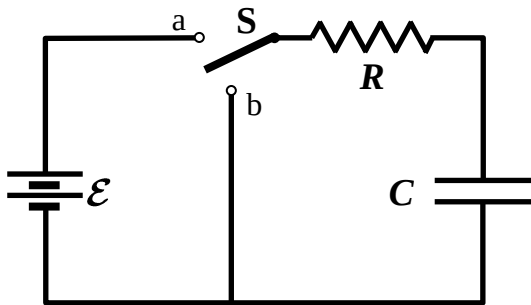
- ۱- در آزمایش «الف»، چرا نمودار تغییرات R را نسبت به $\frac{1}{I}$ رسم می‌کنیم؟ آیا نمی‌توان نتیجه‌ی مورد نظر را از نمودار I نسبت به R به دست آورد؟
- ۲- در آزمایش «الف»، آیا مقاومت درونی میلی‌آمپرسنج در آزمایش تأثیری دارد؟ چگونه می‌توان آن را در نتیجه‌ی آزمایش تأثیر داد؟
- ۳- اگر ولتاژ دو سر یک باتری را به کمک یک ولت‌سنج، یک بار در حالت نو بودن باتری و یک بار بعد از کهنه شدن آن اندازه‌گیری کنیم، این دو ولتاژ چه تفاوتی خواهند داشت؟ چرا؟
- ۴- آیا می‌توان یک باتری کهنه را به کتری یا سماوری تشبیه کرد که محتوی آب است ولی لوله‌ی آن را گچ گرفته به طوری که آب از آن خارج نمی‌شود؟
- ۵- آیا نیروی محرک باتری، $\mathcal{E}$ ، را می‌توان با ولت‌سنج اندازه‌گیری کرد؟ ولتاژ ترمینال باتری چه تفاوتی با نیروی محرک باتری دارد؟
- ۶- در آزمایش «ب»، آیا می‌توان برای کسب نتیجه، نمودار تغییرات V را نسبت به R رسم کرد؟
- ۷- در آزمایش «ب»، اگر مقاومت درونی منبع را ثابت و برابر r گرفته و از آن صرف‌نظر نکنیم، چه تأثیری در معادله‌ی ۵ و سرانجام در نتیجه‌ی آزمایش خواهد داشت؟
- ۸- در آزمایش «ب»، با توجه به مقدار خطای R آیا صرف‌نظر کردن از مقاومت درونی منبع تغذیه (که از مرتبه‌ی کمتر از یک اهم است)، تأثیری در نتیجه‌ی آزمایش ندارد؟

خازن

هدف آزمایش: مطالعه‌ی پر شدن و خالی شدن خازن (اندازه‌گیری ظرفیت خازن به کمک مدارهای پر شدن و خالی شدن) و تحقیق قوانین ترکیب خازن‌ها (اندازه‌گیری ظرفیت معادل خازن‌های سری و موازی)

زمینه‌ی نظری

الف) پر شدن و خالی شدن خازن



شکل ۱

مدار شکل ۱ را در نظر بگیرید. اگر کلید S را در لحظه‌ی $t=0$ در وضعیت a قرار دهیم، در لحظه‌ی t باری به اندازه‌ی q در خازن ذخیره شده و جریانی که از مدار می‌گذرد، $i = \frac{dq}{dt}$ است و داریم:

$$\mathcal{E} = V_C + V_R \Rightarrow \mathcal{E} = \frac{q}{C} + R \frac{dq}{dt} \quad (۱)$$

که در آن $\mathcal{E}$ نیروی محرک منبع تغذیه است. حل معادله‌ی دیفرانسیل بالا چنین است:

$$q = \mathcal{E}C + (q_0 - \mathcal{E}C)e^{-t/RC} \quad (۲)$$

اگر خازن در آغاز بدون بار باشد، داریم:

$$q = \mathcal{E}C(1 - e^{-t/RC}) \quad (۳)$$

لذا اختلاف پتانسیل دو سر خازن، V_C و اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت، V_R بدین گونه تابع زمان خواهند بود:

$$V_C = \frac{q}{C} = \mathcal{E}(1 - e^{-t/RC}) \quad (\text{پر شدن خازن}) \quad (۴)$$

$$V_R = \mathcal{E} - V_C = \mathcal{E}e^{-t/RC} \quad (۵)$$

کمیت RC که در آن R مقاومت کل مدار و C ظرفیت خازن است، بُعد زمان دارد و ثابت زمانی مدار $R-C$ خوانده می‌شود. این کمیت معرف آهنگ پر شدن خازن است.

اگر از طرفین معادله‌ی ۵ لگاریتم بگیریم، به دست می‌آید:

$$\ln V_R = \ln \mathcal{E} - t/RC \quad (۶)$$

یعنی تغییرات $\ln V_R$ نسبت به زمان، خطی است و شیب این خط برابر $-1/RC$ است.

حال کلید S را در وضعیت b قرار می‌دهیم. در این حالت سمت چپ معادله‌ی ۱ برابر صفر است و داریم:

$$V_C + V_R = 0 \Rightarrow \frac{q}{C} = -R \frac{dq}{dt} \quad (۷)$$

که حل آن با فرض آن که بار خازن در لحظه تغییر وضعیت کلید، q_0 باشد، چنین است:

$$q = q_0 e^{-t/RC} \quad (۸)$$

بار خازن با گذشت زمان کاهش یافته و خازن انرژی خود را در مقاومت خالی می‌کند. اگر کلید برای مدت زیادی $(t \gg RC)$ در حالت a باشد، آن گاه خازن پر شده و $q_0 = \mathcal{E}C$ و در نتیجه پس از آن که کلید در وضعیت b قرار گرفت، بستگی اختلاف پتانسیل دو سر خازن، V_C و اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت، V_R ، به زمان چنین خواهد بود:

$$V_C = \frac{q}{C} = \mathcal{E}e^{-t/RC} \quad (\text{خال شدن خازن}) \quad (9)$$

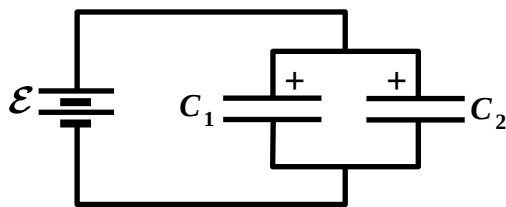
$$V_R = -V_C = -\mathcal{E}e^{-t/RC} \quad (10)$$

اگر از طرفین معادله ۹ لگاریتم بگیریم:

$$\ln V_C = \ln \mathcal{E} - \frac{t}{RC} \quad (11)$$

یعنی تغییرات $\ln V_C$ و همچنین $\ln V_R$ نسبت به زمان، خطی است و شیب این خط برابر $-1/RC$ است.

ب) ترکیب موازی و سری خازن‌ها

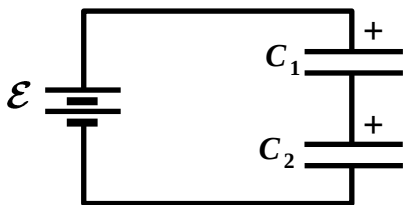


شکل ۲

اگر مطابق شکل ۲، خازن‌های C_1 و C_2 به صورت موازی، به هم بسته شوند (اگر خازن‌ها الکترولیتی باشند باید قطب‌های مثبت آن‌ها به هم و قطب‌های منفی آن‌ها نیز به یکدیگر بسته شوند) و سپس مجموعه‌ی دو خازن را به یک منبع تغذیه با ولتاژ $\mathcal{E}$ وصل کنیم، خازن معادل C برابر است با:

$$C_{eq(\text{Parallel})} = C_1 + C_2 \quad (12)$$

یعنی خازن C هم‌ارز مجموع خازن‌های C_1 و C_2 است.



شکل ۳

حال اگر این دو خازن را مانند شکل ۳ به صورت سری به هم وصل کنیم و خازن‌ها در آغاز بدون بار باشند، خازن معادل C چنین به دست می‌آید:

$$\frac{1}{C_{eq(\text{Series})}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow C_{eq(\text{Series})} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (13)$$

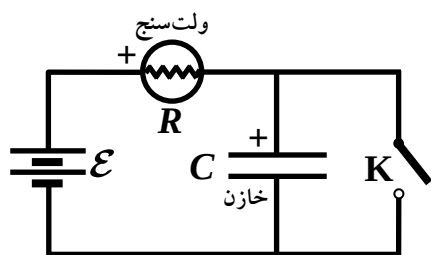
برای مطالعه‌ی بیشتر، به فصل ۲۶ کتاب مرجع شماره‌ی ۱ رجوع کنید.

وسایل آزمایش: منبع ولتاژ مستقیم، آومتر رقمی (ولت‌سنج دیجیتال با مقاومت داخلی زیاد)، زمان‌سنج، خازن الکترولیتی، خازن‌های الکترولیتی سری، خازن‌های الکترولیتی موازی، کلید قطع و وصل (spst)، ۵ عدد سیم رابط.

دستور کار

در این آزمایش دقت کنید که قطب‌های مثبت و منفی خازن الکترولیتی درست وصل شده باشند (اشتباه وصل کردن قطب‌های خازن باعث خراب شدن خازن می‌شود) و ولتاژ دو سر منبع تغذیه از حداکثر ولتاژ مجاز خازن که معمولاً روی خازن نوشته شده، کم‌تر باشد (چرا که در اغلب موارد باعث ترکیدن خازن خواهد شد).

الف) منحنی پر شدن خازن



شکل ۴

۱- مدار شکل ۴ را ببندید و به جای مقاومت R از ولتسنجی رقمی (با مقاومت داخلی $10\text{ M}\Omega$ و خطای 0.1 درصد) که در اختیار دارید استفاده کنید. در این مدار هنگامی که کلید K بسته است، دو سر خازن به هم وصل شده و تخلیه می‌شود. در این هنگام ولتسنج، ولتاژ دو سر منبع را نشان می‌دهد. با باز کردن کلید K ، خازن در مدار قرار گرفته و

شروع به پر شدن می‌کند. در این آزمایش مقاومت داخلی ولتسنج، نقش R را دارد.

۲- ولتاژ دو سر مولد را حدود 15 ولت اختیار کنید. با بستن کلید K ، ولتاژ دو سر مولد در مدار پر شدن ($\mathcal{E}_{\text{Charge}}$) را به کمک ولتسنج اندازه بگیرید و آن را یادداشت کنید:

$$\mathcal{E}_{\text{Charge}} = (\dots\dots\pm\dots\dots) \text{ V}$$

۳- همزمان با باز کردن کلید K ، زمانسنج را به کار بیندازید و پس از این که ولتسنج ولتاژ 12 ولت را نشان داد، زمانسنج را متوقف کنید و زمان t_1 را در جدول ۱ یادداشت کنید. این مرحله را دو بار دیگر انجام دهید و زمان‌های t_2 و t_3 را نیز اندازه گرفته، در جدول ۱ یادداشت کنید.

۴- مرحله ۳ را، برای این که ولتسنج، اختلاف پتانسیل مثلاً 11 ولت، 10 ولت و ... را نشان دهد، تکرار کنید و نتایج را در جدول ۱ یادداشت کنید. چنان چه از زمانسنج دارای قابلیت Lap یا Split بهره می‌برید، هر ردیف از جدول ۱ را می‌توانید در یک مرحله پر نمایید (دقت کنید که در صورت فشردن دکمه‌ی RESET (حالت Lap یا Split)، زمان اصلی متوقف نمی‌شود و همچنان در حال افزایش است و با فشردن مجدد آن دکمه، به روی صفحه باز می‌گردد. لذا به سرعت، زمان نمایش داده شده برای ولتاژ مورد نظر را در جدول ۱ ثبت کرده و تا قبل از رسیدن ولتسنج به ولتاژ بعدی، زمان اصلی را به صفحه‌ی زمانسنج برگردانید و این عمل را به تعداد دفعات لازم تکرار نمایید).

V_R (V)	12.00	11.00	10.00	9.00	8.00	7.00
t_1 (s)						
t_2 (s)						
t_3 (s)						
$\bar{t}$ (s)						
$\ln V_R$						

جدول ۱- پر شدن خازن

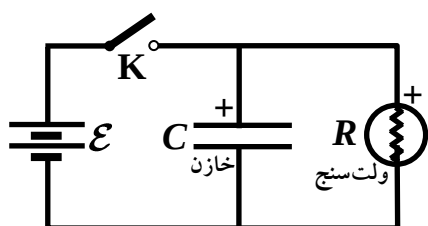
۵- میانگین سه زمان هر ستون جدول ۱ را محاسبه و به 0.1 اعشار گرد کرده و در ردیف پنجم جدول ۱ یادداشت نمایید. نمودار $\ln V_R$ بر حسب زمان $\bar{t}$ را در یک کاغذ میلی‌متری رسم کنید. این نمودار خط مستقیمی با شیب $-1/RC$ خواهد بود.

۶- با انتخاب دو نقطه روی خط، شیب خط را اندازه گرفته و از آنجا، طبق معادله ی ۶، مقدار ظرفیت خازن به کمک نمودار جدول ۱ ($C_{\text{Graph 1}}$) را حساب کنید. توسط شیب به دست آمده و با قرار دادن مختصات یک نقطه در معادله ی خط، عرض از مبدأ این خط ($\ln \mathcal{E}$) را به دست آورده و مقدار ولتاژ نهایی در پر شدن خازن ($\mathcal{E}_{\text{Graph 1}}$) را نیز تعیین کنید. به وسیله ی دقت شیب و دقت عرض از مبدأ، دقت $C_{\text{Graph 1}}$ و $\mathcal{E}_{\text{Graph 1}}$ را نیز حساب و با توجه به تعداد ارقام بامعنی، گزارش کنید.

$$C_{\text{Graph 1}} = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots) \mu\text{F} \quad \text{و} \quad \mathcal{E}_{\text{Graph 1}} = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots) \text{V}$$

۷- مقادیر $C_{\text{Graph 1}}$ را با مقدار انتظاری که بر روی خازن نوشته شده (C) و مقدار $\mathcal{E}_{\text{Graph 1}}$ را با مقداری که در مرحله ی ۲ اندازه گرفتید ($\mathcal{E}_{\text{Charge}}$)، مقایسه کنید (منظور از مقایسه، محاسبه ی ابیراهی نسبی است).

ب) منحنی خالی شدن خازن



شکل ۵

۸- ولتاژ منبع را روی حدود ۱۵ ولت اختیار کرده و مدار شکل ۵ را ببندید. مجدداً از ولت سنج به عنوان یک مقاومت بزرگ استفاده می کنیم و R همان مقاومت درونی ولت سنج است. دقت کنید که قطب مثبت خازن به قطب مثبت منبع وصل شده باشد. وقتی کلید K باز یا بسته باشد، چه اتفاقی رخ می دهد؟ کلید K را ببندید و ولتاژ

منبع (ولتاژ اولیه) در مدار خالی شدن ($\mathcal{E}_{\text{Discharge}}$)، را یادداشت کنید:

$$\mathcal{E}_{\text{Discharge}} = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots) \text{V}$$

۹- هم زمان با باز شدن کلید K ، زمان سنج را به کار بیندازید. هنگامی که ولت سنج، ولتاژ ۱۲ ولت را نشان داد، زمان سنج را متوقف کرده و زمان اندازه گیری شده (t_1) را یادداشت کنید. برای ولتاژ ۱۲ ولت، دو بار دیگر آزمایش را تکرار کرده و زمان های t_2 و t_3 به دست آمده را در جدول ۲ بنویسید.

۱۰- با بستن و باز کردن کلید K ، مرحله ی ۹ را برای حداقل ۵ ولتاژ ذکر شده در جدول ۲ انجام دهید (برای سرعت بیشتر در انجام آزمایش، می توانید از دکمه ی RESET (حالت Lap یا Split)، استفاده کرده و جدول ۲ را به صورت ردیفی پر نمایید).

V_R (V)	12.00	11.00	10.00	9.00	8.00	7.00
t_1 (s)						
t_2 (s)						
t_3 (s)						
$\bar{t}$ (s)						
$\ln V_R$						

جدول ۲- خالی شدن خازن

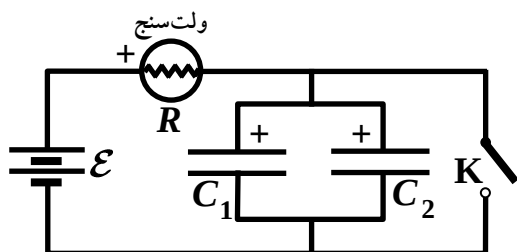
۱۱- میانگین سه زمان هر ستون جدول ۲ را محاسبه و به 0.1 اعشار گرد کرده و در ردیف پنجم جدول ۲ یادداشت نمایید. نمودار $\ln V_R$ بر حسب $\bar{t}$ را روی کاغذ میلی متری رسم کنید. این نمودار خطر مستقیمی با شیب $-1/RC$ خواهد بود.

۱۲- شیب نمودار را اندازه گرفته و از آن جا، طبق معادله ی ۱۱ مقدار $C_{\text{Graph 2}}$ را محاسبه کنید. توسط شیب به دست آمده و با قرار دادن مختصات یک نقطه در معادله ی خط، عرض از مبدأ این خط $(\ln \mathcal{E})$ را به دست آورده و مقدار ولتاژ اولیه در خالی شدن خازن $(\mathcal{E}_{\text{Graph 2}})$ را نیز تعیین کنید. به وسیله ی دقت شیب و دقت عرض از مبدأ، دقت $C_{\text{Graph 2}}$ و $\mathcal{E}_{\text{Graph 2}}$ را نیز حساب و با توجه به تعداد ارقام بامعنی، گزارش کنید.

$$C_{\text{Graph 2}} = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots) \mu\text{F} \quad \text{و} \quad \mathcal{E}_{\text{Graph 2}} = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots) \text{V}$$

۱۳- مقدار $C_{\text{Graph 2}}$ را با عددی که بر روی خازن نوشته شده (C) و مقدار $\mathcal{E}_{\text{Graph 2}}$ را با مقداری که در مرحله ی ۸ اندازه گرفتید $(\mathcal{E}_{\text{Discharge}})$ ، مقایسه کنید (منظور از مقایسه، محاسبه ی ابیراهی نسبی است).

ج) ترکیب موازی خازن ها



شکل ۶

۱۴- ولتاژ دو سر مولد را حدود ۱۵ ولت اختیار کنید و به کمک دو خازنی که به طور موازی به هم بسته شده اند، مدار شکل ۶ را ببندید.

۱۵- موارد ۳ و ۴ قسمت «الف» را تکرار نموده، نتایج را در جدول ۳ ثبت کنید. ضمن گرد کردن میانگین زمان های جدول ۳ به

0.1 اعشار و درج در ردیف پنجم جدول ۳، نمودار $\ln V_R$ بر حسب زمان $\bar{t}$ را در یک کاغذ میلی متری رسم کنید و با محاسبه ی شیب خط مربوطه، مقدار ظرفیت معادل دو خازن موازی را از روی نمودار جدول ۳ $(C_{\text{eq (Graph 3)})}$ به دست آورید. به وسیله ی دقت شیب، دقت $C_{\text{eq (Graph 3)}}$ را نیز حساب و با توجه به تعداد ارقام بامعنی، گزارش کنید.

$$C_{\text{eq (Graph 3)}} = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots) \mu\text{F}$$

V_R (V)	12.00	11.00	10.00	9.00	8.00	7.00
t_1 (s)						
t_2 (s)						
t_3 (s)						
$\bar{t}$ (s)						
$\ln V_R$						

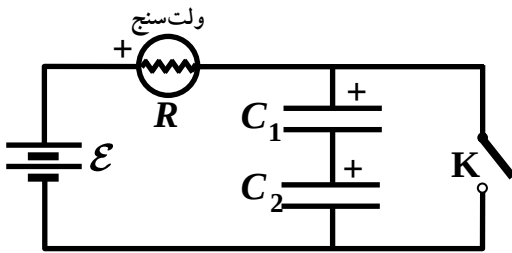
جدول ۳- خازن های موازی

۱۶- طبق معادله ی ۱۲ ظرفیت معادل دو خازن موازی $(C_{\text{eq (Parallel)})}$ به همراه دقت آن را محاسبه نمایید:

$$C_{\text{eq (Parallel)}} = C_1 + C_2 = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots) \mu\text{F}$$

۱۷- مقدار ظرفیت معادل به دست آمده از نمودار جدول ۳ ($C_{eq (Graph 3)}$) را با ظرفیت معادل انتظاری ($C_{eq (Parallel)}$) مقایسه کنید.

د) ترکیب سری خازن‌ها



شکل ۷

۱۸- مجدداً ولتاژ دو سر مولد را حدود ۱۵ ولت اختیار کنید و به کمک دو خازنی که به طور سری به هم بسته شده‌اند، مدار شکل ۷ را ببندید.

۱۹- موارد ۳ و ۴ قسمت «الف» را تکرار نموده، نتایج را در جدول ۴ ثبت کنید. ضمن گرد کردن میانگین زمان‌های جدول ۴ به

0.1 اعشار و درج در ردیف پنجم جدول ۴، نمودار $\ln V_R$ بر حسب زمان $\bar{t}$ را در یک کاغذ میلی‌متری رسم کنید و با محاسبه‌ی شیب خط مربوطه، مقدار ظرفیت معادل دو خازن موازی را از روی نمودار جدول ۴ ($C_{eq (Graph 4)}$) به دست آورید. به وسیله‌ی دقت شیب، دقت $C_{eq (Graph 4)}$ را نیز حساب و با توجه به تعداد ارقام بامعنی، گزارش کنید.

$$C_{eq (Graph 4)} = (\dots \pm \dots) \mu F$$

V_R (v)	12.00	11.00	10.00	9.00	8.00	7.00
t_1 (s)						
t_2 (s)						
t_3 (s)						
$\bar{t}$ (s)						
$\ln V_R$						

جدول ۴- خازن‌های سری

۲۰- طبق معادله‌ی ۱۳، ظرفیت معادل دو خازن سری ($C_{eq (Series)}$) به همراه دقت آن را محاسبه نمایید:

$$C_{eq (Series)} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = (\dots \pm \dots) \mu F$$

۲۱- مقدار ظرفیت معادل به دست آمده از نمودار جدول ۴ ($C_{eq (Graph 4)}$) را با ظرفیت معادل انتظاری ($C_{eq (Series)}$) مقایسه کنید.

پرسش‌ها

- ۱- چرا باید از ولت سنج با مقاومت داخلی زیاد استفاده کنید و چرا خازن الکترولیتی را به کار می‌برید؟
- ۲- چرا قطب مثبت خازن باید به قطب مثبت مولد و قطب منفی آن به قطب منفی مولد وصل باشد؟
- ۳- زمان لازم برای این که بار (ولتاژ) خازن از مقدار صفر به ۶۳٪ مقدار نهایی آن برسد، چند برابر RC است؟
- ۴- پس از گذشت زمان $5RC$ ، بار خازنی که در حال پر شدن است به چه مقدار کل بار خود می‌رسد؟
- ۵- توضیح دهید که چرا به جای مدار شکل ۱، از مدارهای شکل‌های ۴ و ۵ استفاده کردیم؟

- ۶- در مورد خالی شدن خازن، در رابطه‌ی ۱۱ ولتاژ دو سر خازن بر حسب زمان به دست آمد ولی در نمودار، $\ln V_R$ را بر حسب زمان رسم کردیم. توضیح دهید که علامت منفی رابطه‌ی ۱۰ چه شد؟
- ۷- یک خازن نشت‌دار را می‌توان خازنی در نظر گرفت که با یک مقاومت موازی شده است؛ یعنی بین دو جوشن آن یک مقاومت (داخلی) بسته شده است. توضیح دهید که اگر خازن، نشتی داشته باشد (یعنی اگر خازن باری داشته باشد و هیچ مداری به آن وصل نکنیم، خود به خود با گذشت زمان بار خود را از دست بدهد)، کدامیک از دو مدار شکل‌های ۴ و ۵ می‌تواند این مسأله را نشان دهد؟
- ۸- عوامل خطا و علت برابر نبودن مقادیر اندازه‌گیری شده با مقدارهای انتظاری را بنویسید.

آشنایی با اسیلوسکوپ

هدف آزمایش: آشنایی با ساختار و طرز کار اسیلوسکوپ GOS-620 (شکل ۱)، اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل و بسامد به کمک آن، مقایسه‌ی اسیلوسکوپ با آومتر مکانیکی و مشاهده‌ی اشکال لیسازوس



شکل ۱

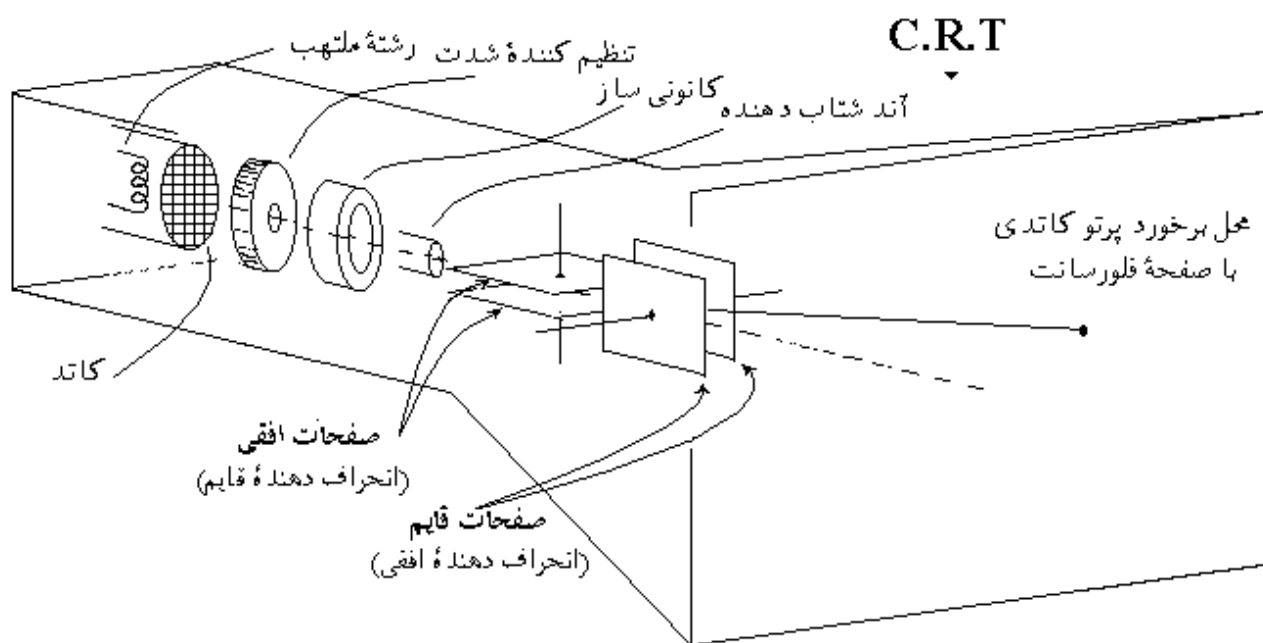
مقدمه

اسیلوسکوپ یکی از وسایل آزمایشگاهی است که گستره‌ی کاربرد آن بسیار زیاد و از وسایل ضروری در آزمایشگاه‌های الکترونیک است. به کمک این دستگاه می‌توان چگونگی تغییرات زمانی اختلاف پتانسیل بین دو نقطه را مشاهده کرد. اندازه‌گیری ولتاژ، بسامد و اختلاف فاز بین دو قسمت از مدار از دیگر کاربردهای اسیلوسکوپ است.

قسمت اصلی هر اسیلوسکوپ را لامپ پرتو کاتدی (Cathode Ray Tube) تشکیل می‌دهد. هر CRT از یک تفنگ الکترونی (Electron Gun)، صفحات انحراف دهنده‌ی قائم و افقی و یک صفحه‌ی فلورسانت که همه در یک محفظه‌ی تقریباً تهی از هوا قرار دارند، تشکیل شده است. جزئیات یک CRT در شکل ۲ دیده می‌شود.

تفنگ الکترونی به مجموعه‌ی رشته‌ی ملتهب، کاتد، شبکه‌ی کنترل کننده‌ی شدت، الکتروود کانونی‌ساز و آند شتاب دهنده گفته می‌شود.

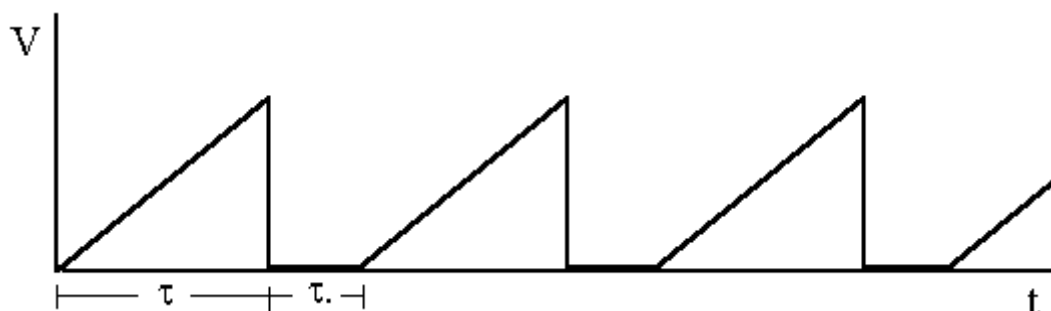
فیلامان توسط ولتاژ متناوبی (حدود ۶ ولت) گرم شده و باعث گرم شدن کاتد می‌گردد. از این کاتد گرم شده، تعدادی الکترون بیرون می‌آیند. این الکترون‌ها به طرف آند که در پتانسیل به مراتب بالاتری نسبت به کاتد قرار دارد، شتاب می‌گیرند. این الکترون‌ها از شکاف آند گذشته، در اثر برخورد با صفحه‌ی فلورسانت، یک لکه‌ی روشن ایجاد می‌کنند. تعداد این الکترون‌ها را می‌توان با اعمال ولتاژ مناسبی به یک شبکه (که بین کاتد و آند قرار دارد) تغییر داد و در نتیجه، شدت روشنایی لکه را کنترل کرد. این کار، Intensity Control، به کمک پیچی که روی اسیلوسکوپ قرار دارد انجام می‌شود. با اعمال ولتاژ مناسب به یک الکتروود دیگر می‌توان این پرتو الکترونی را در یک نقطه متمرکز کرد (Focus) و لکه‌ی روشن را تا حد امکان نقطه‌ای ساخت. دقت کنید که اگر پرتو کاتدی برای مدت زیادی به یک نقطه‌ی ثابت از صفحه‌ی فلورسانت بتابد، صفحه‌ی فلورسانت را از بین می‌برد. برای جلوگیری از این کار باید تا حد ممکن شدت روشنایی لکه را کم کرد و جز در موارد ضروری مانع از تابیدن پرتو کاتدی به یک نقطه‌ی ثابت شد.



شکل ۲- ساختمان لامپ پرتو کاتدی

اگر یک ولتاژ ثابت به صفحات افقی اعمال شود، لکه در راستای قائم منحرف می‌شود. اگر این ولتاژ متغیر باشد (مثلاً سینوسی) لکه در راستای قائم نوسان خواهد کرد و اگر بسامد نوسان به قدر کافی زیاد باشد (حدود ۲۰ Hz)، چشم قادر به دیدن نوسان نبوده و آن لکه را به صورت یک خط قائم پیوسته مشاهده خواهیم کرد. اگر علاوه بر صفحات افقی، به صفحات قائم (انحراف دهنده افقی) نیز ولتاژی اعمال کنیم، لکه در راستای افق نیز جابه‌جا می‌شود. اگر ولتاژ یکی از صفحات قائم نسبت به دیگری با گذشت زمان افزایش یابد، پرتو کاتدی به طرف آن صفحه جذب خواهد شد. بنا بر این خط قائم مرحله‌ی قبل روی صفحه اسیلوسکوپ باز شده و شکل ولتاژ اعمال شده به صفحات افقی، بر صفحه‌ی اسیلوسکوپ مشاهده خواهد شد. اگر این کار پی‌درپی و به طور

مناسب انجام شود، شکل موج روی صفحه به دفعات دیده خواهد شد. برای این کار کافی است که در لحظه‌های معینی این عمل افزایش پتانسیل یک صفحه‌ی انحراف دهنده افقی نسبت به صفحه‌ی دیگر انجام پذیرد (متناوباً تکرار شود). بدین منظور به این صفحات، ولتاژی که «ولتاژ دندانه اری» خوانده می‌شود، اعمال می‌شود (شکل ۳).



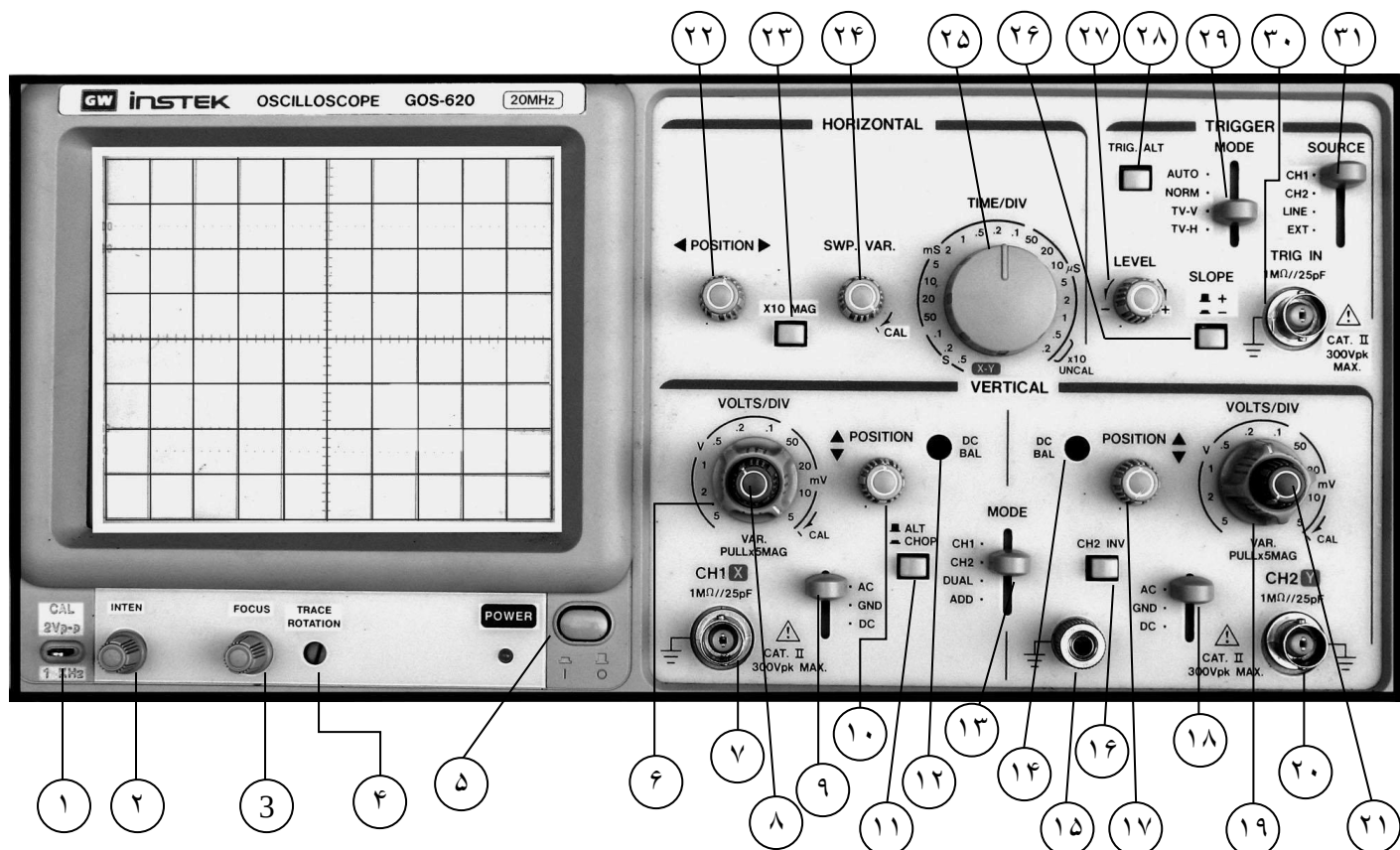
شکل ۳- موج دندانه اری

مقدار τ_0 برای هم‌زمان‌سازی شروع عمل افزایش ولتاژ V با ولتاژ اعمال شده به صفحات انحراف دهنده‌ی قایم تنظیم می‌شود. این هم‌زمان‌سازی به کمک مدارهایی که آن‌ها را مدارهای Triggering می‌نامند، انجام می‌شود. لغت Trige به معنی آتش کردن تفنگ و شبیه آن است و ما به جای آن از لغت «آتش» استفاده می‌کنیم. بدیهی است که اگر τ مضربی از پریود ولتاژ اعمال شده به انحراف دهنده‌های قایم باشد، $\tau_0 = 0$ خواهد بود.

عملکرد کلیدها و قسمت‌های مختلف اسیلوسکوپ

در شکل ۴ تصویر یک اسیلوسکوپ GOS-620 دیده می‌شود که قسمت‌های متفاوت آن شماره‌گذاری شده است. دقت داشته باشید که:

- کلیدهای فشاری که در کنار آن‌ها فقط یک کلمه نوشته شده باشد (مانند کلیدهای ۱۶، ۲۳ و ۲۸)، عمل نوشته شده در صورت فشردن بودن کلید انجام می‌شود و کلیدهای فشاری که دارای دو وضعیت باشد (مانند کلیدهای ۵، ۱۱ و ۲۶) با توجه به وضعیت‌های نوشته شده در کنار آن استفاده می‌شود. کلیدی کلیدهای فشاری معمولاً در شروع نباید فشرده باشند.
- کلیدهای ریلی، کلیدهایی هستند که به کمک آن‌ها باید یکی از سه یا چهار وضعیت مختلف را انتخاب نمود (مانند کلیدهای ۹، ۱۳، ۱۸، ۲۹ و ۳۱).
- برخی پتانسیومترها به شکل پیچ‌های دارای دسته‌ای کوچک بوده و با چرخاندن در جهت عقربه‌های ساعت از یک حداقل تا یک حداکثر تغییر می‌کنند (مانند ۲، ۳، ۱۰، ۱۷، ۲۲، ۲۴ و ۲۷).
- تغییر برخی از قسمت‌ها که به شکل پتانسیومتر هستند به کمک ابزاری مانند پیچ‌گوشی کوچک امکان‌پذیر است (مانند ۴، ۱۲ و ۱۴).
- نوع اتصال به ورودی‌های ۷، ۲۰ و ۳۰ اسیلوسکوپ از نوع BNC و ورودی ۱۵ به شکل فیش موزی است.
- پشت دستگاه، قسمت‌هایی وجود دارد که از توضیح آن‌ها صرف‌نظر شده است.
- برای شروع به کار با اسیلوسکوپ آن را ابتدا طبق جدول ۱ تنظیم و سپس در ادامه می‌توان بسته به نیاز هر قسمت را تغییر داد.



شکل ۶

شماره‌ی کلید	تنظیمات
۲۸ و ۲۶، ۲۳، ۱۶، ۱۱	کلیدهای فشاری (بجز کلید POWER) را در حالت بیرون (خاموش) قرار دهید
۳ و ۲	پیچ‌های اولیه‌ی کانونی ساز و تنظیم شدت در حالت مناسب (معمولاً وسط) قرار گیرند
۲۷ و ۲۲، ۱۷، ۱۰	در ابتدا پیچ‌های جابجا کننده در راستای افقی و قایم و همچنین پیچ LEVEL در حالت وسط باشند
۲۵	انتخابگر زمان روی حالت X-Y
۱۹ و ۶	انتخابگرهای ولتاژ روی ۲ ولت
۲۴ و ۲۱، ۸	به کمک پیچ‌های مربوطه، انتخابگرهای زمان و ولتاژ در حالت کالیبره قرار دهید
۳۱ و ۲۹، ۱۳	کلیدهای ریلی TRIGGER SOURCE و TRIGGER MODE، VERTICAL MODE بر روی بالاترین حالت تنظیم شوند
۱۸ و ۹	کلیدهای ریلی مربوط به کانال‌های ۱ و ۲ بر روی حالت GND قرار گیرد

جدول ۱ - تنظیمات اولیه‌ی اسیلوسکوپ GOS-620

عملکرد هر قسمت به اختصار در زیر آمده است:

الف) کلیدهای اولیه

۱- خروجی CAL: برای کالیبره کردن (از جمله سیم‌های رابط)، یک موج مربعی مبنا با ولتاژ نوک به نوک ۲ ولت و فرکانس ۱ کیلوهرتز در اختیار قرار داده شده است. در استفاده از پراب‌های مخصوص اسیلوسکوپ، باید

شکل این موج‌ها کاملاً مربعی دیده شود و لبه‌های آن به شکل $\square$ یا $\sqcap$ نباشد که با پتانسیومتر روی پراب‌ها می‌توان آن‌ها اصلاح نمود.

۲- پیچ **INTEN**: به کمک این پیچ می‌توان شدت لکه‌ی نورانی را کم یا زیاد کرد.

۳- پیچ **FOCUS**: قانونی کردن لکه‌ی نورانی به کمک این پیچ انجام می‌شود.

۴- پیچ پتانسیومتری **TRACE ROTATION**: این پتانسیومتر برای موازی ساختن خط افقی آزمون با خطوط افقی صفحه به کار می‌رود.

۵- کلید **POWER**: کلید روشن/خاموش کن دستگاه است. با فشردن این دکمه، اسیلوسکوپ به همراه یک چراغ کوچک روشن می‌شود. با فشردن مجدد این دکمه، کلید به وضع اولیه‌ی خود (حالت خاموش) باز می‌گردد.

(ب) محور عمودی (VERTICAL)

۶- انتخاب‌گر **VOLTS/DIV** کانال ۱: ضریب تقویت‌کنندگی تقویت‌کننده‌های صفحات انحراف دهنده‌ی مربوط به کانال ورودی ۱ را می‌توان به کمک این انتخاب‌گر تنظیم کرد. در حالت کالیبره بودن (ر.ک. کلید ۸) هر قسمت از صفحه‌ی اسیلوسکوپ (یک سانتی‌متر) برای کانال ۱، معادل ولتاژی است که این انتخاب‌گر مقابل آن عدد قرار گرفته است.

۷- کانال ورودی **CH1 (X)**: ترمینال ورودی کانال ۱ است (CH۱). در حالت X-Y (وضعیت X-Y از کلید ۲۵)، این ترمینال ورودی، محور X است.

۸- پیچ **VAR.**: بهره‌ی تقویت‌کننده‌های انحراف دهنده را برای کانال مربوطه، به کمک این پیچ (Variable Gain) می‌توان به طور پیوسته (غیرپله‌ای) تغییر داد. با چرخاندن این پیچ در خلاف عقربه‌های ساعت، اعداد انتخاب‌گر ۶ تا حداکثر ۲۵ برابر بزرگ‌تر خواهند شد. دقت کنید که با چرخاندن در جهت عقربه‌های ساعت و قرار گرفتن این پیچ در وضعیت کالیبره μ CAL، این ضریب برابر یک خواهد بود. با بیرون کشیدن این پیچ‌ها، محور قائم (کلیه‌ی اعداد انتخاب‌گر ۶) پنج برابر خواهد شد.

۹- کلید **AC/GND/DC** کانال ۱: این کلید ریلی سه وضعیتی، ارتباط بین ترمینال کانال ورودی و تقویت‌کننده‌های مربوط به صفحات منحرف‌کننده‌ی آن را به طور مستقل از کانال دیگر کنترل می‌کند. AC: مؤلفه‌ی متناوب ورودی به تقویت‌کننده‌ها می‌رسد و قسمت DC ورودی حذف می‌شود. GND: ورودی قطع می‌شود و تقویت‌کننده‌های عمودی به زمین وصل می‌شوند (Ground). برای تنظیم خط مبنا باید این دکمه در وضعیت GND باشد.

DC: تمامی ولتاژ ترمینال ورودی به تقویت‌کننده‌ها می‌رسد.

۱۰- پیچ **POSITION** $\blacklozenge$: الگوی رسم شده یا محل لکه‌ی نورانی را برای کانال ۱ مستقل از کانال دیگر در راستای قائم جابه‌جا می‌کنند.

۱۱- دکمه‌ی **ALT/CHOP**: در حالت DUAL (کلید ۱۳)، به کمک این دکمه می‌توان نحوه‌ی نمایش کانال‌های CH1 و CH2 روی صفحه را تعیین کرد:

ALT: در این حالت در هر بار جاروب شدن صفحه توسط لکه، یکی از کانال‌ها نمایش داده می‌شوند (نمایش متناوب یک در میان کانال‌ها).

CHOP: در این حالت در هر بار جاروب شدن صفحه توسط لکه، هر دو کانال به طور هم‌زمان نمایش داده می‌شوند.

۱۲- پتانسیومتر DC BAL کانال ۱: در صورت وجود ولتاژ DC، به کمک این پتانسیومتر می‌توان آن را متعادل یا تضعیف کرد.

۱۳- کلید ریلی VERTICAL MODE: جهت تعیین نحوه‌ی نمایش کانال‌های ۱ و ۲ به کار می‌رود:

CH1: فقط کانال ۱ نمایش داده می‌شود.

CH2: فقط کانال ۲ نمایش داده می‌شود.

DUAL: هر دو کانال با هم نمایش داده می‌شوند.

ADD: جهت نمایش جمع یا تفریق (در صورت فشردن کلید ۱۶) کانال‌های ۱ و ۲ استفاده می‌شود.

۱۴- پتانسیومتر DC BAL کانال ۲: در صورت وجود ولتاژ DC، به کمک این پتانسیومتر می‌توان آن را متعادل یا تضعیف کرد.

۱۵- ورودی GND: پذیرنده‌ی اتصال زمین (به شکل فیش موزی) می‌باشد که به بدنه‌ی دستگاه متصل است. استفاده از این محل معمولاً نیاز نیست و سیم زمین موجود در اتصالات BNC کفایت می‌کند.

۱۶- دکمه‌ی CH2 INV: قطبش ورودی کانال ۲ را در راستای قائم عوض می‌کند. در این حالت چنانچه کلید ریلی ۱۳ روی وضعیت CH2 یا DUAL باشد، کانال ۲ نسبت به محور افقی وارونه نمایش داده می‌شود و اگر کلید ریلی ۱۳ روی حالت ADD باشد، تفاضل کانال‌های ۱ و ۲ نمایش داده خواهد شد.

۱۷- پیچ POSITION: الگوی رسم شده یا محل لکه‌ی نورانی را برای کانال ۲ مستقل از کانال دیگر در راستای قائم جابه‌جا می‌کنند.

۱۸- کلید AC/GND/DC کانال ۲: عملکرد این کلید برای کانال ۲ مشابه کلید ۹ برای کانال ۱ است (ر.ک. کلید شماره‌ی ۹).

۱۹- انتخاب‌گر VOLTS/DIV کانال ۲: ضریب تقویت‌کنندگی تقویت‌کننده‌های صفحات انحراف دهنده‌ی مربوط به ورودی ۲ را می‌توان به کمک این انتخاب‌گر تنظیم کرد. در حالت کالیبره بودن (ر.ک. کلید ۲۱) هر قسمت از صفحه‌ی اسیلوسکوپ (یک سانتی‌متر) برای کانال ۲، معادل ولتاژی است که این انتخاب‌گر مقابل آن عدد قرار گرفته است.

۲۰- کانال ورودی CH2 (Y): ترمینال ورودی کانال ۲ است (CH2). در حالت X-Y (وضعیت X-Y از کلید ۲۵)، این ترمینال ورودی، محور Y است.

۲۱- پیچ VAR: بهره‌ی تقویت‌کننده‌های انحراف دهنده را برای کانال ۲، به کمک این پیچ (Variable Gain) می‌توان به طور پیوسته (غیرپله‌ای) تغییر داد. با چرخاندن این پیچ در خلاف عقربه‌های ساعت، اعداد

انتخاب گر ۱۹ تا حداکثر 2.5 برابر بزرگتر خواهند شد. دقت کنید که با چرخاندن در جهت عقربه‌های ساعت و قرار گرفتن این پیچ در وضعیت کالیبره μ_{CAL} ، این ضریب برابر یک خواهد بود. با بیرون کشیدن این پیچ‌ها، محور قائم (کلیه‌ی اعداد انتخاب گر ۱۹) پنج برابر خواهد شد.

ج) محور افقی (HORIZONTAL)

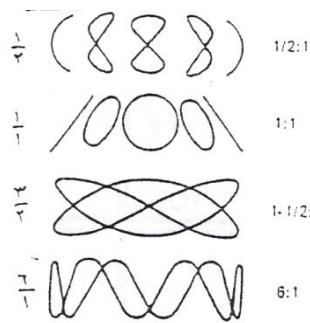
۲۲- پیچ **POSITION**: الگوی رسم شده یا محل لکه‌ی نورانی را در راستای افقی جابه‌جا می‌کند.

۲۳- دکمه‌ی **10 MAG**: به کمک این دکمه، مقیاس محور افقی ده برابر می‌شود.

۲۴- پیچ **SWP. VAR.**: به کمک این پیچ می‌توان زمان جاروب کردن صفحه توسط لکه را تا ۲۵ برابر اعداد نوشته شده در اطراف انتخاب گر ۲۵ افزایش داد. این ضریب تنها در صورتی برابر یک است که با چرخاندن این پیچ در جهت عقربه‌های ساعت، آن را بر روی حالت کالیبره μ_{CAL} قرار دهیم.

۲۵- انتخاب گر **TIME/DIV**: برای این انتخاب گر دو کاربرد مختلف پیش‌بینی شده است:

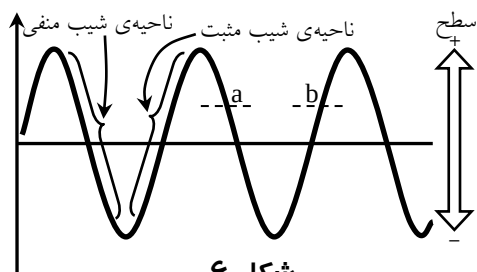
● اگر انتخاب گر روی یکی از اعداد قرار داشته باشد، دوره‌ی تناوب (پریود) موج دنداناره‌ای مربوط به جاروب کننده‌ی افقی پرتو (Sweep) را کنترل می‌کند (τ). این انتخاب گر می‌تواند مقابل یکی از اعداد 0.5 s تا $0.2 \mu s$ قرار گیرد و معنی آن این است که هر قسمت (یک سانتی‌متر) از درجه‌بندی افقی در مدت زمانی که انتخاب گر مقابل آن عدد قرار گرفته است جاروب می‌شود. این درجه‌بندی‌ها به شرطی معتبرند که پیچ ۲۴ (SWP. VAR.) در وضعیت کالیبره باشد؛ در غیر این صورت، اعداد اطراف این انتخاب گر تا 2.5 برابر مقدار نوشته شده قابل تغییر خواهند بود.



شکل ۵

● اگر انتخاب گر روی حالت X-Y قرار داشته باشد، مولد موج دنداناره‌ای از کار می‌افتد و ورودی کانال ۱ به صفحات انحراف دهنده‌ی افقی (X) و ورودی کانال ۲ به صفحات انحراف دهنده‌ی قائم (Y) وصل می‌شوند. از این حالت برای مقایسه دو موج ساده و تعیین اختلاف فاز بین دو عنصر از مدار که با تشکیل اشکال لیسازوس (شکل ۵) انجام می‌شود، استفاده می‌گردد.

د) مدار آتش کن (TRIGGER)



شکل ۶

۲۶- دکمه‌ی **SLOPE**: این دکمه، شیب آتش را کنترل می‌کند. برای مثال اگر سطح آتش (LEVEL) مثبت باشد آن گاه نقطه‌ی شروع آتش در حالت «+» نقطه‌ی b و در حالت «-» نقطه‌ی a خواهد بود (شکل ۶).

۲۷- پیچ **LEVEL**: سطح آتش را در راستای قائم تغییر می‌دهد (به عبارتی مدار آتش کن، وقتی فرمان آتش کردن را صادر می‌کند که ولتاژ به سطح تعیین شده برسد). اگر سطح آتش در خارج محدوده دامنه‌ی ولتاژ اعمال

شده باشد، هیچ موجی روی صفحه دیده نمی‌شود. حالت $\odot$ - معادل با سطح آتش صفر است. با چرخاندن این پیچ در جهت عقربه‌های ساعت یا خلاف آن، می‌توان سطح آتش را بالاتر یا پایین‌تر از صفر اختیار نمود.

۲۸- دکمه TRIG. ALT: با انتخاب این دکمه، مبنای آتش کردن (Trigger Source) متناوباً و با فاصله‌ی زمانی ثابت بین کانال ۱ و کانال ۲ تغییر وضعیت پیدا می‌کند به گونه‌ای که سیگنال هر دو کانال ثابت دیده می‌شود. این دکمه وقتی کار می‌کند که دکمه‌ی ۱۳ در وضعیت DUAL و همچنین دکمه‌ی ۳۱ بر روی CH1 یا CH2 باشد. همچنین در موقع استفاده از این دکمه، دکمه‌ی ۱۱ نباید در حالت CHOP باشد.

۲۹- کلید ریلی TRIGGER MODE: در موقع نیاز به انجام عمل آتش کردن، با توجه به موج‌های ورودی و شرایط آن‌ها یکی از این گزینه‌ها را باید انتخاب نمود:

AUTO: برای آتش کردن در هر وضعیتی از کلید ۳۱ (آتش کردن به طور خودکار) از این حالت استفاده می‌شود. در این حالت سطح آتش صفر است. حالت AUTO برای ولتاژ DC و نوسانات با دامنه‌ی کم، به منظور آتش کردن برای جاروب کردن صفحه استفاده می‌شود.

NORM: آتش کردن وقتی انجام می‌شود که ولتاژ ورودی به یک آستانه‌ی سطح آتش برسد و این آستانه‌ی سطح آتش با کلید ۲۷ تنظیم می‌شود (آتش کردن غیراتوماتیک یا دستی). در وضعیت ALT (از دکمه‌ی ۱۱)، این حالت نرمال، جز آتش کردن هر دو ورودی‌های ۱ و ۲ اثری نخواهد داشت.

TV-V: لحظه‌ی شروع آتش کردن (تحریک) با یک سیگنال ویدئویی همگام‌سازی شده‌ی عمودی می‌باشد (لحظه‌ی آتش با شروع یک خط جدید فرد یا زوج تصویر خواهد بود). برای آتش کردن براساس یک فیلد تصویر، مقیاس افقی (کلید ۲۵) 2 ms/DIV و برای آتش کردن براساس یک فریم تصویر (دو فیلد ادغام شده)، مقیاس افقی (کلید ۲۵) 5 ms/DIV انتخاب می‌شود.

TV-H: لحظه‌ی شروع آتش کردن (تحریک) با یک سیگنال ویدئویی همگام‌سازی شده‌ی افقی می‌باشد (لحظه‌ی آتش با شروع یک تصویر جدید خواهد بود). برای آتش کردن روی هر خط تصویر، مقیاس افقی (کلید ۲۵) $10\text{ }\mu\text{s/DIV}$ انتخاب می‌شود. با دکمه‌ی ۲۴، می‌توان تعداد شکل موج‌های نمایشی را کنترل کرد.

● آتش کردن در حالت‌های TV-V و TV-H روی سیگنال‌های با قطبش منفی انجام می‌شود.

● دقت شود که آتش کردن روی فرکانس‌های کم‌تر از 25 Hz انجام نمی‌شود.

۳۰- ورودی TRIG IN: تحریک کننده‌ی خارجی برای آتش کردن به این ورودی اعمال می‌شود.

۳۱- کلید TRIGGER SOURCE: منبع آتش کننده یا سیگنالی که مبنای آتش کردن می‌باشد را تعیین می‌کند:

CH1: کانال ۱ مبنای آتش کردن خواهد بود و ثابت نمایش داده می‌شود.

CH2: کانال ۱ مبنای آتش کردن خواهد بود و ثابت نمایش داده می‌شود.

LINE: سیگنال برق شهر مبنای آتش کردن خواهد بود.

EXT: سیگنال منبع خارجی متصل به ورودی ۳۰، مبنای آتش کردن خواهد بود.

- کابل‌های اسیلوسکوپ از نوع کواکسیال و محل اتصال به اسیلوسکوپ، از نوع اتصال BNC می‌باشد ولی سمت دیگر کابل جهت اتصال به منبع یا مدار بسته به نیاز می‌تواند شکل‌های متفاوتی مانند پرآب‌های مخصوص، اتصال BNC، فیش‌های موزی و یا گیره‌های سوسماری باشد که در این آزمایشگاه با توجه به نوع دستگاه‌ها، سمت دیگر کابل از نوع دو رشته‌ای با فیش‌های موزی می‌باشد. یکی از این دو رشته سیم، سیم اصلی یا گرم (مغزه‌ی کابل) بوده که معمولاً فیش آن یا بزرگ‌تر است و یا به رنگ قرمز می‌باشد. رشته سیم دوم، سیم زمین (غلاف فلزی کابل) بوده که معمولاً فیش آن یا کوچک‌تر است و یا سیاه‌رنگ می‌باشد.
- به طور قراردادی در مدارهایی که رسم می‌شوند، منظور از سیمی که با حروف BNC مشخص شده (با علامت $\leftarrow$)، سیم اصلی مربوط به کانال ورودی است. سیم‌های زمین دو کانال اسیلوسکوپ (به همراه ورودی زمین ۱۵) از داخل به یکدیگر وصل بوده و زمین اسیلوسکوپ هستند. این سیم‌ها به جایی در مدار وصل می‌شوند که با علامت زمین مشخص می‌شود.

زمینه‌ی نظری

اسیلوسکوپ را علی‌رغم کاربردهای فراوان، می‌توان یک وسیله‌ی خوب ولت‌سنجی در نظر گرفت. در آزمایش جلسه‌ی چهارم دیدیم که ولت‌سنج‌ها هیچ‌گاه نیروی محرکه‌ی دو سر منبع را نمایش نمی‌دهد و به عبارتی باعث افت ولتاژ منبع می‌شوند. با توجه به مقاومت درونی متفاوت ولت‌سنج‌ها، I (جریانی که از ولت‌سنج عبور می‌کند یا جریانی که از منبع گرفته می‌شود) متفاوت است و بسته به مقاومت داخلی منبع (r)، میزان این افت ولتاژ نیز متفاوت خواهد بود ($V = \mathcal{E} - Ir$) ولی در اسیلوسکوپ، به دلیل $I = 0$ ، افت ولتاژ وجود ندارد.

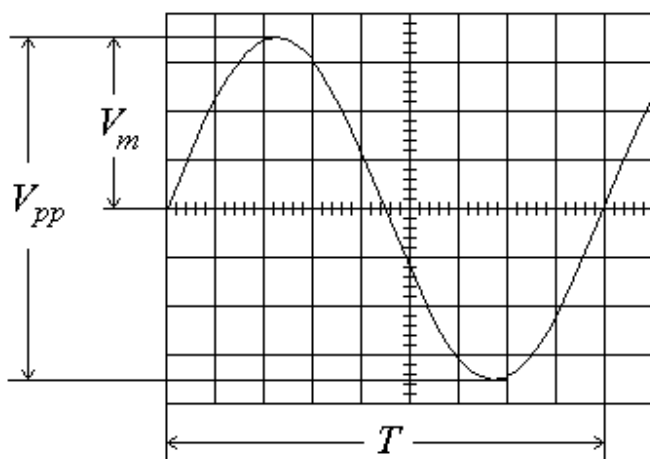
یکی دیگر از تفاوت‌های اسیلوسکوپ و ولت‌سنج در این است که اسیلوسکوپ قادر است بستگی ولتاژ به زمان را به نمایش بگذارد در صورتی که ولت‌سنج متناوب فقط مقدار موثر ولتاژ، V_{eff} ، که معمولاً $V_{\text{r.m.s.}}$ نیز نوشته می‌شود را اندازه می‌گیرد. همان‌طور که در قسمت آشنایی با آوومتر گفته شد، ولت‌سنج‌های متناوب برای ولتاژهای سینوسی و در گستره‌ی خاصی از بسامد تنظیم شده‌اند. زیرنویشت r.m.s. مخفف Root Mean Square و به معنی ریشه‌ی دوم میانگین کمیت مورد نظر در یک چرخه‌ی کامل است؛ یعنی $V_{\text{r.m.s.}}$ چنین محاسبه می‌شود:

$$V_{\text{rms}} = \langle V^2 \rangle^{1/2} = \left(\frac{1}{T} \int_0^T V^2 dt \right)^{1/2} \quad (1)$$

برای مثال اگر ولتاژ، سینوسی باشد یعنی $V = V_m \sin \omega t$ ؛ آن‌گاه $V_{\text{r.m.s.}}$ چنین خواهد بود:

$$V_{\text{r.m.s.}} = \left(\frac{1}{T} \int_0^T V_m^2 \sin^2 \omega t dt \right)^{1/2} = V_m \left(\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2 \theta d\theta \right)^{1/2} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

که در آن از $\theta = \omega t$ و $\omega = 2\pi/T$ استفاده شده است. برای ولتاژهای غیرسینوسی نیز می‌توان از رابطه‌ی ۱ برای محاسبه‌ی $V_{\text{r.m.s.}}$ استفاده کرد. V_m در رابطه‌ی بالا، دامنه‌ی ولتاژ خوانده می‌شود. فرض کنید ولتاژی سینوسی به اسیلوسکوپ اعمال کردیم و شکلی شبیه شکل ۷ به دست آمد. در این شکل، $V_{\text{pp}} = 2 V_m$ ، ولتاژ نوک به نوک (Peak to Peak) خوانده می‌شود. با اندازه‌گیری فاصله‌ی بیشینه تا کمینه‌ی موج و ضرب کردن آن در عدد مربوط به انتخاب گر VOLTS/DIV می‌توان V_{pp} را به دست آورد (دکمه‌ی ۸ باید در حالت کالیبره باشد) و از آن جا



شکل ۷

V_m و $V_{r.m.s.}$ را محاسبه کرد. برای اندازه‌گیری دوره‌ی نوسان، T ، کافی است فاصله‌ی افقی دو نقطه‌ی هم‌ارز پی‌درپی (مثلاً دو بیشینه یا دو نقطه‌ی برخورد منحنی در حال افزایش با خط وسط اسیلوسکوپ) را در عدد مربوط به انتخاب‌گر $TIME/DIV$ ضرب کنیم (دکمه‌ی ۲۴ باید در حالت کالیبره باشد). برای مثال ولتاژ موثر و بسامد موج شکل ۷ در حالتی که دکمه‌ی $TIME/DIV$

روی 1 ms و دکمه‌ی $VOLTS/DIV$ روی 2 V باشد، چنین محاسبه می‌شوند:

$$V_{PP} = (7.0 \text{ DIV}) \times (2 \text{ VOLTS/DIV}) = 14.0 \text{ v} \Rightarrow V_m = \frac{V_{PP}}{2} = 7.0 \text{ v} \Rightarrow V_{r.m.s.} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cong 5.0 \text{ v}$$

$$\Delta V_{PP} = (0.2 \text{ DIV}) \times (2 \text{ VOLT/DIV}) = 0.4 \text{ v} \Rightarrow \Delta V_{r.m.s.} = \frac{\Delta V_{PP}}{2\sqrt{2}} \cong 0.1 \text{ v}$$

$$T = (9.0 \text{ DIV}) \times (1 \text{ ms/DIV}) = 9.0 \text{ ms} \Rightarrow f = \frac{1}{T} \cong 111 \text{ Hz} \Rightarrow f \cong 0.11 \text{ kHz}$$

$$\Delta T = (0.2 \text{ DIV}) \times (1 \text{ ms/DIV}) = 0.2 \text{ ms} \Rightarrow \Delta f = \frac{\Delta T}{T^2} = \frac{0.2 \times 10^{-3} \text{ s}}{(9.0 \times 10^{-3} \text{ s})^2} \cong 2 \text{ Hz} \Rightarrow \Delta f = 0.002 \text{ kHz}$$

برای محاسبه‌ی دقت اندازه‌گیری‌ها از این که دقت خواندن صفحه‌ی اسیلوسکوپ 0.2 DIV است، استفاده شد.

وسایل آزمایش: باتری 1.5 ولتی، منبع تغذیه‌ی متناوب، ۲ عدد نوسان‌ساز (سینوسی و مربعی)، اسیلوسکوپ، آومتر مکانیکی (عقربه‌ای)، ۲ عدد کابل اسیلوسکوپ و ۲ عدد سیم رابط.

دستور کار

الف) آشنایی با محور زمان (انتخاب‌گر $TIME/DIV$)

۱- اسیلوسکوپ را طبق جدول ۱ تنظیم و آن را روشن کنید. پس از چند لحظه، لکه‌ای روی صفحه دیده خواهد شد. با دکمه‌های $INTEN$ و $FOCUS$ شدت و کانونی بودن لکه را تنظیم کنید. شدت لکه نباید آن قدر زیاد باشد که روی صفحه، هاله داشته باشد. حال اگر انتخاب‌گر ۲۵ ($TIME/DIV$) روی 0.5 ثانیه قرار گیرد، این لکه از چپ به راست حرکت می‌کند. با چرخاندن $\blacklozenge$ POSITION کانال ۱ (کلید ۱۰) لکه در راستای قائم جابه‌جا می‌شود (زیرا با کلید ۱۳ کانال ۱ برای ورودی انتخاب شده است). به وسیله‌ی این کلید، لکه را روی خط وسط بیاورید.

۲- با چرخاندن کلید انتخاب‌گر ۲۵ ($TIME/DIV$)، سرعت حرکت لکه تغییر می‌کند. وقتی سرعت حرکت لکه از حد معینی تجاوز کند، چشم قادر به دنبال کردن لکه نخواهد بود و یک خط پیوسته دیده خواهد شد. پله‌ای از $TIME/DIV$ که این اتفاق روی می‌دهد را به دست آورید و آن را یادداشت کنید.

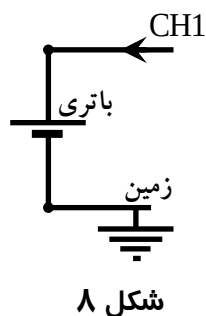
..... = پله‌ای که در آن لکه به صورت خط دیده می‌شود

۳- با توجه به این که در حالت کالیبره بودن محور زمان (دکمه‌ی ۲۴)، زمانی که طول می‌کشد تا لکه یک سانتی‌متر در راستای افقی جابه‌جا شود، برابر با مقداری است که انتخاب‌گر TIME/DIV نشان می‌دهد، محاسبه کنید چه مدت طول می‌کشد تا لکه از سمت چپ صفحه به سمت راست صفحه‌ی اسیلوسکوپ برود (یا دورهی تناوب حرکت لکه چقدر است)؟ با فرض آن که لکه پس از خارج شدن از یک سمت راست صفحه، بلافاصله در طرف چپ ظاهر شود، تخمین بزنید که یک نقطه‌ی نورانی در یک ثانیه چند بار باید روشن و خاموش شود تا چشم انسان آن را همواره روشن ببیند (یا فرکانس حرکت لکه چند است)؟ پدیده‌ی فوق اساس کار سینما است.

ب) آشنایی با محور قائم و اندازه‌گیری ولتاژ مستقیم

۴- انتخاب‌گر TIME/DIV را روی 2 ms قرار دهید. با این کار پرتو کاتدی، هر ۱ سانتی‌متر از صفحه‌ی اسیلوسکوپ را در 2 ms می‌پیماید و به شکل یک خط مستقیم دیده خواهد شد. با چرخاندن دکمه‌ی ۱۰ (POSITION) خط فوق را بر خط وسط صفحه تنظیم کنید.

۵- کابل اسیلوسکوپ را از سمت BNC به ورودی ۷ وصل کنید. دکمه‌ی ۹ (مربوط به ورودی کانال ۱) را روی



شکل ۸

AC بگذارید. با این کار مؤلفه‌ی متناوب ورودی کانال ۱ به اسیلوسکوپ اعمال می‌شود و احتمالاً موج نامشخصی را روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده خواهید کرد. دو سر سیم رابط کانال ۱ را مطابق شکل ۸ به دو سر یک باتری وصل کنید. چه مشاهده می‌کنید؟ اگر کلید ۹ را روی GND قرار دهید چطور؟ حال دکمه‌ی ۹ را روی DC بگذارید. با این کار تمامی ورودی کانال ۱ (مؤلفه‌ی مستقیم + مؤلفه‌ی متناوب) به اسیلوسکوپ اعمال می‌شود. چه مشاهده می‌کنید؟

۶- انتخاب‌گر ۶ (VOLTS/DIV مربوط به کانال ۱) را بچرخانید. چه تغییری در مکان خط پرتو کاتدی می‌بینید؟ با قرار دادن این دکمه روی پله‌ی 0.5 V و اندازه‌گیری مقدار جابه‌جایی خط پرتو کاتدی در اثر اتصال به باتری، ولتاژ دو سر باتری را اندازه بگیرید (توجه داشته باشید که اگر پیچ ۸ در حالت کالیبره باشد، هر قسمت از محور قائم معادل ۵۰ ولت خواهد بود). ولتاژ دو سر باتری را به وسیله‌ی ولت‌سنج نیز اندازه بگیرید.

(V) = ولتاژ دو سر باتری به کمک ولت‌سنج (V) = $\mathcal{E}$ باتری به کمک اسیلوسکوپ

ج) اندازه‌گیری ولتاژ متناوب و بسامد / مقایسه‌ی ولت‌سنج و اسیلوسکوپ در اندازه‌گیری ولتاژ

۷- منبع تغذیه‌ی متناوب را روی پله‌ای با دامنه‌ی ولتاژ حدود ۴ ولت قرار دهید (دقت کنید که از نوسان‌ساز استفاده نکنید). ولتاژ منبع تغذیه را به کمک ولت‌سنجی که در اختیار دارید اندازه بگیرید و در جدول ۲ ثبت کنید.

منبع تغذیه	روی پله‌ی ۱۰ ولت متناوب	V =	$\Delta V =$
به کمک ولت‌سنج	روی پله‌ی ۳۰ ولت متناوب	V =	$\Delta V =$

جدول ۲

۸- به کمک یک سیم رابط اسیلوسکوپ، کانال ۱ اسیلوسکوپ را به همان منبع تغذیه وصل نمایید. انتخاب گر ولتاژ کانال ۱ (دکمه ۶) را روی پله ۲ V و انتخاب گر زمان (دکمه ۲۵) را نیز روی 2 ms قرار دهید. با روشی که در قسمت زمینه‌ی نظری گفته شد V_{pp} ، V_m ، $V_{r.m.s}$ ، T ، f و دقت آن‌ها را به دست آورید و نتایج را در جدول ۳ ثبت نمایید. از دکمه ۱۰ (◀ POSITION) و دکمه ۲۲ (▶ POSITION) نیز می‌توانید برای جابه‌جا کردن شکل موج روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ و اندازه‌گیری بهتر کمیت‌های مورد نظر استفاده کنید. کدام یک از ولتاژهای محاسبه شده در جدول ۳ با مقادیر جدول ۲ همخوانی دارد؟ آیا فرکانس به دست آمده با فرکانس برق شهر برابری می‌کند؟

منبع تغذیه به کمک اسیلوسکوپ	$V_{pp} =$	$\Delta V_{pp} =$
	$V_m =$	$\Delta V_m =$
	$V_{r.m.s} =$	$\Delta V_{r.m.s} =$
	$T =$	$\Delta T =$
	$f =$	$\Delta f =$

جدول ۳

۹- حال اسیلوسکوپ و ولت‌سنج را هم‌زمان به منبع تغذیه وصل کنید و V_{pp} را به کمک اسیلوسکوپ در حالت‌هایی که ولت‌سنج متناوب روی پله‌های ۱۰ و ۳۰ ولت باشد، اندازه بگیرید و در جدول ۴ ثبت نمایید. آیا تغییر دادن پله‌ی ولت‌سنج در اندازه و شکل موجی که روی اسیلوسکوپ می‌بینید، اثر می‌گذارد؟

منبع تغذیه به کمک اسیلوسکوپ (وقتی ولت‌سنج نیز وصل است)	$V_{pp} =$ وقتی ولت‌سنج AC روی پله‌ی 10 V به منبع وصل است
	$V_{pp} =$ وقتی ولت‌سنج AC روی پله‌ی 30 V به منبع وصل است

جدول ۴

د) مقایسه‌ی منبع تغذیه و نوسان‌ساز / مقایسه‌ی ولت‌سنج و اسیلوسکوپ در استفاده از آن‌ها

۱۰- به جای منبع تغذیه در مرحله‌ی ۷ این بار از یک نوسان‌ساز با فرکانس حدود ۱۰۰۰ هرتز استفاده کنید. به کمک پیچ Fine، ولتاژ نوسان‌ساز را به وسیله‌ی ولت‌سنج AC که روی پله‌ی ۱۰ ولت قرار دارد، حدود ۵ ولت تنظیم و در جدول ۵ یادداشت کنید. بدون تغییر فرکانس و ولتاژ نوسان‌ساز، ولتاژ نوسان‌ساز را با همان ولت‌سنج متناوب روی پله‌های ۳۰ ولت و ۳ ولت نیز اندازه بگیرید و نتایج را در جدول ۵ درج کنید. چرا ولت‌سنج در پله‌های متفاوت مقادیر گوناگونی اندازه می‌گیرد؟

نوسان‌ساز به کمک ولت‌سنج	روی پله‌ی ۱۰ ولت متناوب	$V =$	$\Delta V =$
	روی پله‌ی ۳۰ ولت متناوب	$V =$	$\Delta V =$
	روی پله‌ی ۳ ولت متناوب!	$V =$	$\Delta V =$

جدول ۵

۱۱- مشابه مرحله ی ۸، بدون تغییر در ولتاژ و فرکانس نوسان ساز، این بار نوسان ساز را به اسیلوسکوپ متصل کنید. سعی کنید در این مرحله با انتخاب پله های مناسبی برای دکمه های VOLTS/DIV و TIME / DIV شکل مناسبی روی صفحه ی اسیلوسکوپ ایجاد کنید. V_{pp} ، V_m ، $V_{r.m.s.}$ ، T ، f و دقت آن ها را به دست آورید و نتایج را در جدول ۶ درج نمایید. با توجه به این که ولت سنج متناوب، ولتاژ موثر را اندازه می گیرد، کدام یک از ولتاژهای جدول ۵ که به کمک ولت سنج اندازه گرفتید با ولتاژ $V_{r.m.s.}$ محاسبه شده در جدول ۶ همخوانی دارد؟ آیا فرکانس اندازه گیری شده در جدول ۶ با فرکانس نوسان ساز مطابقت دارد؟

نوسان ساز به کمک اسیلوسکوپ	$V_{pp} =$	$\Delta V_{pp} =$
	$V_m =$	$\Delta V_m =$
	$V_{r.m.s.} =$	$\Delta V_{r.m.s.} =$
	$T =$	$\Delta T =$
	$f =$	$\Delta f =$

جدول ۶

۱۲- بدون تغییر در ولتاژ و فرکانس نوسان ساز، قسمت ۹ را به جای منبع تغذیه با نوسان ساز انجام دهید و مشاهدات خود را هنگامی که ولت سنج و اسیلوسکوپ هم زمان به نوسان ساز وصل باشند و پله ی ولت سنج را تغییر می دهید، دقیقاً در جدول ۷ یادداشت کنید. چه تفاوتی بین منبع تغذیه و نوسان ساز مشاهده می کنید؟ راجع به مقاومت درونی آن ها چه می توانید بگویید؟

نوسان ساز به کمک اسیلوسکوپ (وقتی ولت سنج نیز وصل است)	$V_{pp} =$ وقتی ولت سنج AC روی پله ی 10 V به نوسان ساز وصل است
	$V_{pp} =$ وقتی ولت سنج AC روی پله ی 30 V به نوسان ساز وصل است
	$V_{pp} =$ وقتی ولت سنج AC روی پله ی 3 V به نوسان ساز وصل است

جدول ۷

۵) نوسان ساز مربعی

۱۳- نوسان ساز را در وضعیتی قرار دهید که موج مربعی تولید کند. بسامد نوسان ساز را روی ۱۰۰۰ هرتز تنظیم کرده و در حالی که ولت سنج متناوب روی پله ی ۳۰ ولت به نوسان ساز متصل است، به کمک اسیلوسکوپ V_{pp} و بسامد موج تولید شده را اندازه بگیرید و در جدول ۸ ثبت کنید. ولتاژ نوسان ساز را به کمک ولت سنج نیز اندازه گرفته، در جدول ۸ درج کنید. آیا می توان نتیجه گیری کرد ارتباط V_{pp} با ولتاژ اندازه گیری شده به کمک ولت سنج، برای موج مربعی هم مانند موج سینوسی است؟ چه ارتباطی بین V_{pp} و ولتی که ولت سنج اندازه می گیرد وجود دارد (توجه داشته باشید که $V_{r.m.s.}$ موج سینوسی با $V_{r.m.s.}$ موج مربعی متفاوت است برای راهنمایی به پرسش ۳ صفحه ی ۶۷ مراجعه فرمایید)؟

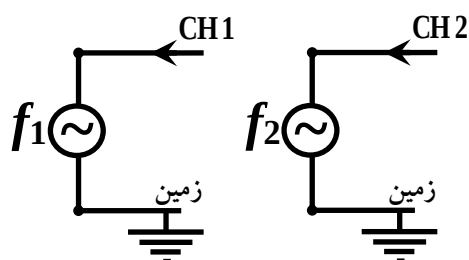
نوسان ساز مربعی	به کمک اسیلوسکوپ	$V_{pp} =$	$\Delta V_{pp} =$
		$V_{r.m.s.} =$	$\Delta V_{r.m.s.} =$
		$T =$	$\Delta T =$
		$f =$	$\Delta f =$
	ولت سنج روی پله‌ی ۳۰ ولت AC	$V =$	$\Delta V =$

جدول ۸

و) کار با ورودی کانال ۲

۱۴- در تمام اندازه‌گیری‌های قبلی می‌توانستید از ورودی کانال ۲ استفاده کنید. برای این کار کافی است که دکمه‌های ۱۳ (VERTICAL MODE) و ۳۱ (TRIGGER SOURCE) را روی CH2 قرار دهید و از پیچ ۱۷ برای جابه‌جایی آن در راستای قائم استفاده نمایید. به کمک نوسان‌ساز، یک موج سینوسی دلخواه را روی کانال ۲ مشاهده کنید. با قرار دادن کلید ۳۱ روی حالت‌های مختلف، مشاهدات خود را توضیح دهید.

ز) کار با هر دو ورودی به طور همزمان / تفاوت ALT و CHOP



شکل ۹

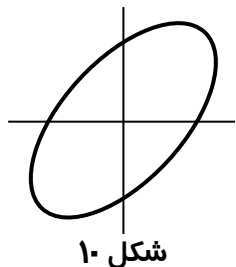
۱۵- انتخاب‌گر زمان (دکمه‌ی ۲۵) را روی 2 ms قرار دهید و مبنای آتش را به کمک کلید ۳۱، کانال ۱ انتخاب کنید. دو نوسان ساز سینوسی را که در اختیار دارید مطابق شکل ۹ به دو کانال ورودی وصل کنید و بسامد آنها را برابر 50 Hz انتخاب کنید. دکمه‌های ۹ و ۱۸ کنار هر دو ورودی را روی

AC قرار دهید. با این کار فقط مؤلفه‌ی متناوب ورودی‌ها به اسیلوسکوپ اعمال می‌شود. به کمک VERTICAL MODE (دکمه‌ی ۱۳) حالت DUAL را انتخاب کنید. با این کار هر دو موج را هم‌زمان روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ مشاهده خواهید کرد. به کمک پیچ‌های POSITION هر دو کانال (کلیدهای ۱۰ و ۱۷)، موج مربوط به ورودی کانال ۱ را به بالا و موج مربوط به ورودی کانال ۲ را به پایین صفحه منتقل کنید. موج مربوط به کدام کانال ورودی است که الگوی ثابتی دارد؟ اگر کلید ۲۸ (TRIG. ALT) را فشار دهید، چطور؟ کلید ۲۸ را خاموش کنید و TRIGGER SOURCE (کلید ۳۱) را روی حالت CH2 قرار دهید. این بار کدام موج ثابت است و کدام موج از چپ به راست یا برعکس در حرکت است؟ با فشار کلید ۲۸ (TRIG. ALT) چه مشاهده می‌کنید؟ اگر کلید ۳۱ روی حالت LINE یا EXT قرار گیرد، آیا شکل موج‌ها ثابت دیده می‌شوند؟ با توجه به مفهوم آتش کردن و کاربرد کلید ۲۸ و ۳۱، علت را توضیح دهید (دقت کنید که دکمه‌ی ۲۸، در حالت CHOP از دکمه‌ی ۱۱، کارایی ندارد).

۱۶- دکمه‌ی ۲۸ (TRIG. ALT) را خاموش و کلید ۳۱ (Trigger SOURCE) را روی حالت CH1 قرار دهید. با کمی تغییر دادن بسامد نوسان‌سازها، سعی کنید هر دو موج روی صفحه، تقریباً ثابت دیده شوند (با این کار فرکانس هر دو ورودی تقریباً برابر شده‌اند). مشاهده می‌کنید که الگوها کمی پرش دارند. با فشردن دکمه‌ی

۱۱، آن را در حالت CHOP قرار دهید. آیا در لرزش الگوها تغییری ایجاد می‌شود؟ با قرار دادن انتخاب‌گر TIME / DIV روی 0.1 s تفاوت ALT و CHOP را مشاهده کرده و آن را یادداشت کنید (دقت کنید که ALT و CHOP فقط در حالت DUAL از کلید ۱۳ کاربرد دارند).

ج) مشاهده‌ی اشکال لیسازوس و اندازه‌گیری نسبت بسامد دو منبع



۱۷- با قرار دادن انتخاب‌گر TIME / DIV روی حالت X-Y، کانال ۱ جایگزین محور افقی زمان می‌شود و شکلی شبیه بیضی در حال چرخش به وجود می‌آید (شکل ۱۰). در این حالت مولد موج دندانه‌اره‌ای از کار می‌افتد و ورودی کانال ۱ به صفحات انحراف دهنده‌ی افقی (X) و ورودی کانال ۲ به صفحات انحراف دهنده‌ی قائم (Y) وصل می‌شوند. برای مشاهده‌ی یک شکل بزرگ و مناسب می‌توانید موارد ۱۷ و ۱۸ که در ادامه آمده است را انجام دهید.

۱۸- دکمه‌ی ۹ را روی GND قرار دهید. با این کار ورودی کانال ۱ (محور X) قطع می‌شود و فقط یک خط قائم دیده خواهد شد. به کمک $\blacklozenge$ POSITION کانال ۲ (دکمه‌ی ۱۷) این خط را بر خط قائم وسط صفحه تنظیم کنید. با تنظیم دامنه‌ی ولتاژ نوسان‌ساز (یا به کمک انتخاب‌گر VOLTS / DIV و VAR. مربوط به کانال ۲) طول این خط را برابر ۶ قسمت از صفحه‌ی اسیلوسکوپ تنظیم کنید. مجدداً کلید ۹ را روی AC برگردانید.

۱۹- دکمه‌ی ۱۸ را روی GND قرار دهید. با این کار ورودی کانال ۲ (محور Y) قطع می‌شود و فقط یک خط افقی دیده خواهد شد. به کمک $\blacklozenge$ POSITION کانال ۱ (دکمه‌ی ۱۰) این خط را بر خط افقی وسط صفحه تنظیم کنید. مانند مرحله‌ی قبل، طول این خط را نیز برابر ۶ قسمت از صفحه‌ی اسیلوسکوپ تنظیم کنید. مجدداً دکمه‌ی ۱۸ را روی حالت AC برگردانید.

۲۰- با تنظیم دقیق‌تر بسامد نوسان‌سازها سعی کنید الگو را ثابت کرده و حداقل یک حالت الگو را در جدول ۹ رسم کنید.

$f_1 = 50 \text{ Hz}$ و $f_2 = 50 \text{ Hz}$	$f_1 = 50 \text{ Hz}$ و $f_2 = 100 \text{ Hz}$	$f_1 = 50 \text{ Hz}$ و $f_2 = 150 \text{ Hz}$
$f_1 = 100 \text{ Hz}$ و $f_2 = 150 \text{ Hz}$	$f_1 = 100 \text{ Hz}$ و $f_2 = 50 \text{ Hz}$	$f_1 = 100 \text{ Hz}$ و $f_2 = 100 \text{ Hz}$

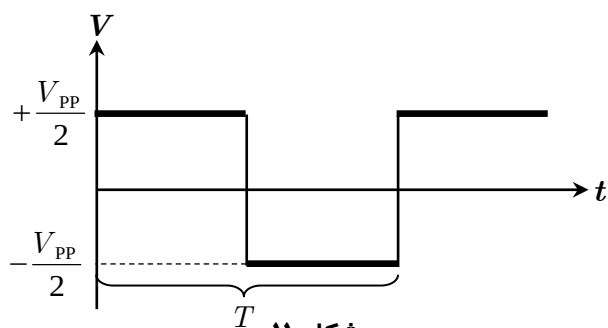
جدول ۹

۲۱- با تغییر دادن بسامد نوسان‌سازها مطابق جدول ۹، الگوهای واضح و ثابتی به دست آورید و حداقل یک حالت آن‌ها را رسم کنید. مشاهده کنید که هرگاه الگوی ثابتی روی صفحه ایجاد شود، نسبت بسامدها عددی گویا خواهد بود (مثلاً $\frac{3}{5}$ ، $\frac{2}{1}$ و ...). این شکل‌ها را اشکال لیسازوس می‌گویند. توضیح دهید که از روی هر شکل چگونه می‌توانید نسبت بسامدها را تعیین کنید؟

پرسش‌ها

۱- چه تفاوتی بین منبع تغذیه (مبدل یا ترانسفورماتور کاهنده) و نوسان‌ساز است؟
 ۲- چرا هنگام استفاده از منبع تغذیه ۴ ولتی مجاز به استفاده از پله ۳ ولت آوومتر نبودید ولی این کار را در مورد نوسان‌ساز انجام دادید؟

۳- نشان دهید، $V_{r.m.s.}$ یک ولتاژ مربعی از رابطه‌ی ۱ برابر $\frac{V_{pp}}{2}$ است. به عنوان راهنمایی، تابع V را طبق شکل ۱۱



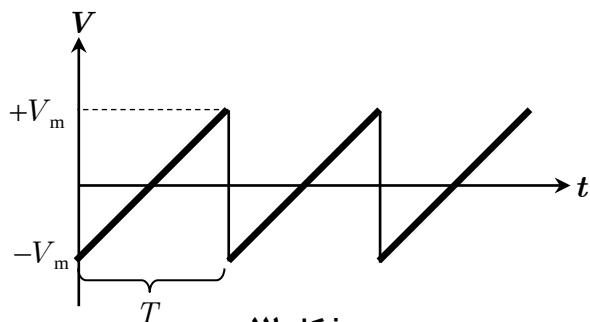
شکل ۱۱

به صورت زیر تعریف کنید:

$$V = \begin{cases} \frac{V_{pp}}{2} & 0 \leq t \leq \frac{T}{2} \\ -\frac{V_{pp}}{2} & \frac{T}{2} \leq t \leq T \end{cases}$$

۴- به کمک رابطه‌ی ۱، $V_{r.m.s.}$ یک ولتاژ دندانه‌اره‌ای را حساب کنید (راهنمایی: ضابطه‌ی تابع ولتاژ طبق شکل ۱۲

$$\text{برابر است با } V = \frac{2V_m}{T}t - V_m.$$



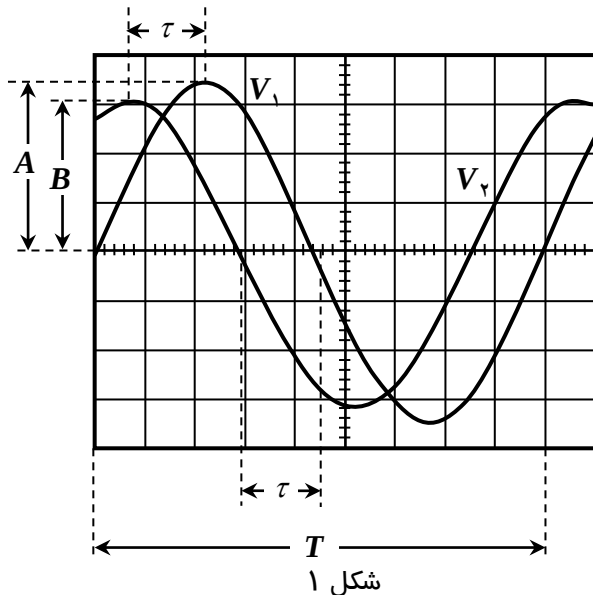
شکل ۱۲

۵- در ردیف ۱۵، اگر ورودی کانال ۱ به نوسان‌ساز با فرکانس 50 Hz و کانال ۲ به یک منبع تغذیه (مبدل یا ترانسفورماتور کاهنده) که فرکانس آن دقیقاً با فرکانس برق شهر برابر است، وصل شود با تغییر TRIGGER SOURCE (کلید ۳۱) روی حالت‌های مختلف، آیا موج‌های کانال‌های ۱ و ۲ ثابت دیده خواهند شد؟

کاربردهایی از اسیلوسکوپ

هدف آزمایش: اندازه‌گیری اختلاف فاز بین ولتاژ منبع و جریان مدار R-C به کمک اسیلوسکوپ؛ مشاهده‌ی منحنی پر و خالی شدن خازن روی اسیلوسکوپ و محاسبه‌ی ظرفیت خازن توسط آن منحنی

زمینه‌ی نظری



الف) اختلاف فاز بر روی اسیلوسکوپ

دو موج سینوسی هم بسامد زیر را در نظر بگیرید:

$$\begin{cases} V_1 = A \sin \omega t \\ V_2 = B \sin(\omega t + \phi) \end{cases} \quad (۱)$$

که اگر ϕ مثبت باشد، موج V_2 به اندازه ϕ جلوتر از V_1 یا به عبارتی موج V_1 به اندازه ϕ نسبت به موج V_2 عقب‌تر است. اگر این دو موج را به محور قائم اعمال کنیم و محور افقی همان محور زمان باشد، با انتخاب پله‌ی مناسب می‌توان الگویی مانند شکل ۱ را در صفحه‌ی اسیلوسکوپ دید. چون نسبت اختلاف فاز دو موج به ۳۶۰ درجه (2π)

رادیان) برابر است با نسبت τ به T ، می‌توان با اندازه‌گیری τ و T اختلاف فاز بین دو موج را به دست آورد:

$$\phi = 2\pi \left(\frac{\tau}{T} \right) \text{ رادیان} = 360 \left(\frac{\tau}{T} \right) \text{ درجه} \quad (۲)$$

همچنین از روش دیفرانسیل لگاریتمی، دقت اختلاف فاز بین دو موج را می‌توان محاسبه کرد:

$$\frac{\Delta \phi}{\phi} = \frac{\Delta \tau}{\tau} + \frac{\Delta T}{T} \quad (۳)$$

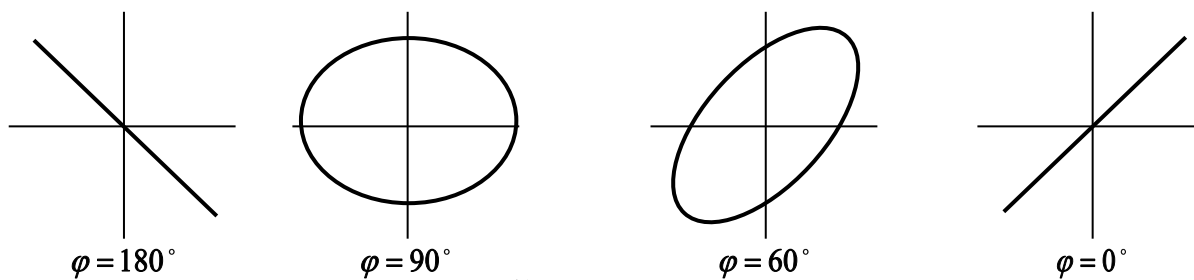
از سوی دیگر اگر از حالت X-Y اسیلوسکوپ استفاده کنیم و V_1 را به محور افقی (ورودی کانال ۱) و V_2

را به محور قائم (ورودی کانال ۲) بدهیم، داریم:

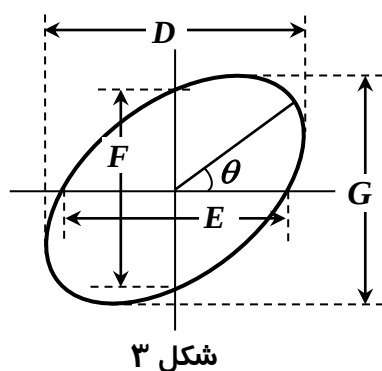
$$\begin{cases} x = A \sin \omega t \\ y = B \sin(\omega t + \phi) \end{cases} \quad (۴)$$

اگر اختلاف فاز صفر یا π باشد، معادلات رابطه‌ی ۴ به شکل $y = \pm \frac{B}{A} x$ در می‌آیند که معادله‌ی یک خط راست است. علامت مثبت برای $\phi = 0$ و علامت منفی برای $\phi = \pi$ است. اگر $\phi = \pi/2$ آن گاه $\theta = 0$ و نتیجه بیضی‌ای است که قطرهای آن بر محورهای مختصات منطبق است (شکل ۲). در غیر این صورت می‌توان نشان داد که معادلات فوق بیانگر یک بیضی هستند که قطر آن با محور X زاویه‌ی θ می‌سازد:

$$\tan 2\theta = \frac{2AB \cos \phi}{A^2 - B^2} \quad (۵)$$



شکل ۲



شکل ۳

از معادله ۴ دیده می‌شود که بیش‌ترین مقدار x برابر با A و مقدار x در زمانی که y صفر است برابر $A \sin \varphi$ بوده و بیش‌ترین مقدار y برابر با B و مقدار y در زمانی که x صفر است برابر $B \sin \varphi$ است. در نتیجه اگر مرکز بیضی را دقیقاً در وسط اسیلوسکوپ تنظیم کرده باشیم، می‌توانیم با اندازه‌گیری $D = 2A$ و $E = 2A \sin \varphi$ یا با اندازه‌گیری $G = 2B$ و $F = 2B \sin \varphi$ ، اختلاف فاز بین دو ورودی را بدین صورت به دست آوریم (شکل ۳):

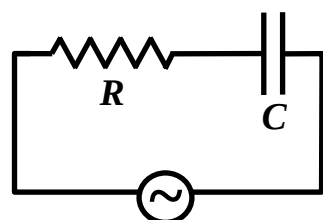
$$\sin \varphi = \frac{E}{D} = \frac{F}{G} \quad (۶)$$

با خطاگیری از رابطه‌ی ۶، دقت اندازه‌گیری φ در این روش برحسب رادیان برابر است با:

$$\Delta \varphi = \left| \tan \varphi \right| \left(\frac{\Delta E}{E} + \frac{\Delta D}{D} \right) \quad \text{یا} \quad \Delta \varphi = \left| \tan \varphi \right| \left(\frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta G}{G} \right) \quad (۷)$$

ب) مدار RC

در مدار شکل ۴ اگر ولتاژ منبع سینوسی باشد، آن گاه با توجه به این که ولتاژ دو سر مقاومت با جریان مدار هم‌فاز است و ولتاژ دو سر خازن $\pi/2$ از جریان مدار عقب‌تر است؛ می‌توان نوشت:



$$\begin{cases} i = i_m \sin \omega t \\ V_R = i_m R \sin \omega t \\ V_C = \frac{i_m}{C\omega} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \end{cases} \Rightarrow V = V_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (۸)$$

که در آن:

$$\begin{cases} V_m \sin \varphi = -\frac{i_m}{C\omega} \\ V_m \cos \varphi = i_m R \end{cases} \Rightarrow \tan \varphi = -\frac{1}{RC\omega} \quad (۹)$$

و با توجه به این که $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ، دقت اندازه‌گیری از رابطه‌ی ۹ برحسب رادیان، از فرمول ۱۰ قابل محاسبه است:

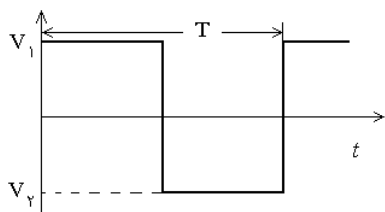
$$\Delta \varphi = \sin \varphi \cos \varphi \left(\frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta T}{T} \right) \quad (۱۰)$$

معادله‌ی ۸ بیانگر آن است که ولتاژ دو سر منبع به اندازه φ از جریان جلوتر است. بنابر این اگر ولتاژ دو سر منبع را به یک کانال و ولتاژ دو سر مقاومت (که با جریان هم‌فاز است) را به کانال دیگر وصل کنیم می‌توانیم به

کمک هر يك از معادلات ۲ يا ۵ اختلاف فاز ϕ را به دست آوريم. اگر R ، C و ω معلوم باشند می توان نتیجه به دست آمده را با معادله ۹ مقایسه کرد و اگر یکی از آنها مجهول باشد می توان آن را به دست آورد؛ به عنوان مثال، اگر ϕ ، R و ω معلوم و C مجهول باشند، ظرفیت خازن مجهول (C) و دقت آن (ΔC) را می توان از روابط ۱۱ و ۱۲ به دست آورد:

$$C = -\frac{1}{R \omega \tan \phi} \quad (11)$$

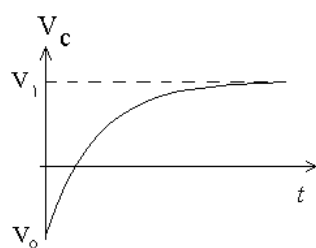
$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta \phi}{|\sin \phi \cos \phi|} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta T}{T} \quad (12)$$



شکل ۵

اگر در شکل ۴ به جای منبع سینوسی، منبعی با ولتاژ مربعی قرار دهیم (شکل ۵)، آن گاه در هر بازه ای که ولتاژ منبع ثابت است، ولتاژ دوسر خازن از رابطه $V_C = V_m - (V_m - V_o) e^{-t/RC}$ پیروی می کند که در آن V_m ولتاژ منبع در آن بازه و V_o ولتاژ دو سر خازن در آغاز آن بازه است. برای مثال در بازه ای که $V_m = V_1$ ، شکل ولتاژ دوسر خازن طبق نمودار شکل ۶ خواهد بود.

اگر قسمت منفی و مثبت ولتاژ منبع تقریباً یکسان باشند و $T \geq 10RC$ ، آنگاه در انتهای هر بازه ای



شکل ۶

قبل از تغییر وضعیت ولتاژ منبع، ولتاژ دوسر خازن تقریباً با

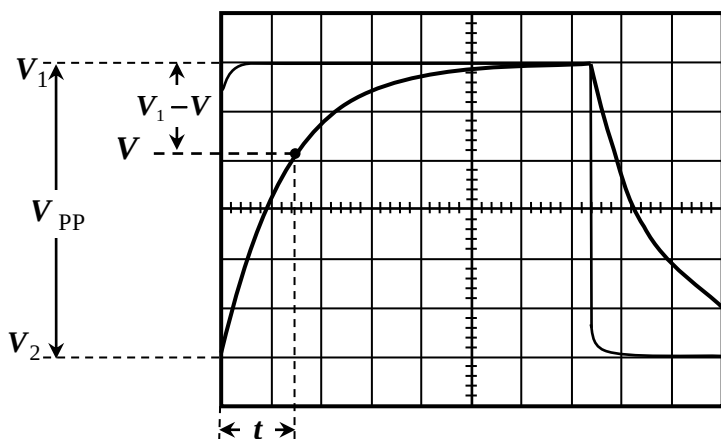
ولتاژ دوسر منبع برابر می شود. در این صورت ولتاژ دوسر خازن در هر بازه، از

روابط زیر پیروی می کند:

$$(13) \text{ هنگامی که } V_m = V_1 \text{ (پر شدن): } V_o = V_2 \Rightarrow V_C = V_1 - V_{pp} e^{-t/RC}$$

$$(14) \text{ هنگامی که } V_m = V_2 \text{ (خالی شدن): } V_o = V_1 \Rightarrow V_C = V_2 + V_{pp} e^{-t/RC}$$

و $V_{pp} = V_1 - V_2$ ولتاژ نوک به نوک منبع است (دقت داشته باشید که V_2 در شکل ۵ عددی منفی است). اگر ولتاژ دوسر منبع را به یک کانال و ولتاژ دو سر خازن را به کانال دیگر وصل کنیم، این موضوع با مماس شدن



شکل ۷

منحنی ولتاژ دو سر خازن به منحنی ولتاژ دو سر منبع، روی صفحه ای اسیلوسکوپ دیده خواهد شد. با انتخاب پله ی مناسب برای دکمه های TIME / DIV و VOLTS / DIV می توان الگوی مانند شکل ۷ به دست آورد. با رسم دقیق این الگو بر روی کاغذ میلی متری و انتخاب یک نقطه مناسب از منحنی، می توان ظرفیت خازن را مانند زیر به دست آورد:

$$V = V_1 - (V_1 - V_2) e^{-t/RC} \quad (15)$$

که در آن:

$$C = \frac{t}{R \ln \left(\frac{V_{pp}}{V_1 - V} \right)} \quad (۱۶)$$

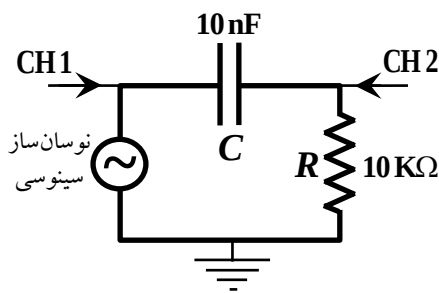
وسایل آزمایش: نوسان ساز (سینوسی و مربعی)، اسیلوسکوپ، مقاومت ۱۰ کیلو اهم، خازن ۱۰ نانوفاراد، خازن مجهول، ۲ عدد کابل اسیلوسکوپ و ۳ عدد سیم رابط.

دستور کار

توجه: منظور از سیمی که با حروف CH1 یا CH2 مشخص می شود (با علامت $\leftarrow$)، سیم اصلی (معمولاً قرمز رنگ یا بزرگتر) مربوط به کانال ورودی است. سیم های سیاه رنگ (یا کوچکتر) اسیلوسکوپ به جایی وصل می شوند که با علامت زمین مشخص می شود. دقت داشته باشید که سیم های سیاه رنگ (یا کوچکتر) ورودی های اسیلوسکوپ، از داخل به همدیگر متصل اند و زمین اسیلوسکوپ هستند. بنابر این اگر از هر دو کانال در یک مدار استفاده می شود باید این سیم های زمین (سیاه رنگ یا کوچکتر) به یک نقطه بسته شوند در غیر این صورت قسمتی از مدار که بین این دو سیم زمین قرار دارد از طریق اسیلوسکوپ اتصال کوتاه شده و از مدار حذف خواهد شد. خصوصاً دقت کنید که سیم های زمین اسیلوسکوپ همزمان به دو سر منبع وصل نشوند.

الف) اندازه گیری اختلاف فاز به کمک اسیلوسکوپ

۱- اسیلوسکوپ را طبق جدول ۱ مربوط به آزمایش جلسه ی ششم تنظیم کنید. کلیدهای ۹ و ۱۸ را روی حالت AC قرار دهید. پله ی انتخاب گر TIME/DIV را روی 0.1ms و پله های انتخاب گره های VOLTS/DIV هر دو کانال ورودی را روی 0.5 V قرار دهید.

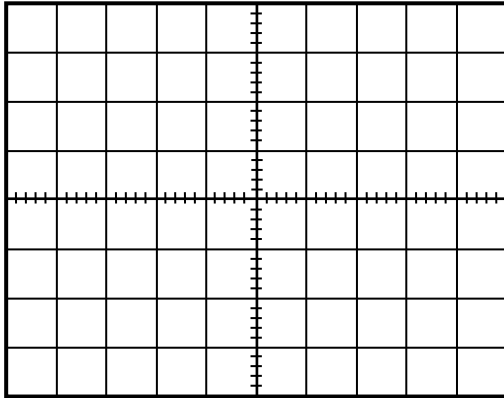


شکل ۸

۲- بسامد نوسان ساز سینوسی را روی 1000 Hz تنظیم کنید. مدار شکل ۸ را بدون توجه به سیم های اسیلوسکوپ ببندید. با در نظر گرفتن زمین منبع و زمین سیم های اسیلوسکوپ، سیم های کانال ۱ را به دو سر منبع و سیم های کانال ۲ را به دو سر مقاومت وصل کنید (دقت کنید که به دلیل نیاز به مشاهده ی همزمان ولتاژ منبع و ولتاژ مقاومت، کانال های ۱ و ۲ را دو سر آن ها وصل می کنیم و لذا ناچاراً در شکل ۸

مقاومت را باید از سمت زمین منبع به منبع وصل نمود). با تغییر پیچ ولتاژ منبع نوسان ساز (پیچ FINE)، ولتاژ منبع (V_{pp} کانال ۱) را روی اسیلوسکوپ، ۳ ولت تنظیم کنید (در این حالت باید V_{pp} روی صفحه ی اسیلوسکوپ، ۶ واحد کامل باشد). با توجه به بسامد منبع نوسان ساز، دوره ی تناوب باید 1ms باشد یا به عبارتی، با توجه به پله ی انتخاب گر TIME/DIV، دوره ی تناوب باید دقیقاً ۱۰ واحد کامل باشد که به کمک پیچ فرکانس منبع نوسان ساز، می توان این کار را انجام داد.

۳- با قرار دادن کلید ۱۳ روی حالت DUAL، هر دو موج را بر روی صفحه بیاورید. به کمک دکمه های $\blacklozenge$ POSITION $\blacklozenge$ شکل موج ها را نسبت به خط افقی مقارن کنید (یک راه ساده برای این کار، قطع کردن



ورودی‌ها به وسیله‌ی قرار دادن کلیدهای ۹ و ۱۸ روی GND و قرار دادن خط حاصل بر روی محور x می‌باشد). اکنون برای استفاده از حداکثر طول صفحه و افزایش دقت، انتخاب‌گر TIME / DIV را روی $50 \mu s$ قرار دهید. با رسم شکل مشاهده شده، توضیح دهید که از نظر زمانی کدامیک جلوتر هستند (به کالیبره بودن پیچ ۲۴ توجه داشته باشید)؟

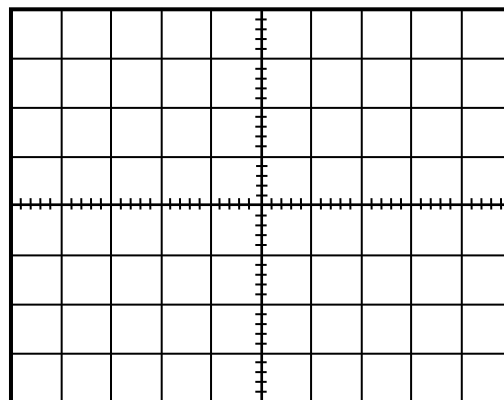
۴- با اندازه‌گیری دقیق T و τ ، اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان را به کمک رابطه‌ی ۲ اندازه بگیرید و با توجه به دقت اندازه‌گیری‌های T و τ ، $\Delta\phi$ را از رابطه‌ی ۳ محاسبه کنید (توجه داشته باشید که T روی پله‌ی $1 ms$ تنظیم شد و بنابراین دقت آن نیز روی همین پله در نظر گرفته می‌شود ولی τ روی پله‌ی $50 \mu s$ اندازه‌گیری شده است و لذا دقت آن نیز روی همین پله باید محاسبه شود):

$$\varphi_2 = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots)$$
 از رابطه‌ی ۲

۵- با استفاده از رابطه‌ی ۹ اختلاف فاز انتظاری بین ولتاژ منبع و جریان مدار در مدار RC و به کمک رابطه‌ی ۱۰، دقت آن را محاسبه کرده، آن را با مقدار به دست آمده از رابطه‌ی ۲ مقایسه کنید:

$$\varphi_9 = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots)$$
 از رابطه‌ی ۹

$$\frac{|\varphi_9 - \varphi_2|}{\varphi_9} =$$



۶- با قرار دادن دکمه‌ی ۳۱ (TRIGGER SOURCE) روی CH2 شکل الگو چه تغییری می‌کند؟ از لحاظ فازی کدام موج مربوط به شکل ولتاژ منبع و کدام موج مربوط به شکل جریان مدار است؟ الگوی مشاهده شده را رسم کنید. توضیح دهید که کدام یک از نظر زمانی جلوترند؟

۷- بسامد منبع را روی $2000 Hz$ تنظیم کنید (برای تنظیم دقیق فرکانس منبع، دوره‌ی تناوب منبع نوسان‌ساز وقتی انتخاب‌گر

TIME / DIV روی $50 \mu s$ است، باید ۱۰ خانه‌ی کامل باشد). با قرار دادن انتخاب‌گر TIME / DIV روی حالت X-Y، یک بیضی بر روی صفحه دیده خواهد شد. با اندازه‌گیری E و D، اختلاف فاز بین ولتاژ منبع و جریان مدار را به کمک رابطه‌ی ۶ (φ_6) اندازه بگیرید. توجه داشته باشید که هنگام اندازه‌گیری E، مرکز بیضی درست بر محور X منطبق باشد (می‌توانید به جای E و D در شکل ۳، F و G را محاسبه کنید). با توجه به این که هر دو کانال روی پله‌ی $0.5 V$ قرار دارند و دقت هر دو محور X و Y برابرند، ΔE و ΔD را به دست آورده و به کمک رابطه‌ی ۷، دقت آن را محاسبه و با توجه به تعداد ارقام بامعنی گزارش نمایید:

$$\varphi_6 = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots)$$

۸- مجدداً با استفاده از رابطه‌ی ۹، اختلاف فاز انتظاری بین ولتاژ منبع و جریان مدار در مدار RC برای فرکانس ۲۰۰۰ هرتز و به کمک رابطه‌ی ۱۰، دقت آن را محاسبه کرده، آن را با مقدار به دست آمده از رابطه‌ی ۶ مقایسه کنید:

$\phi_9 = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots)$ از رابطه‌ی ۹

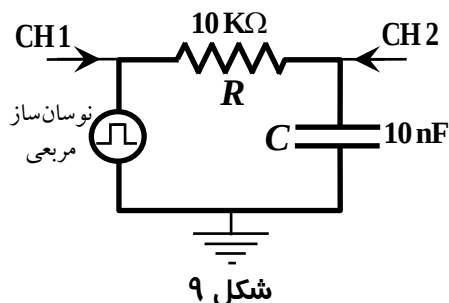
$$\frac{|\phi_9 - \phi_6|}{\phi_9} =$$

۹- مجدداً فرکانس منبع را روی 1000 Hz قرار دهید. آزمایش را با یک خازن مجهول انجام داده و با اندازه‌گیری اختلاف فاز و دقت آن به هر دو روش، ظرفیت خازن را به کمک رابطه‌ی ۱۱ و دقت آن را به کمک رابطه‌ی ۱۲ به دست آورید.

$C = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots) \mu f$ خازن مجهول $\Rightarrow \phi_2 = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots)$ به روش اندازه‌گیری T و τ

$C = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots) \mu f$ خازن مجهول $\Rightarrow \phi_6 = (\dots\dots\dots \pm \dots\dots\dots)$ به روش بیضی

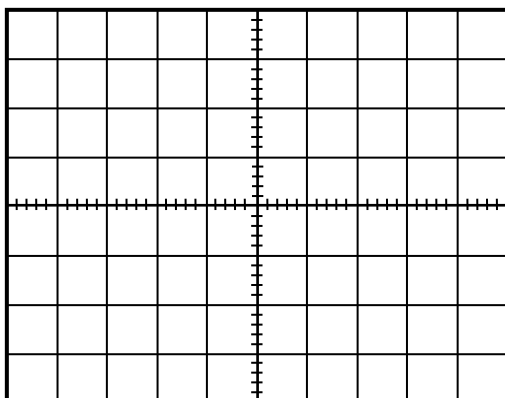
(ب) مشاهده‌ی منحنی پر و خالی شدن خازن بر روی اسیلوسکوپ



۱۰- با استفاده از یک نوسان‌ساز مربعی و خازن 10 nF، مدار شکل ۹ را ببندید. پله‌ی انتخاب‌گر TIME/DIV را روی 0.1 ms و پله‌های انتخاب‌گرهای VOLTS/DIV هر دو کانال ورودی را روی 0.1 V قرار دهید. بسامد نوسان‌ساز را روی 700 Hz تنظیم کنید.

۱۱- سیم‌های کانال ۱ را به دو سر نوسان‌ساز و سیم‌های کانال ۲ را به دو

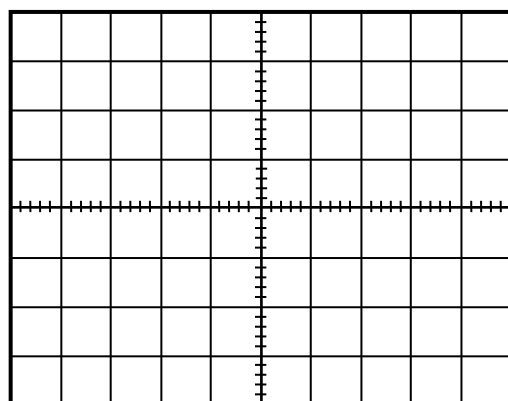
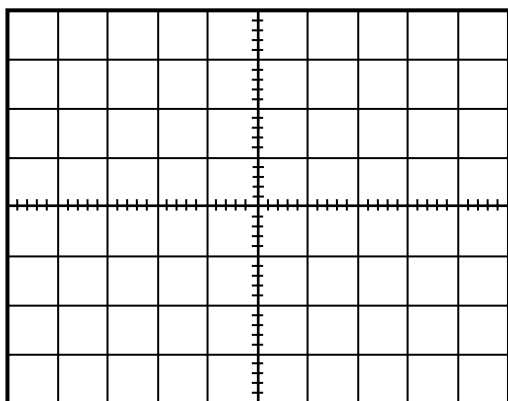
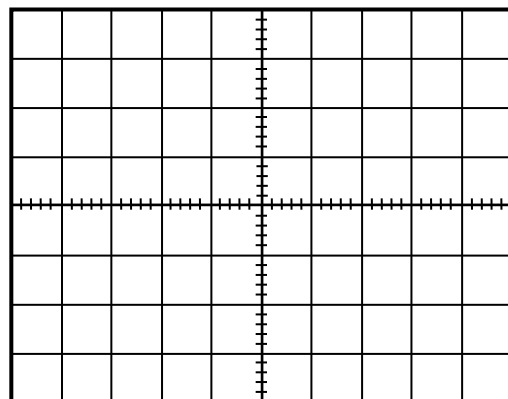
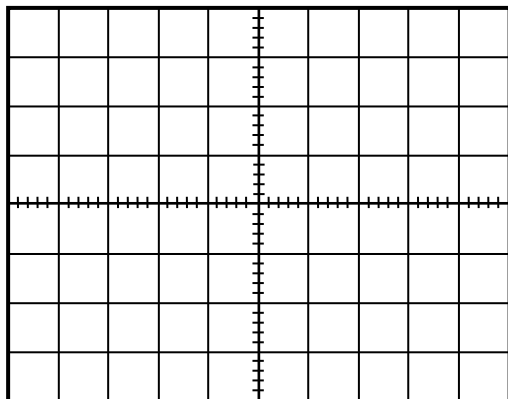
سر خازن وصل کنید (دقت کنید که به دلیل نیاز به مشاهده‌ی هم‌زمان ولتاژ منبع و ولتاژ خازن، کانال‌های ۱ و ۲ را دو سر آن‌ها وصل می‌کنیم و لذا ناچاراً در شکل ۴ خازن را باید از سمت زمین منبع به منبع وصل نمود). با تغییر پیچ ولتاژ منبع، ولتاژ V_{pp} منبع را روی 0.6 ولت تنظیم کنید (ممکن است در ابتدا به دلیل زیاد بودن ولتاژ منبع چیزی مشاهده نکنید ولی بعد از کم کردن ولتاژ منبع نوسان‌ساز (به کمک پیچ FINE)، شکل موج مربعی ظاهر شود).



۱۲- دکمه‌های ۱۳ و ۳۱ را روی کانال ۱ بگذارید و به کمک پیچ POSITION $\blacklozenge$ کانال ۱، موج مربعی منبع را نسبت به خط افقی متقارن کنید. با قرار دادن کلید ۱۳ روی حالت DUAL، ورودی کانال ۲ را نیز بر روی صفحه آورده و به کمک پیچ POSITION $\blacklozenge$ کانال ۲، ولتاژ خازن را نیز نسبت به خط افقی متقارن کنید. اگر هر دو کانال کالیبره باشند (به وسیله‌ی دکمه‌های ۸ و ۲۱)، الگویی مانند شکل ۷ دیده خواهد شد. شکل الگو را به طور دقیق بر روی کاغذ میلی‌متری رسم کنید.

۱۳- با استفاده از روشی که در زمینه‌ی نظری توضیح داده شد (انتخاب یک t دلخواه و محاسبه‌ی $V_1 - V$ از روی نمودار)، به کمک رابطه‌ی ۱۶، ظرفیت خازن را اندازه گرفته و آن را با مقدار 10 nF مقایسه کنید.

۱۴- با تغییر دادن بسامد منبع نوسان‌ساز، چگونگی تغییر الگو را مشاهده کرده و یادداشت کنید (برای این منظور می‌توانید از الگوهای مشاهده شده برای ۱ یا ۲ دوره‌ی تناوب در فرکانس‌های ۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ هرتز عکس گرفته یا آن‌ها را ترسیم نمایید). ضمن محاسبه‌ی ثابت زمانی مدار، بیان کنید دوره‌ی تناوب کدام الگوها، بزرگ‌تر از ۱۰ برابر ثابت زمانی مدار است؟ ($T \geq 10RC$)



پرسش‌ها

- ۱- در مدار شکل ۸ اگر جای خازن و مقاومت را عوض کنیم، اختلاف فاز کدام دو عنصر در مدار RC را به دست آورده‌ایم؟
- ۲- چرا در آزمایش ۶ (جلسه‌ی قبل)، در حالت DUAL همواره یکی از دو موج حرکت می‌کردند ولی در این آزمایش هر دو کانال نسبت به هم ثابت‌اند؟

آزمایش جلسه هفتم:

بررسی و اندازه گیری نیروی محرک القایی و مطالعه ی مبدل ها

هدف آزمایش: مطالعه ی قانون القای فاراده و قانون لنز؛ آشنایی با مبدل ها (ترانسفورماتورها)

زمینه ی نظری

الف) قانون القای فاراده

اگر شار مغناطیسی $\Phi = \int_s \vec{B} \cdot d\vec{a}$ ($\vec{B}$ میدان مغناطیسی و $d\vec{a}$ تکه سطحی از سطح نامسدود S است) که از

مداری می گذرد، به هر صورتی با زمان تغییر کند یک نیروی محرک الکتریکی $\mathcal{E}$ ، که به آن نیروی محرک القایی می گویند، در مدار به وجود می آید که برابر است با:

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

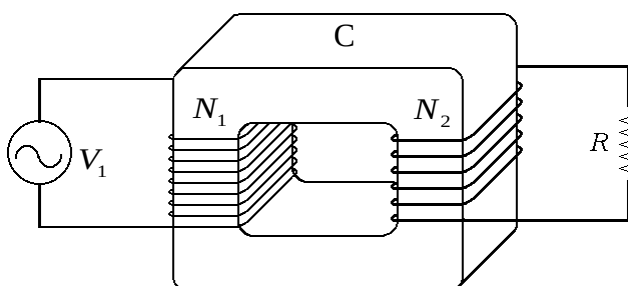
این رابطه، «قانون القای فاراده» است. به عبارتی، تغییر هر کمیتی که منجر به تغییر شار مغناطیسی با زمان شود، می تواند باعث ایجاد نیروی محرک القایی گردد. علامت منفی در معادله ی ۱ بیانگر آن است که نیروی محرک القایی ایجاد شده با عامل به وجود آورنده خود مخالفت می کند و این با اصل پایستگی انرژی سازگار است. به عبارتی، علامت منفی به خاطر قانون لنز در نظر گرفته شده است (برای اطلاع بیشتر به فصل ۳۱ مرجع ۱ مراجعه کنید).

برای میدان مغناطیسی، می توان از آهنرباهای دائمی یا الکتریکی استفاده کرد. در آهنرباهای الکتریکی، از میدان مغناطیسی ناشی از عبور جریان داخل سیم پیچ می توان استفاده کرد. به کمک قرار دادن هسته داخل سیم پیچ، هم شدت میدان تقویت شده و هم امکان انتقال خطوط شار به سیم پیچ دیگر وجود دارد. میدان مغناطیسی در مرکز یک سیم لوله ای ایده آل از رابطه ی $B = \mu n I$ به دست می آید که در آن I ، جریان گذرنده از سیم لوله، n ، تعداد دور سیم در واحد طول بوده و μ به جنس ماده ی واقع در مرکز سیم لوله بستگی دارد.

ب) مبدل (ترانسفورماتور)

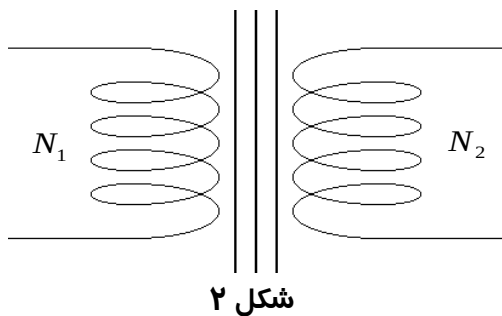
به منظور کاهش دادن اتلاف حرارتی در خطوط انتقال، Ri^2 ، باید توان الکتریکی ایجاد شده در نیروگاه ها با جریان کم (و ولتاژ زیاد) به محل مصرف منتقل گردد. از طرف دیگر ملاحظات مربوط به ایمنی و عایق سازی قسمت های متحرک، مستلزم به کاربردن ولتاژهای نسبتاً پایین در موتورها و لوازم خانگی است. یکی از

خصوصیات مفید جریان های متناوب آن است که مقدار ولتاژها و جریان های متناوب را می توان به کمک مبدل ها تغییر داد. برای رسیدن به هدف های فوق از مبدل ها استفاده می شود. علاوه بر آن مبدل های یکی از عناصر اصلی هستند که عملاً در تمام دستگاه های الکترونیکی به کار می روند. شکل ۱ اصول ساختمان



شکل ۱

یک مبدل را نشان می‌دهد. هسته‌ی C از ورقه‌های آهنی که به وسیله رنگ و عایق از هم جدا شده‌اند تشکیل شده است تا اتلاف انرژی ناشی از جریان‌های فوکو (جریان‌های گردایی) به مقدار کمینه (حداقل) خود برسد.



شکل ۲ نماد یک مبدل با هسته‌ی آهنی را نشان می‌دهد. توان خروجی یک مبدل الزاماً از توان ورودی کمتر است و این به خاطر اتلاف‌های حرارتی در سیم‌پیچ‌ها مبدل، اتلاف ناشی از منحنی پسماند مغناطیسی هسته و اتلاف ناشی از جریان‌های فوکو است. راندمان یک مبدل معمولاً از ۹۰ درصد بیش‌تر است و حتی به ۹۹ درصد نیز می‌رسد. یک مبدل آرمانی، که در آن هیچ نوع اتلاف

وجود نداشته و شار مغناطیسی کاملاً در هسته محبوس باشد، را در نظر می‌گیریم. یک چشمه‌ی ولتاژ متناوب V_1 به دو سر سیم پیچ اولیه وصل می‌کنیم و فرض می‌کنیم که دو سر ثانویه باز است. پس سیم‌پیچ اولیه مانند یک القاگر عمل می‌کند. طبق قانون القای فاراده، تغییر شار مغناطیسی ناشی از سیم‌پیچ اولیه یک اختلاف پتانسیل V_2 در دو سر پیچ ثانویه ایجاد می‌کند. اگر تعداد دورهای سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه به ترتیب N_1 و N_2 باشند داریم:

$$\mathcal{E}_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad \text{و} \quad \mathcal{E}_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (۲)$$

که در آن $\mathcal{E}_1$ و $\mathcal{E}_2$ نیروهای محرک القایی در دو سر اولیه و ثانویه هستند.

چون مقاومت‌های اهمی سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه را برابر صفر گرفتیم، می‌توان نوشت:

$$V_2 = -\mathcal{E}_2 \quad \text{و} \quad V_1 = -\mathcal{E}_1 \quad (۳)$$

از ترکیب روابط ۲ و ۳ داریم:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} = N \quad (۴)$$

اگر $N_2 > N_1$ باشد، داریم $V_2 > V_1$ و مبدل را افزایشنده ($N > 1$) و در صورتی که $N_2 < N_1$ باشد داریم $V_2 < V_1$ و مبدل را کاهشنده ($N < 1$) گویند.

اگر مقاومت R به دو سر ثانویه وصل شود، جریان مؤثری برابر i_2 از آن می‌گذرد. جریان مؤثری که از اولیه می‌گذرد i_1 است و می‌توان نوشت:

$$V_1 i_1 \cos \varphi = V_2 i_2 = R i_2^2 \quad (۵)$$

که در آن از مقاومت سیم‌پیچ‌ها و اتلاف انرژی در مبدل چشم‌پوشی شده است. φ اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ اولیه است و ضریب بهره نامیده می‌شود. در مبدل‌های قدرت $\cos \varphi \cong 1$ در نتیجه از معادله‌ی ۴ و ۵ خواهیم داشت:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} = N \quad (۶)$$

از رابطه‌ی ۶ معلوم می‌شود که در مبدل افزایشنده ($N > 1$)، افزایش ولتاژ با کاهش جریان همراه است و بالعکس. از ترکیب روابط ۴ تا ۶ داریم:

$$i_1 = Ni_2 = \frac{V_1}{\left(\frac{R}{N^2}\right)} \quad (V)$$

از این رو وقتی مقاومت R در مدار ثانویه قرار گیرد، مانند این است که چشمه‌ی جریان متناوب اولیه، مستقیماً به مقاومتی برابر $\frac{R}{N^2}$ وصل است. در نتیجه در مبدل کاهنده، قرار دادن یک مقاومت کم در مدار ثانویه هم‌ارز با قرار دادن یک مقاومت بزرگ در مدار اولیه است و برعکس. بدین سان مبدل کاهنده می‌تواند برای خوراندن مقاومت‌های زیاد (اولیه) به مقاومت‌های کم (ثانویه) و مبدل افزایش‌دهنده برای خوراندن مقاومت‌های کم به مقاومت‌های زیاد نیز مورد استفاده قرار گیرد. از این رو برای مثال در گیرنده‌های رادیویی برای اتصال آخرین طبقه‌ی تقویت کننده (با مقاومت زیاد) به بلندگو (که مقاومت آن کم است) از یک مبدل کاهنده استفاده می‌کنند و برای اتصال امواج دریافت شده از آنتن به اولین طبقه‌ی تقویت کننده‌ی گیرنده، از یک مبدل افزایش‌دهنده استفاده می‌شود. هدف در این آزمایش تحقیق روابط ۴ تا ۷ است.

وسایل آزمایش: (میز الف) مولد (ژنراتور دستی)، منبع تغذیه‌ی مستقیم و متناوب، آمپرسنج مکانیکی (عقربه‌ای)، گالوانومتر، رئوستا، سیم‌پیچ ۳۰۰ دور، سیم‌پیچ ۶۰۰ دور، سیم‌پیچ ۱۲۰۰ دور، سیم‌پیچ با سطح مقطع دایره‌ای همراه با لامپ، سیم‌پیچ با سطح مقطع مربعی همراه با لامپ، ۲ عدد آهنربا، هسته‌های آهنی مستقیم، هسته‌ی آهنی U شکل، کلید و ۶ عدد سیم رابط؛ (میز ب) منبع تغذیه‌ی متناوب، مبدل آزمایشگاهی (شامل سیم‌پیچ اولیه‌ی ۸۰۰ دور و هسته‌ی آهنی دو تکه)، ۳ عدد آوومتر رقمی (دیجیتال)، جعبه مقاومت، سیم‌پیچ ثانویه‌ی ۲۰۰ دور، سیم‌پیچ ثانویه‌ی ۸۰ دور، سیم‌پیچ ثانویه‌ی ۴۰ دور، کلید و ۹ عدد سیم رابط (۳ عدد سیم رابط دو سر موزی و ۶ عدد سیم رابط سوسماری موزی).

دستور کار

الف) قانون القای فاراده و نیروی محرک القایی

آزمایش I

توجه! گالوانومتری که در اختیار دارید دارای یک کلید فشاری N.O. است. اگر این کلید را فشار دهید گالوانومتر در مدار قرار می‌گیرد. برای کار با گالوانومتر باید این کلید را به‌طور موقت فشار داد و پس از خواندن میزان انحراف عقربه آن را رها کرد. هرگز این کلید را به‌طور پیوسته فشرده نگه ندارید مگر آن که انحراف عقربه کم باشد. همیشه در ابتدا از بالاترین پله‌ی گالوانومتر شروع و در صورت نیاز پله‌ها را حساس‌تر می‌کنیم.

۱- سیم پیچ ۳۰۰ دوری را به گالوانومتر وصل کنید و سپس یک آهنربا که قطب شمال (معمولاً قرمز رنگ) آن به طرف بالاست را درون سیم پیچ قرار دهید به گونه‌ای که امتداد آهنربا بر سطح سیم پیچ عمود باشد. به سرعت آهنربا را از درون سیم پیچ بیرون بکشید. آیا عقربه گالوانومتر منحرف می‌شود؟ جهت و مقدار انحراف گالوانومتر را یادداشت کنید.

۲- آهنربا را به شکلی درون سیم پیچ قرار دهید که قطب جنوب آن (سبز رنگ) به طرف بالا باشد و مجدداً آن را به سرعت از داخل سیم پیچ، بیرون بکشید. جهت انحراف عقربه‌ی گالوانومتر و میزان انحراف را یادداشت کنید و علت تفاوت آن را با بند ۱ به کمک قانون لنز توضیح دهید.

۳- قسمت ۱ را با دو آهنربا که پهلوی هم گرفته‌اید (به گونه‌ای که قطب‌های همنام آهنربا کنار هم و قطب شمال آنها به سمت بالا باشند) انجام داده و جهت و میزان انحراف عقربه را با قسمت ۱ مقایسه کنید. اکنون قطب‌های ناهمنام آهنرباها را کنار یکدیگر قرار دهید و قسمت ۱ را تکرار کرده و جهت و میزان انحراف عقربه را با قسمت ۱ مقایسه نمایید.

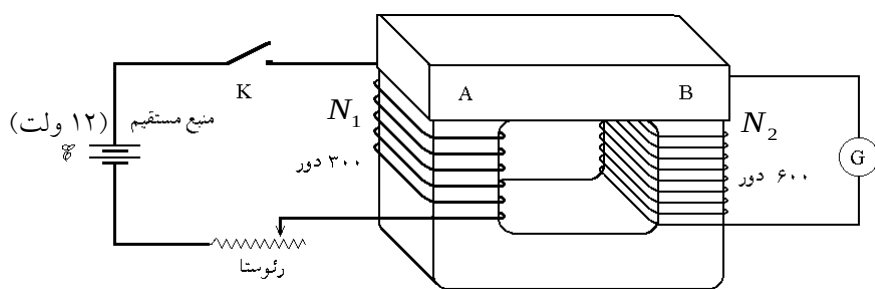
۴- این بار قسمت ۱ را به ترتیب با سیم پیچ‌های ۶۰۰ دوری و ۱۲۰۰ دوری انجام داده و جهت و میزان انحراف عقربه را یادداشت کنید. آیا طبق انتظار در مقایسه با قسمت ۱، میزان انحراف چند برابر شد؟ با توجه به مقاومت سیم پیچ‌ها علت را توضیح دهید.

۵- قسمت ۱ را مجدداً با سیم پیچ ۳۰۰ دور انجام دهید. این بار بیشینه‌ی انحراف عقربه را یادداشت کرده و با توجه به ورودی گالوانومتر و میزان انحراف عقربه، بزرگی بیشینه‌ی جریان القایی را به دست آورید (i_1). سپس پله‌ی گالوانومتر را تغییر داده، آزمایش را تکرار کنید (i_2). آیا این دو جریان برابرند؟ اگر اختلافی مشاهده می‌شود ناشی از چیست (به مقاومت درونی گالوانومتر روی پله‌های مختلف توجه کنید)؟

۶- با توجه به قانون القای فاراده، چگونگی تغییر شار مغناطیسی در این آزمایش را بیان کنید.

II آزمایش

۷- گالوانومتر را روی بالاترین پله قرار داده و مدار شکل ۳ را ببندید. لغزنده‌ی رئوستا را در وسط و ولتاژ منبع



شکل ۳

تغذیه‌ی مستقیم را روی حدود ۱۲ ولت تنظیم کنید. کلید K را پشت سر هم باز و بسته کرده و بیشینه‌ی انحراف گالوانومتر را مشاهده کرده، آن را در گزارش کار خود یادداشت کنید. با تغییر دادن

لغزنده‌ی رئوستا، نقش رئوستا را در این مدار بنویسید.

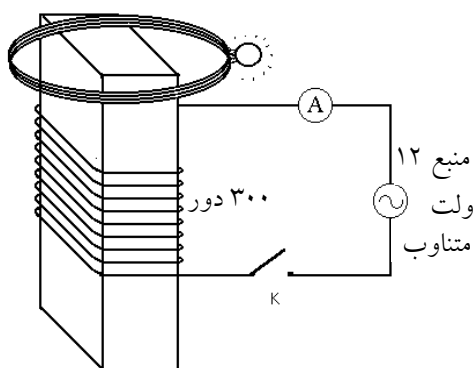
۸- یک سیم پیچ ۱۲۰۰ دوری به جای سیم پیچ ۶۰۰ دوری قرار داده و کلید را قطع و وصل کنید. آیا در مقایسه با قسمت ۷، انحراف گالوانومتر بیش‌تر می‌شود یا کم‌تر؟ چرا؟

۹- قطعه‌ی AB (هسته‌ی آهنی مستقیم) را بردارید و کلید را قطع و وصل کنید. آیا در مقایسه با قسمت ۷، مقدار انحراف گالوانومتر تغییری می‌کند؟

۱۰- قسمت ۷ را بدون هسته‌ی آهنی انجام دهید. در انحراف گالوانومتر چه تغییری مشاهده می‌شود؟ چرا؟

۱۱- با توجه به قانون القای فاراده، چگونگی تغییر شار مغناطیسی در این آزمایش را بیان کنید.

آزمایش III



شکل ۴

توجه! دقت داشته باشید که در این بخش به هیچ وجه گالوانومتر قرار ندهید و منبع مورد استفاده یک منبع متناوب باشد.

۱۲- مدار شکل ۴ را ببندید و یک سیم پیچ حلقه‌ای شکل که لامپی روی آن نصب شده را به هسته‌ی آهنی مستقیم نزدیک کنید. آیا لامپ روشن می‌شود؟ سیم پیچ با مقطع دایره‌ای همراه با لامپ را به گونه‌ای قرار دهید که هسته‌ی آهنی از داخل آن عبور کند. آیا

لامپ روشن می‌شود؟ سیم پیچ حلقه‌ای همراه با لامپ را در حالی که هسته از مرکز آن می‌گذرد، پایین تر برده تا به سیم پیچ ۳۰۰ دوری بچسبد. فاصله‌ی سیم پیچ حلقه‌ای از سیم پیچ ۳۰۰ دوری چه تأثیری در روشنایی لامپ دارد؟ چرا؟

۱۳- یک سیم پیچ همراه با لامپ دارای سطح مقطع کوچکتر (سطح مربعی) را به کار ببرید. چه تفاوتی در روشنایی لامپ مشاهده می‌کنید؟ علت را با توجه به مقدار مقاومت این سیم پیچ نسبت به سیم پیچ دایره‌ای توضیح دهید.

۱۴- به جای هسته‌ی آهنی مستقیم از یک هسته‌ی U شکل استفاده کرده و یک طرف آن سیم پیچ ۳۰۰ دوری و یک سمت دیگر آن، سیم پیچ مربعی همراه با لامپ را قرار دهید. در مقایسه با قسمت ۱۳، آیا نور لامپ بیشتر شد؟ چرا؟

۱۵- سیم پیچ همراه با لامپ دارای سطح مقطع کوچکتر را مطابق شکل ۵ به کار ببرید. شدت نور لامپ در مقایسه با قسمت ۱۴، چه تغییری می‌کند؟ سیم پیچ با سطح مقطع دایره‌ای را نیز اضافه نمایید. آیا هر دو لامپ روشن می‌شوند؟

۱۶- در شکل ۵، به جای سیم پیچ ۳۰۰ دوری یک سیم پیچ ۶۰۰ دوری قرار داده و آزمایش ۱۵ را تکرار کنید و نتیجه را در گزارش کار خود بنویسید.

شکل ۵

۱۷- با توجه به قانون القای فاراده، چگونگی تغییر شار مغناطیسی در این آزمایش را نیز بیان کنید.

آزمایش IV

۱۸- مولد جریان (ژنراتور دستی) متناوبی که در اختیار دارید شامل یک سیم پیچ است که می‌تواند حول محور خود، درون میدان مغناطیسی ناشی از دو آهنربای نعلی شکل به کمک دست بچرخد. با گردانیدن سیم پیچ، لامپی که در مدار سیم پیچ قرار دارد روشن می‌شود. چرا؟ با افزایش سرعت دوران سیم پیچ چه تغییری در نور لامپ مشاهده می‌کنید و علت تغییر نور لامپ را بیان کنید.

۱۹- با توجه به قانون القای فاراده، چگونگی تغییر شار مغناطیسی در این آزمایش را بیان کنید.

(ب) مبدل‌ها

۲۰- ابتدا مقاومت اهمی سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه را به کمک یک اهم سنج اندازه بگیرید (در صورت امکان از اهم‌سنج رقمی استفاده کنید) و آن را یادداشت کنید.

$$R = 40 \text{ دوری} \quad R = 80 \text{ دوری} \quad R = 200 \text{ دوری} \quad R = 800 \text{ دوری}$$

۲۱- سیم پیچ ۲۰۰ دوری را به جای ثانویه قرار دهید و منبع تغذیه متغیر را به اولیه وصل کنید و با اندازه‌گیری ولتاژ دو سر اولیه و ثانویه V_1 و V_2 ، جدول ۱ را پر کنید (توجه دارید که V_1 و V_2 مقادیر مؤثر ولتاژ هستند).

V_1 (v)						
V_2 (v)						

جدول ۱- ۸۰۰ دور N_1 و ۲۰۰ دور N_2

۲۲- تغییرات V_2 بر حسب V_1 را در یک کاغذ میلی‌متری رسم کنید و شیب خط $N_{(\text{Graph } 1)}$ و دقت آن را اندازه بگیرید و آن را با مقدار انتظاری $N = 0.25$ (طبق معادله‌ی ۴) مقایسه کنید.

۲۳- به جای سیم پیچ ۲۰۰ دوری، به ترتیب سیم‌پیچ‌های ۸۰ و ۴۰ دوری را قرار دهید و با انجام مرحله‌ی ۲۱ برای آنها، جدول‌های ۲ و ۳ پر نمایید. ضمن رسم منحنی‌های V_2 بر حسب V_1 در کاغذ میلی‌متری و محاسبه‌ی شیب خط و دقت آن‌ها، و $N_{(\text{Graph } 2)}$ و $N_{(\text{Graph } 3)}$ را به ترتیب با مقادیر انتظاری ۰.۱ و ۰.۰۵ مقایسه کنید. اگر در نمودارهای ۱ تا ۳، $N_{(\text{Graph})}$ با مقدار انتظاری برابر نبود، علت را بیان کنید.

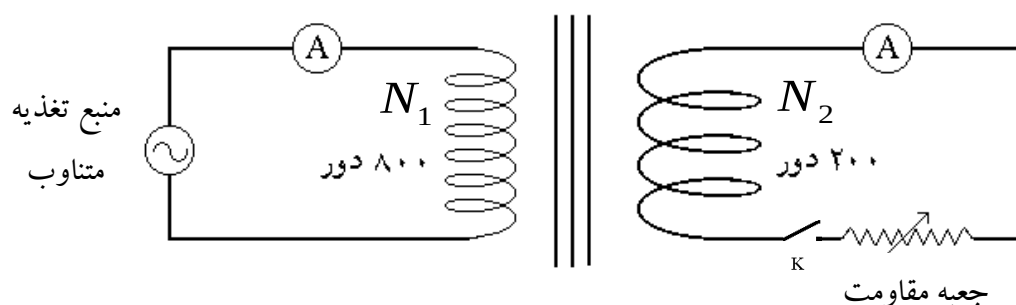
V_1 (v)						
V_2 (v)						

جدول ۲- ۸۰۰ دور N_1 و ۸۰ دور N_2

V_1 (v)						
V_2 (v)						

جدول ۳- ۸۰۰ دور N_1 و ۴۰ دور N_2

۲۴- سیم پیچ ۲۰۰ دوری را در ثانویه مبدل قرار دهید و مدار شکل ۶ را ببندید. میلی‌آمپرسنج‌ها را روی بالاترین پله قرار دهید.



۲۵- مقاومت R در برابر ۵ اهم اختیار کنید. کلید را ببندید و ولتاژهای V_1 و V_2 و جریان‌های i_1 و i_2 را اندازه بگیرید. با باز کردن کلید، جریان مغناطیس شدگی i_m (جریانی که از اولیه می‌گذرد وقتی دو سر ثانویه باز باشد) را نیز اندازه بگیرید و در جدول ۴ ثبت کنید. با تغییر دادن ولتاژ اولیه توسط منبع تغذیه، جدول ۴ را پر کنید.

$$R = 5 (\Omega)$$

V_1 (v)						
V_2 (v)						
i_1 (mA)						
i_2 (mA)						
i_m (mA)						
$\cos\phi$						

جدول ۴

۲۶- منحنی تغییرات i_1 را بر حسب i_2 در یک کاغذ میلی‌متر رسم کنید و شیب خط رسم شده $(N_{\text{Graph 4}})$ و دقت آن را به دست آورید و $N_{\text{Graph 4}}$ را با مقدار انتظاری N مقایسه کنید (معادله ۶).

۲۷- با مقایسه نتایج مراحل ۲۲ و ۲۳ و مرحله ۲۶ با مقادیر انتظاری، چه نتیجه‌ای از این مراحل می‌گیرید؟ آیا اصل پایستگی انرژی (بقای انرژی) را می‌توان از این مراحل نتیجه گرفت؟

۲۸- در مدار شکل ۶ دامنه‌ی ولتاژ منبع تغذیه را روی پله‌ی اول، ثابت نگه داشته و مقاومت R را تغییر دهید و جدول ۵ را پر کنید. (V_1 را هنگامی که کلید بسته است اندازه بگیرید). در جدول ۵، r_s مقاومت سیم پیچ ثانویه است که در مرحله ۲۰ اندازه‌گیری شد.

$$r_s = \dots\dots (\Omega)$$

R (Ω)	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0
V_1 (v)					
i_1 (mA)					
i_2 (mA)					
$\frac{V_1}{16(R+r_s)}$ (mA)					

جدول ۵

۲۹- با توجه به معادله ۷ و مدار شکل ۶ باید $i_1 = \frac{V_1}{16R}$ باشد ولی چون سیم‌پیچ‌های مبدلی که با آن کار می‌کنند دارای مقاومت است، معادله به صورت $i_1 = \frac{V_1}{16(R+r_s)}$ در می‌آید. در نتیجه طبق معادله‌ی اخیر، باید

ردیف‌های سوم و پنجم جدول ۵ به ازای مقادیر مختلف R و با در نظر گرفتن واحدهای اندازه‌گیری برابر باشند. بررسی کنید آیا برابر هستند یا خیر و در صورت برابر نبودن این دو ردیف حداقل پنج علت را بیان کنید.

پرسش‌ها

- ۱- آزمایش‌های I، II، III و IV بخش «الف» در چه چیزی با هم مشترک هستند و انحراف گالوانومتر و یا مشاهده‌ی نور چراغ در این آزمایش‌ها موید چه قانونی است؟
- ۲- در بخش «ب» آیا تبدیلی که در این آزمایش از آن استفاده کردید یک تبدیل قدرت بود؟ چرا؟
- ۳- در بخش «ب» چگونه می‌توان مقاومت اهمی سیم‌های اولیه را در روابط به حساب آورد؟ راهنمایی: اگر ولتاژ اندازه‌گیری شده‌ی دور سر اولیه V_1' باشد، می‌توان سیم پیچ اولیه به همراه مقاومتش را به عنوان یک مدار RL در نظر گرفت که با کم کردن سهم ولتاژ مقاومت، V_1 واقعی را به دست آورد (ر. ک. آزمایش شماره‌ی ۱۰)

آزمایش جلسه نهم:

بررسی قوانین کیرشهوف در مدارهای R-R (مقاومت‌های سری و موازی)

هدف آزمایش: تحقیق قوانین ولتاژ و جریان کیرشهوف (KVL و KCL) و اندازه‌گیری مقاومت معادل در مدارهای R-R سری و موازی

زمینه نظری

در مدار شکل ۱، با استفاده از قانون ولتاژ کیرشهوف (KVL) می‌توان نوشت:

$$V_1 + V_2 = V \quad (1)$$

که در آن V ولتاژ دو سر منبع و $V_1 = R_1 I$ و $V_2 = R_2 I$ ولتاژ دو سر مقاومت‌ها است. I جریان در حال عبور از مدار است. اگر به جای مقاومت‌های R_1 و R_2 مقاومت معادل آن، R_{eq} را قرار دهیم، به طوری که شدت جریان مدار تغییر نکند، خواهیم داشت:

$$V = (R_1 + R_2) I \Rightarrow R_{eq(\text{Series})} = \frac{V}{I} = R_1 + R_2 \quad (2)$$

در مدار شکل ۲، با استفاده از قانون جریان کیرشهوف (KCL) می‌توان نوشت:

$$I = I_1 + I_2 \quad (3)$$

که در آن I جریان در حال عبور از مدار است و $I_1 = \frac{V}{R_1}$ و $I_2 = \frac{V}{R_2}$ جریان در حال عبور از مقاومت‌ها است. اگر به جای مقاومت‌های R_1 و R_2 مقاومت معادل آن، R_{eq} را قرار دهیم، به طوری که شدت جریان مدار تغییر نکند، خواهیم داشت:

$$I = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \Rightarrow \frac{1}{R_{eq(\text{Parallel})}} = \frac{I}{V} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R_{eq(\text{Parallel})} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (4)$$

روابط بالا برای منابع تغذیه جریان متناوب نیز صادق‌اند.

وسایل آزمایش: منبع تغذیه مستقیم و متناوب، ۴ عدد آوومتر مکانیکی (عقربه‌ای)، ۴ عدد مقاومت (۲ عدد برای بستن سری و ۲ عدد جهت بستن موازی)، کلید و ۱۱ عدد سیم رابط.

دستور کار

الف) مقاومت‌های سری

۱- با وسایلی که در اختیار دارید مدار شکل ۱ را ببندید.

۲- ولتاژ دو سر منبع تغذیه V ، ولتاژ دو سر مقاومت‌های R_1 و R_2 یعنی V_1 و V_2 و جریان کل مدار (I) را

اندازه بگیرید و در جدول ۱ ثبت کنید.

۳- مرحله ی ۲ را برای مقادیر گوناگون V انجام داده و جدول ۱ را پر کنید.

V (v)								
I (mA)								
V_1 (v)								
V_2 (v)								
$V - (V_1 + V_2)$ (v)								

جدول ۱ - منبع مستقیم

۴- میانگین ردیف پنجم جدول ۱ را محاسبه کنید. آیا این میانگین برابر صفر است؟

۵- تغییرات V بر حسب I را در یک کاغذ میلی متری رسم کرده و شیب خط نمودار جدول ۱ $(R_{eq \text{ (Graph 1))})$ را به دست آورده و دقت آن را نیز محاسبه کنید و با توجه به تعداد ارقام معنی دار گزارش کنید:

$$R_{eq \text{ (Graph 1) }} = (\dots \pm \dots) \text{ k}\Omega$$

۶- شیب نمودار جدول ۱ را با مقدار انتظاری $R_{eq \text{ (Series) }} = R_1 + R_2$ مقایسه کنید: $\frac{R_{eq \text{ (Series) }} - R_{eq \text{ (Graph 2) }}}{R_{eq \text{ (Series) }}} = \dots\dots$

۷- با استفاده از منبع تغذیه متناوب به جای منبع تغذیه مستقیم و ولت سنج و آمپرسنج متناوب، ولتاژ دو سر منبع تغذیه و ولتاژهای دو سر مقاومت و جریان کل مدار را اندازه بگیرید و در جدول ۲ ثبت کنید.

$V_{r.m.s.}$ (v)								
$I_{r.m.s.}$ (mA)								
$V_{1r.m.s.}$ (v)								
$V_{2r.m.s.}$ (v)								
$V_{r.m.s.} - (V_{1r.m.s.} + V_{2r.m.s.})$ (v)								

جدول ۲ - منبع متناوب

۸- میانگین ردیف پنجم جدول ۲ را محاسبه نموده و بیان کنید آیا این میانگین برابر صفر است؟

۹- اگر میانگین ردیف پنجم جدول های ۱ و ۲ برابر صفر نیست، علت را بیان کنید.

۱۰- تغییرات $V_{r.m.s.}$ بر حسب $I_{r.m.s.}$ جدول ۲ را در یک کاغذ میلی متری رسم کرده و شیب خط $(R_{eq \text{ (Graph 2))})$ را به دست آورده و دقت آن را نیز محاسبه کنید و توجه به تعداد ارقام بامعنی بنویسید:

$$R_{eq \text{ (Graph 2) }} = (\dots \pm \dots) \text{ k}\Omega$$

۱۱- شیب نمودار جدول ۲ را با مقدار انتظاری $R_{eq \text{ (Series) }} = R_1 + R_2$ مقایسه کنید: $\frac{R_{eq \text{ (Series) }} - R_{eq \text{ (Graph 2) }}}{R_{eq \text{ (Series) }}} =$

ب) مقاومت های موازی

۱۲- مدار شکل ۲ را با استفاده از منبع تغذیه مستقیم و ولت سنج و آمپرسنج مستقیم ببندید.

۱۳- جریان‌های I ، I_1 و I_2 را به ازای مقادیر مختلف V اندازه بگیرید و جدول ۳ را پر کنید.

۱۴- میانگین ردیف پنجم جدول ۳ را محاسبه کنید. آیا این میانگین برابر صفر است؟

V (v)								
I (mA)								
I_1 (mA)								
I_2 (mA)								
$I - (I_1 + I_2)$ (mA)								

جدول ۳ - منبع مستقیم

۱۵- منحنی تغییرات V بر حسب I را در یک کاغذ میلی‌متری رسم کنید و شیب خط رسم شده $(R_{eq \text{ (Graph 3))})$ را به دست آورده و دقت آن را محاسبه کنید. $R_{eq \text{ (Graph 3)}}$ را با توجه به تعداد ارقام بامعنی بنویسید:

$$R_{eq \text{ (Graph 3)}} = (\dots \pm \dots) \text{ k}\Omega$$

۱۶- مقدار $R_{eq \text{ (Graph 3)}}$ را با مقدار انتظاری $R_{eq \text{ (Parallel)}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ مقایسه کنید: $\frac{R_{eq \text{ (Parallel)}} - R_{eq \text{ (Graph 3)}}}{R_{eq \text{ (Parallel)}}} =$

۱۷- با استفاده از منبع تغذیه متناوب به جای منبع تغذیه مستقیم و نیز ولت‌سنج و آمپرسنج متناوب، آزمایش را برای همان مدار شکل ۲، تکرار و نتایج را در جدول ۴ درج کنید. میانگین ردیف پنجم جدول ۴ را محاسبه کنید. آیا این میانگین برابر صفر است؟

$V_{r.m.s.}$ (v)								
$I_{r.m.s.}$ (mA)								
$I_{1 \text{ r.m.s.}}$ (mA)								
$I_{2 \text{ r.m.s.}}$ (mA)								
$I_{r.m.s.} - (I_{1 \text{ r.m.s.}} + I_{2 \text{ r.m.s.}})$ (mA)								

جدول ۴ - منبع متناوب

۱۸- اگر میانگین ردیف پنجم جدول‌های ۳ و ۴ برابر صفر نیست، علت را بیان کنید.

۱۹- منحنی V بر حسب I را رسم کنید و شیب خط رسم شده $(R_{eq \text{ (Graph 4))})$ را به همراه دقت آن محاسبه کنید.

$$R_{eq \text{ (Graph 4)}} = (\dots \pm \dots) \text{ k}\Omega$$

۲۰- مقدار $R_{eq \text{ (Graph 4)}}$ را با مقدار انتظاری $R_{eq \text{ (Parallel)}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ مقایسه کنید: $\frac{R_{eq \text{ (Parallel)}} - R_{eq \text{ (Graph 4)}}}{R_{eq \text{ (Parallel)}}} =$

پرسش‌ها

۱- برای پر کردن جدول‌های ۱ و ۲، اگر در مدار شکل ۱ آمپرسنج را حذف کنیم، در ردیف پنجم آیا نتایج بهتری به دست می‌آید؟ چرا؟

۲- چرا در این آزمایش، در استفاده از ولت‌سنج متناوب باید به عدد لیاقت ولت‌سنج AC توجه داشته باشیم؟

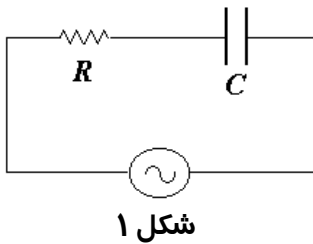
۳- در تحقیق قوانین کیرشهوف، چه راه‌هایی برای بهبود نتایج پیشنهاد می‌کنید؟

مدارهای R-C و R-L

هدف آزمایش: تحقیق قوانین کیرشهوف در مدارهای غیراهمی R-C و R-L و اندازه گیری پاگیری (مقاومت ظاهری) مدار و اختلاف فاز میان جریان مدار و ولتاژ منبع در این مدارها

زمینه نظری

الف) مدار R-C



مدار شکل ۱، که شامل مقاومت R ، خازن C و یک نوسانساز سینوسی است را در نظر بگیرید. جریان در حال عبور از مدار، i ، آهنگ شارش بار الکتریکی است $i = \frac{dq}{dt}$ در نتیجه اگر جریان الکتریکی مدار را به صورت $i = i_m \sin \omega t$ فرض کنیم، بار ذخیره شده q در لحظه t بر روی خازن چنین خواهد بود:

$$q = \int i \, dt = i_m \int \sin \omega t \, dt = -\frac{i_m}{\omega} \cos \omega t = \frac{i_m}{\omega} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (۱)$$

بدین سان ولتاژ دو سر مقاومت، V_R و دو سر خازن، V_C ، چنین خواهند بود:

$$\begin{cases} V_R = iR = i_m R \sin \omega t \\ V_C = \frac{q}{C} = i_m X_C \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \end{cases} \quad (۲)$$

یعنی ولتاژ دو سر مقاومت با جریان مدار همفاز است در صورتی که ولتاژ دو سر خازن $\frac{\pi}{2}$ عقب تر از آن

است. بیشینه ولتاژ دو سر مقاومت $V_{R,m} = i_m R$ و بیشینه ولتاژ دو سر خازن $V_{C,m} = i_m X_C$ است. پاگیری خازن نامیده می شود و برابر است با:

$$X_C = \frac{1}{C \omega} \quad (۳)$$

وجود $\frac{\pi}{2}$ اختلاف فاز بین ولتاژ دو سر خازن و جریان در حال عبور از آن نشان می دهد که خازن انرژی

مصرف نمی کند و باگیری آن موهومی است. ولتاژ دو سر منبع در این مدار با جریان مدار همفاز نیست. اگر فرض کنیم ولتاژ منبع به اندازه ϕ از جریان جلوتر باشد یعنی $V = V_m \sin(\omega t + \phi)$ ، آن گاه از قانون ولتاژ کیرشهوف (KVL) داریم:

$$V = V_R + V_C \Rightarrow V_m \sin(\omega t + \phi) = V_{R,m} \sin \omega t - V_{C,m} \cos \omega t \quad (۴)$$

با بسط دادن تابع مثلثاتی و برابر قرار دادن ضرایب مربوط به $\sin \omega t$ و $\cos \omega t$ به طرز جداگانه خواهیم داشت:

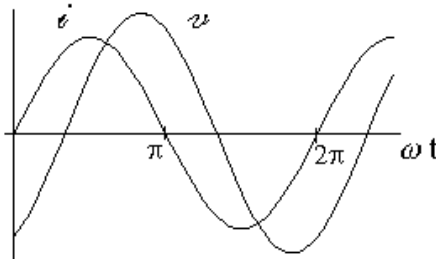
$$\begin{cases} V_m \cos \phi \sin \omega t = V_{R,m} \sin \omega t \\ V_m \sin \phi \cos \omega t = -V_{C,m} \cos \omega t \end{cases} \quad (۵)$$

از روابط (۲) و (۵) می‌توان به سادگی φ و V_m را به دست آورد:

$$\begin{cases} V_m = \sqrt{V_{R,m}^2 + V_{C,m}^2} = i_m \sqrt{R^2 + X_C^2} = i_m Z \\ \tan \varphi = -\frac{V_{C,m}}{V_{R,m}} = -\frac{X_C}{R} = -\frac{1}{RC\omega} \end{cases} \quad (۶)$$

که در آن Z را پاگیری مدار RC می‌نامند و برابر است با:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad (۷)$$



شکل ۲

بستگی زمانی ولتاژ منبع و جریان مدار به ازای $\frac{\pi}{3}$ در شکل ۲

مقایسه شده‌اند. علامت منفی در رابطه‌ی ۶ نشان می‌دهد که در واقع

ولتاژ منبع در مدار RC عقب‌تر از جریان است. لازم به تذکر است که در

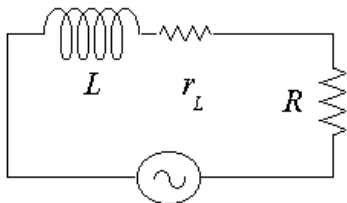
تمام روابط بالا می‌توان به جای مقادیر بیشینه‌ی ولتاژ و جریان (که با

زیرنویشت m مشخص شده‌اند) از مقادیر مؤثر استفاده کرد. خصوصاً دقت داشته باشید که جمع ولتاژهای

لحظه‌ای دو سر مقاومت و خازن با ولتاژ لحظه‌ای دوسر منبع برابر است ولی این موضوع برای ولتاژی مؤثر

صادق نیست.

ب) مدار R-L



شکل ۳

مدار شکل ۳ که شامل مقاومت R ، خودالقای L و یک نوسان‌ساز

سینوسی است را در نظر بگیرید. در این مدار r_L مقاومت اهمی خودالقا (مربوط

به سیم‌پیچ) است. مقاومت اهمی کل این مدار، R_0 ، برابر است با:

$$R_0 = R + r_L \quad (۸)$$

اگر جریان الکتریکی مدار با به صورت $i = i_m \sin \omega t$ فرض کنیم، داریم:

$$\frac{di}{dt} = \frac{d}{dt}(i_m \sin \omega t) = i_m \omega \cos \omega t = i_m \omega \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \quad (۹)$$

بدین سان ولتاژ دوسر مقاومت‌های اهمی، V_{R_0} ، و دو سر خود القای ایده‌آل، V_L ، چنین خواهند بود:

$$\begin{cases} V_{R_0} = iR_0 = i_m R_0 \sin \omega t \\ V_L = L \frac{di}{dt} = i_m X_L \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \end{cases} \quad (۱۰)$$

یعنی ولتاژ دوسر مقاومت کل مدار با جریان مدار هم‌فاز است در صورتی که ولتاژ دوسر خودالقا $\frac{\pi}{2}$ جلوتر

از آن است. بیشینه‌ی ولتاژ دوسر مقاومت کل مدار $V_{R_0,m} = i_m R_0$ و بیشینه‌ی ولتاژ دو سر خودالقا $V_{L,m} = i_m X_L$

است. X_L پاگیری خودالقا (ی ایده‌آل) نامیده می‌شود و برابر است با:

$$X_L = L\omega \quad (۱۱)$$

اگر خودالقا بدون مقاومت بود یعنی $r_L = 0$ آن گاه اختلاف فاز بین ولتاژ دو سر خودالقا و جریان در حال

عبور از آن برابر با $\frac{\pi}{2}$ بود و این نشان می‌دهد که خودالقای بدون مقاومت اهمی انرژی مصرف نمی‌کند و این

پاگیری موهومی است. ولتاژ دو سر منبع در این مدار با جریان مدار همفاز نیست. اگر فرض کنیم ولتاژ منبع به اندازه φ از جریان جلوتر باشد یعنی $V = V_m \sin(\omega t + \varphi)$ ، آنگاه از قانون ولتاژ کیرشهوف (KVL) داریم:

$$V = V_{R_0} + V_L \Rightarrow V_m \sin(\omega t + \varphi) = V_{R_0,m} \sin \omega t + V_{L,m} \cos \omega t \quad (12)$$

با بسط دادن تابع مثلثاتی و برابر قرار دادن ضرایب مربوط به $\sin \omega t$ و $\cos \omega t$ به طور جداگانه خواهیم داشت:

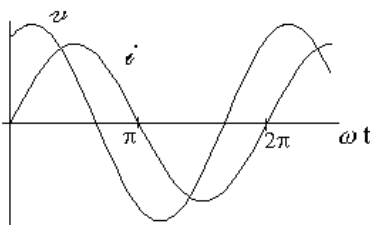
$$\begin{cases} V_m \cos \varphi \sin \omega t = V_{R_0,m} \sin \omega t \\ V_m \sin \varphi \cos \omega t = V_{L,m} \cos \omega t \end{cases} \quad (13)$$

از روابط ۱۰ و ۱۳ می‌توان به سادگی φ و V_m را به دست آورد:

$$\begin{cases} V_m = \sqrt{V_{R_0,m}^2 + V_{L,m}^2} = i_m \sqrt{R_0^2 + X_L^2} = i_m Z \\ \tan \varphi = \frac{V_{L,m}}{V_{R_0,m}} = \frac{X_L}{R_0} = \frac{L\omega}{R_0} \end{cases} \quad (14)$$

که در آن Z را پاگیری مدار RL می‌نامند و برابر است با:

$$Z = \sqrt{R_0^2 + X_L^2} \quad (15)$$



شکل ۴

بستگی زمانی ولتاژ منبع و جریان مدار به ازای $\frac{\pi}{3}$ در شکل ۴ مقایسه

شده‌اند. لازم به تذکر است که در تمام روابط بالا می‌توان به جای مقادیر

بیشینه‌ی ولتاژ و جریان (که با زیر نوشت m مشخص شده‌اند) از مقادیر مؤثر

استفاده کرد. خصوصاً دقت داشته باشد که جمع ولتاژهای لحظه‌ای، دو سر مقاومت و خود القا با ولتاژ لحظه‌ای

دو سر منبع برابر است ولی این موضوع برای ولتاژهای مؤثر صادق نیست.

وسایل آزمایش: نوسان‌ساز سینوسی، آومتر رقمی (دیجیتال)، سیم‌پیچ ۱۲۰۰ دوری، مقاومت ۱ کیلو اهم، خازن ۰.۱ میکروفاراد و ۵ عدد سیم رابط.

دستور کار

الف) مدار R-C

۱- مدار شکل ۱ را با خازن $0.1 \mu F$ و مقاومت $1 k\Omega$ که در اختیار دارید ببندید. بسامد نوسان‌ساز را بر روی ۱۰۰۰ هرتز قرار دهید.

۲- به ازای ولتاژهای متفاوت دو سر نوسان‌ساز، V ، ولتاژهای دو سر مقاومت، V_R ، و دو سر خازن، V_C ، را اندازه‌گرفته در جدول ۱ یادداشت کنید. توجه داشته باشید که ولت‌سنج و آمپرسنج مقدار مؤثر را اندازه می‌گیرد.

برای محاسبه‌ی جریان مؤثر در حال عبور از مدار نیز می‌توان از رابطه $i = \frac{V_R}{R}$ استفاده کرد.

۳- مقدار میانگین ردیف پنجم جدول ۱ را حساب کنید. این مقدار، $\overline{\Delta V}$ ، که متوسط ابیراهی است باید صفر باشد.

اگر $\overline{\Delta V}$ برابر صفر نبود علت را بیان کنید.

V (v)							
V_R (v)							
V_C (v)							
$i = \frac{V_R}{R}$ (mA)							
$\Delta V = V - \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$ (v)							
$\tan \phi = -\frac{V_C}{V_R}$							
$Z = \frac{V}{i}$ (K Ω)							

جدول ۱

۴- میانگین $\tan \phi$ را از ردیف ششم جدول ۱ محاسبه کرده و آن را با مقدار تئوری $-\frac{1}{RC\omega}$ (معادله ۶) مقایسه کنید و در صورت مشاهده اختلاف بین این دو مقدار علت را بیان کنید.

$$\tan \phi_{\text{Table 1}} = \dots\dots\dots \quad \tan \phi_{\text{RC Theory}} = -\frac{X_C}{R} = -\frac{1}{RC\omega} = \dots\dots\dots$$

$$\frac{\tan \phi_{\text{RC Theory}} - \tan \phi_{\text{Table 1}}}{\tan \phi_{\text{RC Theory}}} = \dots\dots\dots$$

۵- منحنی تغییرات V بر حسب I را در یک کاغذ میل متری با انتخاب مبدأ و مقیاس مناسب رسم کنید. این نمودار خط مستقیمی با شیب $Z_{\text{Graph 1}}$ خواهد بود. شیب نمودار و دقت آن را اندازه گرفته و ضمن محاسبه مقدار متوسط ردیف هفتم جدول ۱ ($\bar{Z}_{\text{Table 1}}$)، آن‌ها را با مقدار تئوری ($Z_{\text{RC Theory}} = \sqrt{R^2 + X_C^2}$) مقایسه کنید: $Z_{\text{RC Theory}} = \dots\dots\dots$ (k Ω) $\bar{Z}_{\text{Table 1}} = \dots\dots\dots$ (k Ω) $Z_{\text{Graph 1}} = \dots\dots\dots \pm \dots\dots$ (k Ω)

$$\frac{Z_{\text{RC Theory}} - Z_{\text{Graph 1}}}{Z_{\text{RC Theory}}} = \dots\dots\dots \quad \frac{Z_{\text{RC Theory}} - \bar{Z}_{\text{Table 1}}}{Z_{\text{RC Theory}}} = \dots\dots\dots$$

ب) مدار R-L

۶- ابتدا مقاومت خطی خودالقا (سیم پیچ ۱۲۰۰ دور) را اندازه بگیرید. $r_L = \dots\dots\dots \pm \dots\dots$ (Ω)

۷- مدار شکل ۳ را به کمک خودالقا با ضریب خودالقایی 53 mH و مقاومت 1 k Ω ببندید و بسامد نوسان ساز را روی ۱۰۰۰ هرتز تنظیم کنید.

۸- به ازای ولتاژهای متفاوت نوسان ساز، V ، ولتاژهای دوسر مقاومت، V_R و دوسر خودالقا V_L' را اندازه گرفته در جدول ۲ یادداشت کنید. توجه داشته باشید که ولتسنج مقدار مؤثر ولتاژ را اندازه می‌گیرد.

در این جدول با اندازه گیری ولتاژ دوسر مقاومت، V_R ، می‌توان جریان مدار، i ، را از رابطه $i = \frac{V_R}{R}$ به دست

آورد و $V_{R0} = iR_0 = i(R + r_L)$ است. توجه داشته باشید که $V_L' = iZ_L = i\sqrt{r_L^2 + X_L^2}$ ، ولتاژ مؤثر دو سر خودالقای دارای مقاومت اهمی r_L است. در نتیجه $V_L = iX_L = \sqrt{V_L'^2 - (ir_L)^2}$ خواهد بود.

۹- مقدار میانگین ردیف هفتم جدول ۲ را حساب کنید. این مقدار، $\overline{\Delta V}$ ، که متوسط ابیراهی است باید صفر باشد. اگر $\overline{\Delta V}$ برابر صفر نبود علت را بیان کنید. $\overline{\Delta V} = \dots\dots\dots$

V (v)							
V_R (v)							
V'_L (v)							
$i = \frac{V_R}{R}$ (mA)							
$V_{R_0} = i(R + r_L)$ (v)							
$V_L = \sqrt{V'^2_L - (ir_L)^2}$ (v)							
$\Delta V = V - \sqrt{V_{R_0}^2 + V_L^2}$ (v)							
$\tan \phi = \frac{V_L}{V_{R_0}}$							
$Z = \frac{V}{i}$ (K Ω)							

جدول ۲

۱۰- میانگین $\tan \phi$ را از ردیف هشتم جدول ۲ محاسبه کرده و آن را با مقدار تئوری $\frac{L\omega}{R_0}$ (معادله ۱۴) مقایسه کنید و در صورت مشاهده اختلاف بین این دو مقدار علت را بیان کنید.

$$\overline{\tan \phi}_{\text{Table 2}} = \dots\dots\dots \quad \tan \phi_{\text{RL Theory}} = \frac{X_L}{R_0} = \frac{L\omega}{R_0} = \dots\dots\dots$$

$$\frac{\overline{\tan \phi}_{\text{RL Theory}} - \overline{\tan \phi}_{\text{Table 2}}}{\overline{\tan \phi}_{\text{RL Theory}}} = \dots\dots\dots$$

۱۱- منحنی تغییرات V بر حسب I را در یک کاغذ میل متری با انتخاب مبدأ و مقیاس مناسب رسم کنید. این نمودار خط مستقیمی با شیب $Z_{\text{Graph 2}}$ خواهد بود. شیب نمودار و دقت آن را اندازه گرفته و ضمن محاسبه مقدار متوسط ردیف نهم جدول ۲ ($\bar{Z}_{\text{Table 1}}$)، آن‌ها را با مقدار تئوری ($Z_{\text{RL Theory}} = \sqrt{R_0^2 + X_L^2}$) مقایسه کنید. (k Ω) $\dots\dots\dots =$

$$\frac{Z_{\text{RL Theory}} - Z_{\text{Graph 2}}}{Z_{\text{RL Theory}}} = \dots\dots\dots \quad \frac{Z_{\text{RL Theory}} - \bar{Z}_{\text{Table 2}}}{Z_{\text{RL Theory}}} = \dots\dots\dots$$

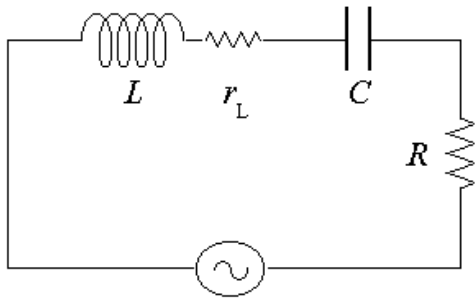
پرسش‌ها

- ۱- پاگیری موهومی یعنی چه؟
- ۲- چگونه می‌توان در مدارهای R-C و R-L اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان را افزایش داد؟
- ۳- چرا در جدول‌های ۱ و ۲، شدت جریان مدار را مستقیماً به وسیله آمپرسنج اندازه نمی‌گیریم و آن را از رابطه $\frac{V_R}{R}$ حساب می‌کنیم؟

آزمایش جلسه یازدهم:

بررسی مدارهای سری R-C-L و پدیده ی بازآوایی (تشدید)

هدف آزمایش: تحقیق قوانین کیرشهوف در مدارهای R-C-L سری، اندازه گیری مقاومت ظاهری مدار و اختلاف فاز میان جریان مدار و ولتاژ منبع؛ تعیین بسامد بازآوایی (تشدید) و رسم منحنی پاسخ مدار R-C-L و مطالعه ی بستگی محل قله و پهنای منحنی به عناصر مدار



شکل ۱

زمینه ی نظری

مدار شکل ۱، شامل خودالقای L (دارای مقاومت اهمی r_L)، خازن C ، مقاومت بار، R و نوسان ساز سینوسی را در نظر بگیرید. مقاومت اهمی کل این مدار، R_0 ، برابر است با:

$$R_0 = R + r_L \quad (1)$$

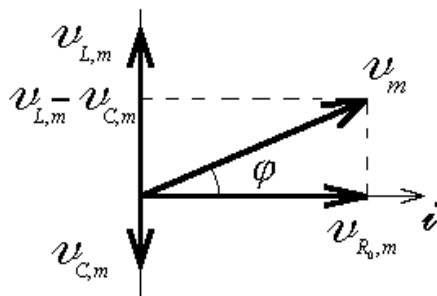
ولتاژ لحظه ای دوسر مقاومت کل، V_{R_0} ، با جریان مدار همفاز

است. ولتاژ لحظه ای دوسر خودالقا، V_L ، به اندازه ی $\frac{\pi}{2}$ از جریان جلوتر و ولتاژ لحظه ای دوسر خازن، V_C ، به اندازه ی $\frac{\pi}{2}$ از جریان عقب تر است. در نتیجه اگر جریان لحظه ای مدار را به صورت $i = i_m \sin \omega t$ در نظر بگیریم، داریم:

$$i = i_m \sin \omega t \Rightarrow \begin{cases} V_{R_0} = i_m R_0 \sin \omega t \\ V_L = i_m X_L \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) , \quad X_L = L \omega \\ V_C = i_m X_C \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) , \quad X_C = \frac{1}{C \omega} \end{cases} \quad (2)$$

و قضیه ی حلقه (قانون ولتاژ کیرشهوف KVL) چنین نوشته می شود:

$$V = V_{R_0} + V_L + V_C \quad (3)$$



شکل ۲

که در آن $V = V_m \sin(\omega t + \phi)$ ولتاژ دو سر منبع است. بیشینه ی ولتاژ دوسر مقاومت کل $V_{R_0,m} = i_m R_0$ و بیشینه ی ولتاژ دوسر خازن $V_{C,m} = i_m X_C$ و بیشینه ی ولتاژ دوسر خودالقای آمارمای $V_{L,m} = i_m X_L$ است. می توان با بسط دادن توابع مثلثاتی و برابر قرار دادن ضرایب مربوط به $\sin \omega t$ و $\cos \omega t$ ، مقادیر ϕ و V_m را بر حسب i_m و کمیت های دیگر به دست آورد.

$$\begin{cases} V_m \cos \phi \sin \omega t = V_{R_0,m} \sin \omega t \\ V_m \sin \phi \cos \omega t = (V_{L,m} - V_{C,m}) \cos \omega t \end{cases} \quad (4)$$

روش دیگر استفاده از نمودار فازوری است. نمودار فازوری مدار بالا در شکل ۲ نشان داده شده است. در این

شکل اندازه هر فازور همان بیشینه‌ی ولتاژ نظیر آن است. از این نمودار یا از معادلات ۴ به سادگی دیده می‌شود که:

$$V_m = \sqrt{V_{R_0,m}^2 + (V_{L,m} - V_{C,m})^2} = i_m \sqrt{R_0^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (5)$$

و

$$\tan \varphi = \frac{V_{L,m} - V_{C,m}}{V_{R_0,m}} = \frac{X_L - X_C}{R_0} \quad (6)$$

فازور ولتاژ دو سر هر جزء مدار برابر است با حاصلضرب فازور جریان در پاگیری (مقاومت ظاهری) آن

قسمت از مدار. بنابراین می‌توانیم پاگیری کل مدار (مقاومت ظاهری کل مدار)، Z ، را نیز به صورت $V_m = i_m Z$ تعریف کنیم. با این تعریف از رابطه‌ی ۵ خواهیم داشت:

$$Z = \sqrt{R_0^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (7)$$

در تمامی معادلات بالا می‌توان به جای مقادیر بیشینه‌ی ولتاژ و جریان (که با زیرنوشته m مشخص شده‌اند) از مقادیر مؤثر استفاده کرد. چون ولت‌سنج‌ها و آمپرسنج‌ها مقادیر مؤثر ولتاژ و جریان را اندازه می‌گیرند، می‌توان بی‌هیچ اشکالی از این مقادیر مؤثر استفاده کرد. **خصوصاً دقت داشته باشید که جمع ولتاژهای لحظه‌ای دو سر مقاومت و خازن و خودالقا با ولتاژ لحظه‌ای دو سر منبع برابر است ولی این موضوع برای ولتاژهای مؤثر صادق نیست.**

طبق معادله‌ی ۴، به ازای ولتاژ ثابت V_m ، اگر مقادیر R ، L و C در مدار به گونه‌ای باشد که داشته باشیم:

$$X_L = X_C \Rightarrow L\omega = \frac{1}{C\omega} \quad (8)$$

جریان مدار به بیشینه مقدار خود می‌رسد و پاگیری کل مدار، Z

، برابر R_0 می‌شود. در این حالت اختلاف فاز میان i و V صفر است و گفته می‌شود که مدار در حالت تشدید (بازآوایی) است.

بسامد زاویه‌ای که در آن تشدید صورت می‌گیرد برابر است با:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (9)$$

و نمودار تغییرات i بر حسب $\log f$ مطابق شکل ۳ خواهد بود.

وسایل آزمایش: نوسان‌ساز سینوسی، ۲ عدد آوومتر رقمی (دیجیتال)، جعبه مقاومت، سیم‌پیچ ۱۲۰۰ دوری، خازن ۰.۱ میکروفاراد، هسته‌ی آهنی و ۸ عدد سیم رابط.

دستور کار

الف) تحقیق قانون اهم در مدارهای RCL

۱- مقاومت اهمی خودالقا (سیم‌پیچ ۱۲۰۰ دوری)، r_L ، را با یک اهم‌سنج رقمی اندازه بگیرید.

$$r_L = \dots \pm \dots (\Omega)$$

۲- به نوسان‌ساز سینوسی که در اختیار دارید، یک ولت‌سنج متناوب وصل کنید. ولتاژ نوسان‌ساز را حدود ۲ ولت و

بسامد آن را روی 1000 Hz تنظیم کنید.

۳- مدار شکل ۱ را با خازن $0.1 \mu F$ و مقاومت ۱ کیلو اهم و سیم پیچ ۱۲۰۰ دوری با ضریب خودالقایی 53 mH

که در اختیار دارید ببندید. آیا ولتاژ دو سر منبع پس از وصل کردن مدار به آن تغییر می کند؟

۴- به کمک ولت سنج رقمی که در اختیار دارید، اختلاف پتانسیل های دو منبع V ، دو سر خازن، V_C ، دو سر

مقاومت V_R و دو سر خودالقای مقاومت دار، V_L' را اندازه بگیرید و در جدول ۱ ثبت کنید.

۵- جریان مدار را می توان از رابطه $i = \frac{V_R}{R}$ محاسبه کرد و از آنجا ولتاژ دو سر مقاومت کل مدار برابر می شود با

$$V_{R_0} = i(R + r_L) \quad \text{همچنین} \quad V_L = \sqrt{V_L'^2 - (ir_L)^2} \quad \text{که در آن } V_L \text{ ولتاژ دو سر خودالقا (بدون مقاومت اهمی)}$$

است (به آزمایش قبل توجه کنید).

۶- با تغییر دامنه ی ولتاژ منبع (توسط پیچ FINE)، مرحله ۴ را چند بار دیگر انجام داده و جدول ۱ را پر کنید.

$V \text{ (v)}$							
$V_R \text{ (v)}$							
$V_C \text{ (v)}$							
$V_L' \text{ (v)}$							
$i = \frac{V_R}{R} \text{ (mA)}$							
$V_{R_0} = i(R + r_L) \text{ (v)}$							
$V_L = \sqrt{V_L'^2 - (ir_L)^2} \text{ (v)}$							
$\Delta V = V - \sqrt{V_{R_0}^2 + (V_L - V_C)^2} \text{ (v)}$							
$\tan \phi = \frac{V_L - V_C}{V_{R_0}}$							
$Z = \frac{V}{i} \text{ (K}\Omega\text{)}$							

جدول ۱

۷- مقدار میانگین ردیف هشتم جدول را حساب کنید. این مقدار، $\overline{\Delta V}$ ، که متوسط ابیراهی است باید صفر باشد.

اگر $\overline{\Delta V} = \dots\dots\dots$

۸- میانگین $\tan \phi$ را از ردیف نهم جدول ۱ محاسبه کرده و آن را با مقدار تئوری $\frac{X_C - X_L}{R_0}$ (معادله ی ۶) مقایسه

کنید و در صورت مشاهده ی اختلاف بین این دو مقدار علت را بیان کنید.

$$\tan \phi_{\text{Table}} = \dots\dots\dots \quad \tan \phi_{\text{Theory}} = \frac{X_C - X_L}{R_0} = \dots\dots\dots$$

اگر اختلافی دیده می‌شود ناشی از چه می‌تواند باشد (در مورد میدان مغناطیسی تابع زمان ایجاد شده توسط خودالقا فکر کنید).

۴- به کمک رابطه‌ی ۹ و فرکانس شدید مرحله‌ی ۱۶، ضریب خودالقایی سیم‌پیچ با هسته را به دست آورید.

دستورالعمل پایان آزمایش

پس از پایان کار با وسایل و پیش از ترک آزمایشگاه، جهت مرتب نمودن میزها و وسایل، لازم است شش مورد ذیل به دقت انجام گیرد؛ در غیر این صورت از کلیه اعضای حاضر گروه در آن جلسه، نمره کسر خواهد شد:

الف) ولتاژ همهی منابعهای تغذیه و نوسان‌سازها را در وضعیت کمترین مقدار گذاشته و آن‌ها را خاموش و در حالت OFF قرار دهید.

ب) کلیه وسایل اندازه‌گیری (شامل آوومترهای عقربه‌ای، آوومترهای دیجیتال و اسیلوسکوپ) در حالت OFF قرار داشته باشند.

ج) انتخابگرهای جعبه مقاومت، روی صفر گذاشته شوند.

د) کلیه اقالام میز بجز سیم‌های رابط را به ترتیب از سمت چپ به راست، دقیقاً طبق موارد ذکر شده در بخش «وسایل آزمایش» مرتب نمایید.

ه) تمامی سیم‌های رابط را از یک سمت دارای فیش، دسته کرده و بدون تا زدن، روی میز جلوی وسایل قرار دهید به گونه‌ای که از یک طرف قابل شمارش باشند.

و) ۴ عدد چهارپایه مربوط به هر میز در زیر آن قرار گیرد.