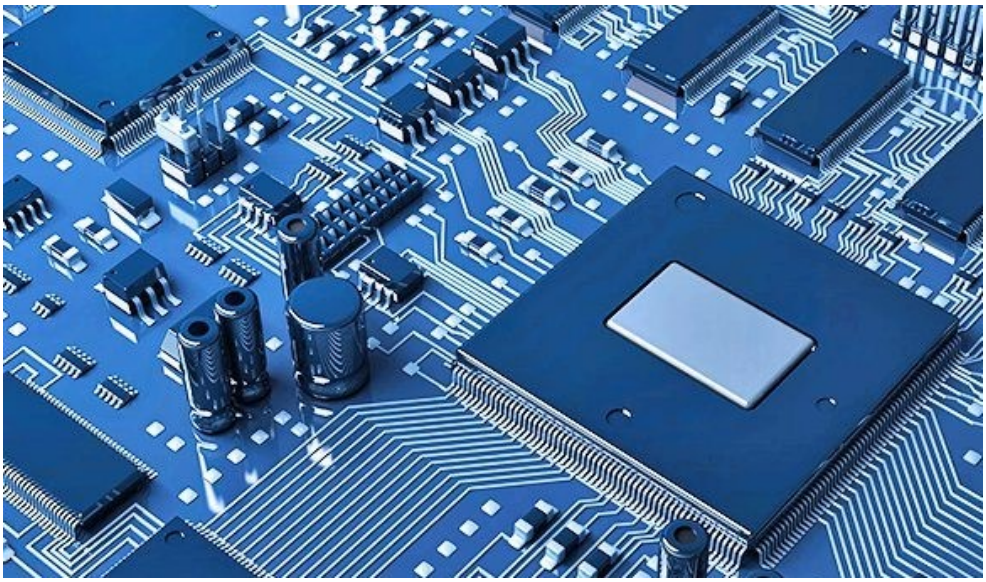
وزارت علوم , تحقیقات و فناوری
دانشگاه جهـرم
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی برق

آزمایشگاه مدارهای الکتریکی و اندازه‌گیری



بازنویسی و تدوین:

محمدعلی شفیعیان

فهرست مطالب

آزمایش شماره ۱: طراحی یک ولت‌متر و یک آمپرمتر برق مستقیم (DC) ۱
آزمایش ۱-۱: طراحی یک ولت‌متر برق مستقیم ۱
پرسش‌های آزمایش ۱-۱ ۲
آزمایش ۱-۲: طراحی یک آمپرمتر برق مستقیم ۲
پرسش‌های آزمایش ۱-۲ ۳
آزمایش شماره ۲: کالیبره کردن ولت‌متر و آمپرمتر ۴
آزمایش ۲-۱: کالیبره کردن یک آمپرمتر به‌کمک یک ولت‌متر دقیق ۴
پرسش‌های آزمایش ۲-۱ ۴
آزمایش ۲-۲: کالیبره کردن یک ولت‌متر به‌کمک یک آمپرمتر دقیق ۵
پرسش‌های آزمایش ۲-۲ ۵
آزمایش شماره ۳: طراحی اهم‌متر سری و موازی ۶
آزمایش ۳-۱: اهم‌متر سری ۶
پرسش‌های آزمایش ۳-۱ ۷
آزمایش ۳-۲: اهم‌متر موازی ۷
پرسش‌های آزمایش ۳-۲ ۸
آزمایش شماره ۴: آشنایی با اسیلوسکوپ و عملکرد آن ۹
آزمایش ۴-۱: مشاهده خط مبنا (Base Line) ۹
پرسش‌های آزمایش ۴-۱ ۹
آزمایش ۴-۲: مشاهده یک شکل موج ۹
آزمایش ۴-۳: مشاده دو شکل موج ۱۰
پرسش‌های آزمایش ۴-۳ ۱۰
آزمایش شماره ۵: اندازه‌گیری فرکانس و اختلاف فاز بین دو موج با اسیلوسکوپ ۱۱
آزمایش ۵-۱: اندازه‌گیری فرکانس مجهول یک موج ۱۱
پرسش‌های آزمایش ۵-۱ ۱۱
آزمایش ۵-۲: اندازه‌گیری اختلاف فاز بین دو موج ۱۱
پرسش‌های آزمایش ۵-۲ ۱۲

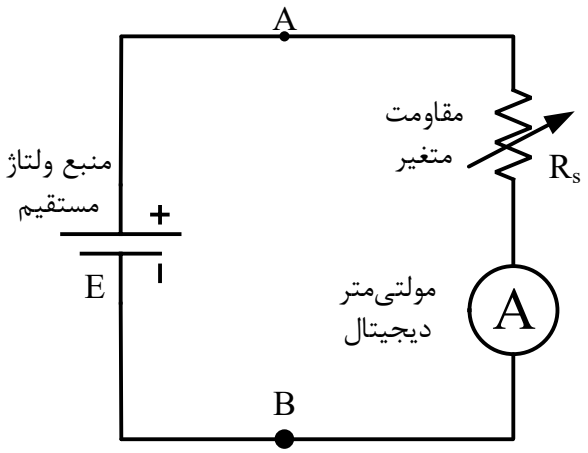
آزمایش شماره ۶: بررسی پل‌های جریان مستقیم و متناوب ۱۳
آزمایش ۶-۱: پل DC ۱۳
پرسش‌های آزمایش ۶-۱ ۱۳
آزمایش ۶-۲: پل ac ۱۴
پرسش‌های آزمایش ۶-۲ ۱۴
آزمایش شماره ۷: بررسی ماکزیمم توان انتقالی ۱۵
آزمایش ۷-۱: ماکزیمم توان انتقالی در یک مدار ۱۵
پرسش‌های آزمایش ۷-۱ ۱۶
آزمایش شماره ۸: بررسی پاسخ پله مدارهای RC ۱۸
آزمایش ۸-۱: پاسخ پله مدار RC سری ۱۸
آزمایش ۸-۲: پاسخ پله مدار RC موازی ۱۹
آزمایش شماره ۹: بررسی قانون جمع آثار و مدار معادل تونن و نورتن ۲۰
آزمایش ۹-۱: قانون جمع آثار در یک مدار مقاومتی برای ولتاژ یک نقطه از مدار ۲۰
پرسش‌های آزمایش ۹-۱ ۲۱
آزمایش ۹-۲: قانون جمع آثار در یک مدار مقاومتی برای ولتاژ دو نقطه از مدار ۲۱
آزمایش ۹-۳: مدار معادل تونن و نورتن ۲۲
آزمایش شماره ۱۰: بررسی مدارهای تشدید سری و موازی ۲۳
آزمایش ۱۰-۱: مدار تشدید سری ۲۳
آزمایش ۱۰-۲: مدار تشدید موازی ۲۴

آزمایش شماره ۱: طراحی یک ولت‌متر و یک آمپرمتر برق مستقیم (DC)

وسایل لازم: منبع ولتاژ مستقیم، مولتی‌متر دیجیتال، مقاومت متغیر ۱۰ کیلواهمی، مقاومت متغیر ۱ کیلواهمی، مقاومت ثابت ۱۰۰ اهم.

آزمایش ۱-۱: طراحی یک ولت‌متر برق مستقیم

الف) مدار نشان‌داده شده در شکل ۱ را ببندید که در آن، R_s یک مقاومت متغیر ۱۰ کیلواهمی است. مولتی‌متر را در وضعیت اندازه‌گیری جریان DC قرار دهید و منبع ولتاژ مستقیم E را روی ۱۰ ولت تنظیم کنید.



شکل ۱: شمای مداری آزمایش طراحی ولت‌متر برق مستقیم

ب) اینک مقاومت متغیر R_s را آنقدر تغییر دهید تا مولتی‌متر، جریان mA ۱ را نشان دهد. حال مدار را قطع کنید و مقدار مقاومت R_s را یا کمک مولتی‌متر (در وضعیت kΩ) اندازه گرفته و یادداشت کنید. بدین ترتیب شما یک ولت‌متر برق مستقیم طراحی کرده‌اید که حداکثر ۱۰ ولت را اندازه می‌گیرد. به عبارت دیکر، سمت راست نقاط A و B یک ولت‌متر برق مستقیم است که وقتی به منبع ولتاژ مستقیم وصل شود و مولتی‌متر جریان mA ۱ را نشان بدهد، حتماً ولتاژ منبع (V_{AB}) برابر ۱۰ ولت است.

پ) اکنون بدون آنکه به مقدار مقاومت متغیر دست بزنید، مدار شکل ۱ را مجدداً ببندید و هر بار یک ولت از مقدار منبع کم کنید (۹ v، ۸ v، ۷ v و ...) و مقدار جریان مولتی‌متر را بخوانید و در جدولی مشابه جدول ۱ یادداشت کنید:

جدول ۱: مقادیر خوانده‌شده از مولتی‌متر

ولتاژ منبع (ولت)	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
جریان خوانده‌شده از مولتی‌متر (mA)										

ت) از روی داده‌های جدول ۱ نموداری روی کاغذ شطرنجی یا به‌کمک کامپیوتر ترسیم کنید که محور افقی آن جریان مولتی‌متر و محور عمودی آن، ولتاژ منبع باشد. به‌کمک این منحنی می‌توان به‌ازای هر خوانده مولتی‌متر ولتاژ نظیر آن را به‌دست آورد.

پرسش‌های آزمایش ۱-۱

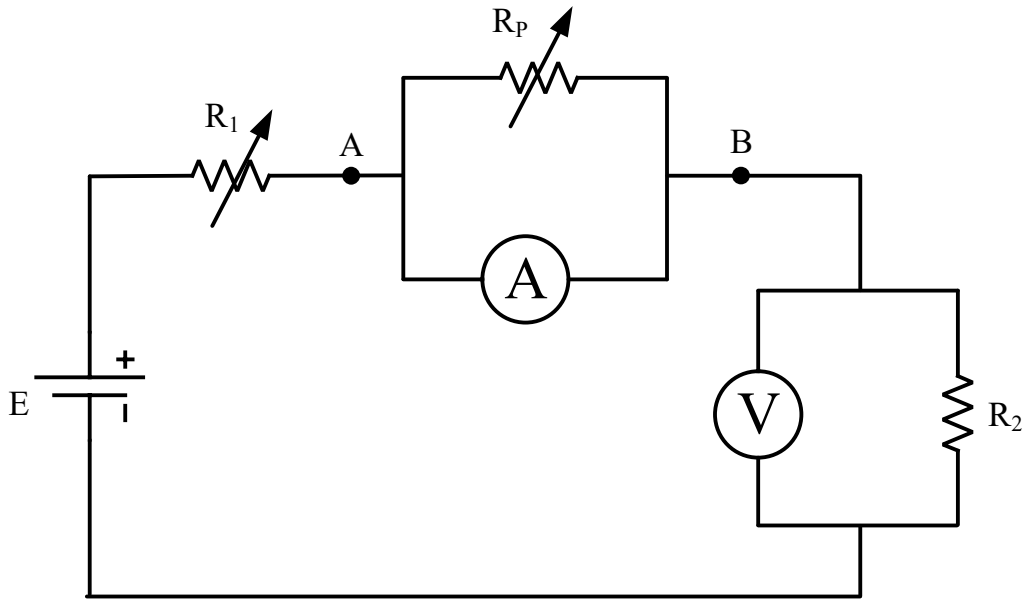
۱- در حالت ایده‌آل، ولتاژ V_{AB} باید برابر با حاصل‌ضرب R_s در جریان مولتی‌متر باشد. با مراجعه به جدول ۱، آیا در عمل چنین است؟ چرا؟

۲- راندمان ولت‌متر طراحی‌شده را به‌دست آورید.

۳- با استفاده از منحنی ترسیم شده در قسمت (ت)، بگویید که اگر مولتی‌متر اعداد ۰/۸ و ۰/۵ میلی‌آمپر را نشان داده باشد، ولتاژ V_{AB} چه‌قدر بوده است.

آزمایش ۱-۲: طراحی یک آمپرمتر برق مستقیم

الف) مدار نشان داده شده در شکل ۲ را ببندید. در این مدار R_1 و R_P مقاومت‌های متغیر ۱ کیلواهمی و R_2=۱۰۰ Ω و ثابت است. در این مدار از دو مولتی‌متر استفاده شده است که یکی موازی R_P و در وضعیت اندازه‌گیری DC و دیگری موازی مقاومت R_2 و در وضعیت اندازه‌گیری ولتاژ DC است. منبع ولتاژ مستقیم E را روی ۵ ولت قرار دهید.



شکل ۲: شمای مداری آمپرمتر برق مستقیم

ب) مقاومت‌های متغیر R_1 و R_P را آن‌قدر تغییر دهید تا در حالی که مولتی‌مترِ جریان مقدار ۱ mA را نشان می‌دهد، مولتی‌مترِ ولتاژ حدوداً ۱ ولت را نشان دهد (با توجه به آن‌که مقاومت درونی مولتی‌مترِ جریان تقریباً ۱۰۰ Ω است، باید مقدار R_P را حدود ۱۰ Ω انتخاب کنید تا جریان مولتی‌مترِ جریان برابر با ۱ mA بشود). اینک مدار را قطع کرده و مقدار مقاومت R_P را اندازه گرفته و یادداشت نمایید. بدین ترتیب شما یک آمپرمتر برق مستقیم که حداکثر ۱۰ mA را اندازه می‌گیرد طراحی کرده‌اید. در واقع مدار بین نقاط A و B تشکیل یک آمپرمتر برق مستقیم را می‌دهد که وقتی مولتی‌متر آن جریان ۱ mA را نشان می‌دهد، کل جریان عبوری بین نقاط A و B (I_{AB}) برابر با جریان عبوری از مقاومت R_2 یعنی $\frac{1\,v}{100\,\Omega} = 10\,mA$ است.

پ) اکنون مدار شکل ۲ را دوباره ببندید و بدون آن‌که به مقدرا مقاومت R_P دست بزنید، مقاومت R_1 را هر بار طوری تغییر دهید که جریان R_2 به‌اندازه ۱ mA از مقدرا قبلی خود کمتر گردد (به‌عبارت دیگر، ولتاژی که مولتی‌متر دو سر R_2 نشان می‌دهد هر بار ۰/۱ ولت کمتر از مقدار قبلی خود گردد یعنی ۰/۹، ۰/۸، ۰/۷ و ...). حال جدولی تشکیل دهید که هر بار مقدار خوانده‌شده از مولتی‌مترِ ولتاژ را به مقدار خوانده‌شده از مولتی‌مترِ جریان نسبت دهد.

جدول ۲: ثبت مقادیر خوانده‌شده از مولتی‌مترِ ولتاژ و مقادیر خوانده‌شده از مولتی‌مترِ جریان

مقادیر ولتاژ (ولت)										
مقادیر جریان (mA)										

ت) از روی داده‌های جدول قسمت (پ)، جدول دیگری تشکیل دهید که در آن جریان مقاومت R_2 را به جریان مولتی‌متر جریان نسبت دهد و از روی آن نموداری بر روی کاغذ شطرنجی یا به‌وسیله کامپیوتر ترسیم کنید که محور افقی آن جریان مولتی‌متر دو سر R_P و محور عمودی آن، جریان R_2 باشد. به‌کمک این منحنی می‌توانید با هر بار خوانده مولتی‌متر دو سر R_P مقدار واقعی جریان مدار یعنی جریان عبوری از R_2 را اندازه بگیرید.

جدول ۳: مقدار خوانده‌شده از مولتی‌متر دو سر R_P بر حسب مقدار جریان عبوری از R_2

جریان مولتی‌متر دو سر R_P (mA)										
جریان R_2 (mA)										

پرسش‌های آزمایش ۱-۲

۱- در حالت ایده‌آل جریان R_2 همان جریان عبوری از نقاط A و B (I_{AB}) است. آیا در عمل هم این امر رخ می‌دهد؟ چرا؟

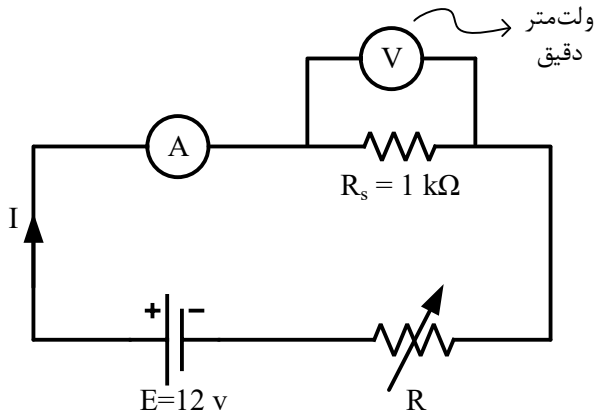
۲- راندمان آمپرمتر طراحی‌شده را حساب کنید.

آزمایش شماره ۲: کالیبره کردن ولت‌متر و آمپرمتر

وسایل لازم: آمپرمتر، ولت‌متر، منبع ولتاژ مستقیم، مقاومت‌های متغیر و ثابت.

آزمایش ۲-۱: کالیبره کردن یک آمپرمتر به‌کمک یک ولت‌متر دقیق

الف) مدار شکل ۱ را ببندید و در آن R_s =۱ kΩ قراردهید. آمپرمتر ار روی محدوده مناسبی بگذارید.



شکل ۱: شمای مداری آزمایش کالیبره کردن یک آمپرمتر به‌کمک یک ولت‌متر دقیق

ب) مقاومت متغیر ۱۰ کیلواهمی R را به‌گونه‌ای تنظیم کنید که آمپرمتر حداکثر مقدار خود (Full Scale) را نشان دهد. در این حالت، ولتاژ دو سر R_s را یادداشت کنید. حال با تغیر دادن R جریان I را پله پله کم کنید و ولتاژ دو سر R_s را دوباره بخوانید. جدولی را برای نتایج به‌دست آمده تشکیل دهید که یک ردیف آن I و یک ردیف آن ولتاژ دو سر R_s باشد.

پ) در هر کدام از حالت‌های قسمت (ب) مقدار واقعی جریان را حساب کنید و خطا (هم خطای مطلق و هم خطای نسبی) را در هر حالت به‌دست آورید.

ت) منحنی تصحیح آمپرمتر را روی کاغذ شطرنجی یا به‌وسیله کامپیوتر ترسیم کنید.

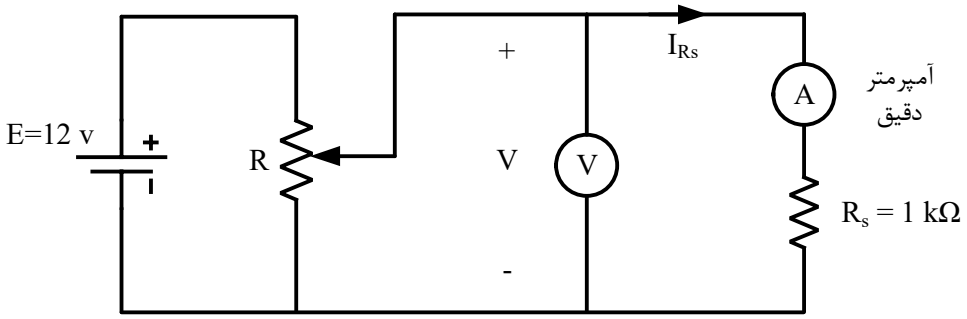
پرسش‌های آزمایش ۲-۱

۱- چه خطاهایی در آزمایش بالا وجود دارد؟ درباره هر یک توضیح دهید و چگونگی رفع آن را بیان کنید.

۲- اگر مقاومت درونی آمپرمتر R_a و ولت‌متر R_v و منبع ولتاژ مستقیم R_E باشد، روابطی برای جریان I و ولتاژ دو سر R_s به‌دست آورید (ذکر تمامی مراحل اثبات لازم است).

آزمایش ۲-۲: کالیبره کردن یک ولت‌متر به‌کمک یک آمپرمتر دقیق

الف) مدار نشان داده شده در شکل ۲ را ببندید. در این مدار R_s=۱ kΩ و ولت‌متر را روی محدوده ۱۰ ولت قرار دهید.



شکل ۲: شمای مداری آزمایش کالیبره کردن یک ولت‌متر به‌کمک یک آمپرمتر دقیق

ب) مقاومت متغیر ۱۰ کیلواهمی R را به‌گونه‌ای تنظیم کنید تا ولت‌متر حداکثر انحراف (Full Scale) را نشان دهد. در این حالت جریان عبوری از R_s را به‌وسیله آمپرمتر دقیق بخوانید و یادداشت کنید. حال با تغییر دادن R ولتاژ V را دو ولت دو ولت کم کرده و برای هر حالت جریان R_s را اندازه‌گیری کرده و جدول ۱ را کامل کنید:

جدول ۱: ثبت جریان عبوری از R_s با تغییر ولتاژ V

V (ولت)	۱۰ v	۸ v	۶ v	۴ v	۲ v
I_{R_s}					

پ) در هر کدام از حالت‌های قسمت قبل، ولتاژ واقعی را از روی جریان‌های به‌دست آمده حساب کنید و خطا (هم خطای نسبی و هم خطای مطلق) را در هر حالت به‌دست آورید.

ت) منحنی تصحیح ولت‌متر را روی کاغذ شطرنجی یا به‌وسیله کامپیوتر ترسیم کنید.

پرسش‌های آزمایش ۲-۲

۱- اگر مقاومت درونی آمپرمتر R_a و ولت‌متر R_v و منبع ولتاژ مستقیم R_E باشد، با بیان کامل محاسبات، روابطی برای ولتاژ V و جریان I_{R_s} به‌دست آورید.

۲- در آزمایش ۲-۲، آیا می‌توان به‌جای استفاده از آمپرمتر دقیق، از آمپرمتر کالیبره‌شده آزمایش ۱-۱ و منحنی تصحیح آن استفاده کرد؟ توضیح دهید چگونه؟

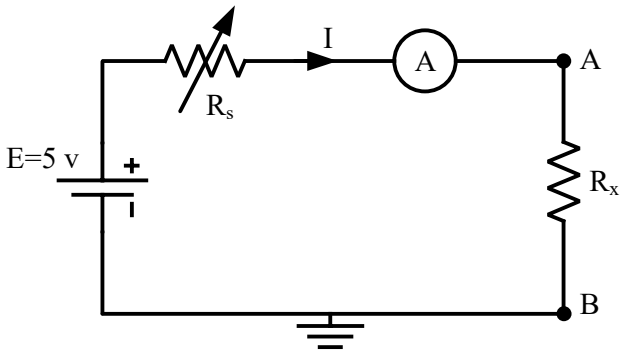
آزمایش شماره ۳: طراحی اهم‌متر سری و موازی

وسایل لازم: منبع ولتاژ مستقیم، مولتی‌متر دیجیتال، مقاومت‌های متغیر و ثابت.

آزمایش ۳-۱: اهم‌متر سری

می‌توان با طراحی یک مدار ساده و استفاده از یک آمپرمتر، یک اهم‌متر ار ساخت. در آزمایش اول، پیرامون اهم‌متر نوع سری که برای اندازه‌گیری مقاومت‌های بالا به‌کار می‌رود، بحث می‌کنیم.

الف) مدار نشان داده شده در شکل ۱ را ببندید که در آن مقدار ولتاژ منبع مستقیم را برابر با ۵ ولت و مولتی‌متر را در حالت اندازه‌گیری جریان DC قرار می‌دهیم. مقاومت مجهول مورد اندازه‌گیری را بین ترمینال‌های A و B قرار می‌دهیم. مقاومت R_s یک مقاومت متغیر ۵ کیلواهمی است.



شکل ۱: مدار اهم‌متر سری

ب) بین ترمینال‌های A و B را اتصال کوتاه کنید (R_x=۰) و سپس مقاومت متغیر R_s را آن‌قدر تغییر دهید که مولتی‌متر جریان ۱ mA را نشان دهد. مقدار R_s را در این حالت اندازه‌گیری کرده و یادداشت نمایید.

پ) حال مقاومت R_x را برابر با ۱ kΩ قرار دهید و بدون آن‌که به R_s دست بزنید جریان مولتی‌متر را یادداشت کنید. سپس مقاومت R_x را هر بار ۱ kΩ افزایش دهید و مقدار جریان مولتی‌متر را یادداشت کنید. این کار را تا R_x=۱۰ kΩ تکرار کنید. حال جدول ۱ را تشکیل داده و کامل نمایید:

جدول ۱: مقدار جریان برحسب مقادیر مختلف مقاومت R_x

مقدرا مقاومت R_x (kΩ)	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
جریان مولتی‌متر (I) (mA)											

ت) به‌کمک داده‌های جدول ۱، نموداری را روی کاغذ شطرنجی یا به‌وسیله کامپیوتر ترسیم کنید به‌گونه‌ای که محور افقی آن جریان مولتی‌متر (I) و محور عمودی آن مقاومت R_x باشد. حال به‌ازای هر مقاومت مجهولی که به مدار وصل شود می‌توان جریان مولتی‌متر را خوانده و سپس به‌کمک نمودار ترسیم شده مقدرا مقاومت مجهول را به‌دست آورد.

پرسش‌های آزمایش ۳-۱

۱- از نظر تئوری اگر باتری یا منبع ولتاژ مستقیم E و مولتی‌متر ایده‌آل باشند، ثابت کنید:

$$R_x = \frac{E}{I} - R_s \qquad (۱)$$

آیا در عمل هم چنین است؟ چرا؟

۲- با استفاده از جدول ۱ در هر بار مقدار R_x را از طریق فرمول پرسش قبل به‌دست آورید و درصد خطای نسبی را حساب کنید.

۳- در اغلب مولتی‌مترها، اهم‌متر آن از نوع سری است، چرا؟ چرا درجه‌بندی اهم‌متر عکس درجه‌بندی آمپرمتر است؟

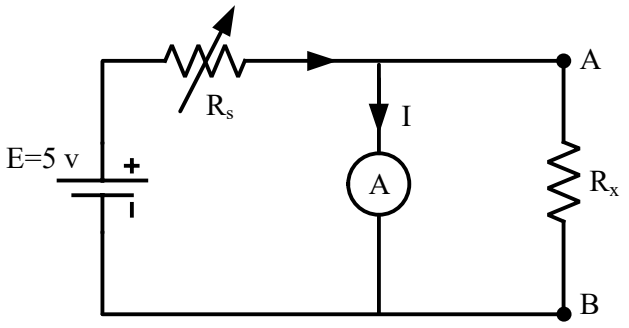
۴- اگر مقاومت درونی مولتی‌متر را R_a و مقاومت درونی منبع مستقیم را R_E بنامیم، رابطه‌ای برای جریان واقعی مدار به‌دست آورید.

۵- آیا از منحنی رسم‌شده در قسمت (ت) می‌توانید مقاومت نصف مقیاس (R_H) را به‌دست آورید؟ اگر جواب مثبت است مقدرا R_H را به‌دست آورید و با مقدار تئوری مقایسه کنید.

آزمایش ۳-۲: اهم‌متر موازی

این نوع اهم‌متر اغلب برای اندازه‌گیری مقاومت‌های کوچک به‌کار می‌رود. در آزمایش دوم به بحث پیرامون این نوع اهم‌متر خواهیم پرداخت.

الف) مدار نشان داده‌شده در شکل ۲ را ببندید که در آن مقدار ولتاژ منبع مستقیم برابر با ۵ ولت بوده و مولتی‌متر را در حالت اندازه‌گیری جریان DC قرار داده‌ایم. مقاومت R_s یک مقاومت متغیر ۵ کیلواهمی است. مقاومت مجهول مورد اندازه‌گیری را بین ترمینال‌های A و B قرار می‌دهیم.



شکل ۲: شمای مداری اهم‌متر سری

ب) ابتدا دو سر A و B را اتصال کوتاه کنید و تحقیق کنید که جریان مولتی‌متر صفر باشد. حال دو سر A و B را مدار باز نگه دارید ($R_x = \infty$) و R_s را آن‌قدر تغییر دهید تا مولتی‌متر جریان ۱ mA را نشان دهد. مقدار R_s را در این حالت اندازه گرفته و یادداشت کنید.

پ) حال مقاومت R_x را ۱۰ تا ۱۰۰ اهم، ده اهم ده اهم تغییر داده و مقدار جریان مولتی‌متر را اندازه‌گیری کنید و بر اساس R_x و جریان اندازه‌گیری (I) جدولی تشکیل دهید.

ت) با استفاده از داده‌های به‌دست آمده در قسمت (پ) نموداری را روی کاغذ شطرنجی یا به‌کمک کامپیوتر ترسیم کنید به‌گونه‌ای که محور افقی آن جریان مولتی‌متر (I) و محور عمودی آن R_x باشد. از این نمودار می‌توان جهت اندازه‌گیری مقاومت مجهول استفاده کرد بدین ترتیب که به‌ازای هر R_x که بین ترمینال‌های A و B وصل می‌گردد جریان I را خوانده و سپس از روی نمودار R_x نظیر آن را به‌دست می‌آوریم.

پرسش‌های آزمایش ۳-۲

۱- چرا اهم‌متر سری برای اندازه‌گیری مقاومت‌های بزرگ و اهم‌متر موازی برای اندازه‌گیری مقاومت‌های کوچک مناسب هستند؟

۲- اگر مقاومت درونی مولتی‌متر R_a و مقاومت درونی منبع مستقیم را R_E باشند، ثابت کنید:

$$I = \frac{ER_x}{(R_E+R_s)(R_a+R_x)+R_xR_a} \quad (۲)$$

۳- آیا از منحنی رسم‌شده در قسمت (ت) آزمایش ۳-۲ می‌توانید مقاومت نصف مقیاس (R_H) را به‌دست آورید؟ اگر پاسخ مثبت است مقدار آن چه‌قدر است؟ آن را با مقدرا حاصل از تئوری مقایسه کنید.

آزمایش شماره ۴: آشنایی با اسیلوسکوپ و عملکرد آن

وسایل لازم: اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور، مولتی‌متر دیجیتال

آزمایش ۴-۱: مشاهده خط مبنا (Base Line)

**** احتیاط:** در هنگام کار با اسیلوسکوپ، همیشه کنترل شدت نور (Intensity) را در کمترین مقدار ممکن خود قرار دهید به‌ویژه در زمانی که فقط یک نقطه رنگی روی صفحه ظاهر می‌گردد. چرا؟

الف) اسیلوسکوپ را به‌کمک دکمه Power روشن کنید و کنترل‌های آن را به‌کمک جدول ۱ در موقعیت مشخص‌شده قرار دهید:

جدول ۱: موقعیت کنترل‌های اسیلوسکوپ

موقعیت	پیچ کنترل
مقدار مناسب	Intensity, Focus
حد وسط	Position
مقدرا مناسب	Time / Div
Auto	Sweep Mode
GND	AC – GND – DC
CH 1	Vert. Mode

به این ترتیب، تقریباً پس از ۱۰ ثانیه یک خط مبنا ظاهر می‌شود. اثر کنترل‌های Intensity, Focus، Scale Illumination، Position و Time/Div را روی این خط مبنا مشاهده و نتیجه را گزارش کنید.

ب) سوییچ Sweep Mode را در حالت Norm قرار دهید. آیا هنوز خط مبنا دیده می‌شود؟ چرا؟

پرسش‌های آزمایش ۴-۱

۱- با تغییر کنترل‌های Intensity, Focus و Position چه اتفاقی درون اسیلوسکوپ می‌افتد؟

آزمایش ۴-۲: مشاهده یک شکل موج

الف) از یک سیگنال ژنرتور یک موج سینوسی با فرکانس f=۱ kHz گرفته و به ورودی CH 1 اسیلوسکوپ وصل کنید. کلید AC-GND-DC را روی DC بگذارید. کنترل‌های Time/Div و Volt/Div را تنظیم کنید (دقت کنید که پیچ‌های Variable Volt/Div و Variable Time/Div باید روی حالت CAL باشند). برای آن‌که شکل موج به‌صورت ثابت دیده شود کلید سه حالته INT-LINE-EXT را روی حالت INT و پیچ کنترل Trigger Level را در حد وسط قرار دهید.

حال یک بار با استفاده از نمودار ظاهر شده بر صفحه اسیلوسکوپ و مقدار Volt/Div موجود، مقدار پیک تا پیک ولتاژ را بخوانید و بار دیگر با کمک مولتی‌متر دیجیتال که آن را در حالت اندازه‌گیری ولتاژ AC قرار داده‌اید مقدار rms مربوط به آن را اندازه‌گیری کنید. سپس ارتباط بین این دو مقدار خوانده‌شده را به‌دست آورید.

ب) پیچ کنترل Trigger Level را در هر دو جهت تغییر دهید و اثر آن را روی شکل موج بیان کنید.

پ) با تغییر پیچ کنترل، میزان DC Offset مربوط به سیگنال ژنراتور را تغییر دهید و اثر آن را روی شکل موج نشان داده شده، بیان کنید. کلید DC-GND-AC را روی حالت AC بگذارید و اثر آن را مشاهده و گزارش کنید.

ت) اثر کنترل‌های متغیر موجود بر کلیدهای Time/Div و Volt/Div را روی فرکانس و دامنه شکل موج مشاهده و گزارش نمایید.

آزمایش ۴-۳: مشاده دو شکل موج

الف) از سیگنال ژنراتور دیگری یک موج سینوسی با فرکانس f=۵ kHz بگیرید و آن را به ورودی CH 2 اسیلوسکوپ بدهید. سوییچ Vert. Mode را روی CH 2 بگذارید و کلید DC-GND-AC مربوط به این کانال را روی حالت DC بگذارید. کنترل‌های Position و Volt/Div مربوط به این کانال را طوری تنظیم کنید که شکل موج را به‌راحتی مشاهده کنید. با اندازه‌گیری پیک تا پیک شکل موج، آن‌را رسم کنید.

ب) کلید polarity را در حالت INV قرار دهید و اثر مشاهده‌شده را گزارش کنید.

پ) اثر سوییچ Trigger Slope را روی شکل موج گزارش کنید.

ت) حال موج اول (آزمایش ۴-۲) را در CH 1 و موج فعلی را در CH 2 نگه دارید و کلید Vert. Mode را در حالت‌های ALT و CHOP قرار دهید و اثر مشاهده شده را گزارش نمایید. فرکانس سیگنال ژنراتور را از چندین هرتز تا صدها کیلوهرتز تغییر دهید. کدام حالت این سوییچ برای فرکانس‌های پایین و کدام حالت آن برای فرکانس‌های بالا مناسب است؟

ث) دکمه Invert مربوط به کانال CH 2 را فشار دهید و کلید Vert. Mode را روی حالت ADD بگذارید. در این حالت شکلی به‌دست می‌آید که تفاضل دو سیگنال است. نتیجه را به‌دقت رسم کنید.

پرسش‌های آزمایش ۴-۳

۱- در قست (ث) آزمایش ۴-۳ اگر می‌خواستیم دو شکل موج را با هم جمع کنیم چه کارهایی باید انجام می‌دادیم؟

آزمایش شماره ۵: اندازه‌گیری فرکانس و اختلاف فاز بین دو موج با اسیلوسکوپ

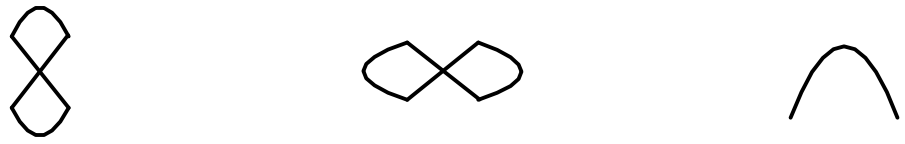
وسایل لازم: اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور، مقاومت ۱ kΩ و خازن ۱۵۰ nf

آزمایش ۵-۱: اندازه‌گیری فرکانس مجهول یک موج

الف) از یک سیگنال ژنراتور موجی سینوسی با فرکانس f=۱ kHz را به ورودی CH 1 یا X اسیلوسکوپ بدهید و کنترل Time/Div را به‌گونه‌ای تنظیم کنید که یک یا دو پریود از آن را ببینید. دوره تناوب سیگنال را از روی اندازه بگیرید و فرکانس آن را محاسبه کنید. خطای نسبی فرکانس سیگنال ژنراتور را تعیین کنید. با استفاده از این روش فرکانس‌های ۶۰ Hz، ۵۰۰ Hz، ۵ kHz و ۱ MHz را اندازه‌گیری کرده و خطای نسبی فرکانس سیگنال ژنراتور را در این فرکانس‌ها به‌دست آورید.

ب) حال می‌خواهیم اندازه‌گیری فرکانس مجهول را با استفاده از منحنی‌های لیساژو انجام دهیم. از یک سیگنال ژنراتور موجی سینوسی با فرکانس $f=f_x=$۱ kHz گرفته و به ورودی CH 1 یا X اسیلوسکوپ بدهید. اقدامات لازم را برای مشاهده راحت این موج انجام دهید. حال از سیگنال ژنراتور دیگری یک موج سینوسی با فرکانس مجهول f_y به ورودی CH 2 یا Y اسیلوسکوپ بدهید و کلید Mode را روی X-Y قرار دهید. فرکانس و دامنه سیگنال مجهول را آن‌قدر عوض کنید تا منحنی لیساژوی به‌دست آمده به شکل خط، دایره و یا بیضی درآید. در هر حالت، فرکانس مجهول را یادداشت کنید. آیا با مقداری که از لحاظ تئوری انتظار دارید مطابقت دارد؟

حال فرکانس مجهول را دوباره آن‌قدر تغییر دهید تا یکی از منحنی‌های شکل ۱ به‌دست آید. در هر یک از این حالت‌ها نیز فرکانس مجهول را یادداشت کنید و با مقداری که از لحاظ تئوری انتظار دارید مقایسه کنید.



(الف) (ب) (پ)

شکل ۱: منحنی‌های مورد انتظار روی اسیلوسکوپ

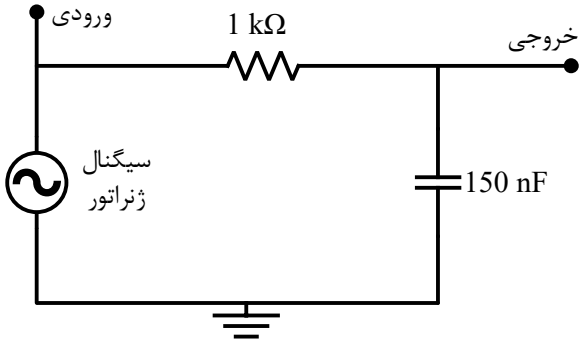
پرسش‌های آزمایش ۵-۱

۱- هنگام تشکیل منحنی‌های لیساژو، چه اتفاقی درون اسیلوسکوپ رخ می‌دهد؟

آزمایش ۵-۲: اندازه‌گیری اختلاف فاز بین دو موج

الف) مدار RC نشان داده شده در شکل ۲ را ببندید. از سیگنال ژنراتور یک موج سینوسی با فرکانس f=۱ kHz را به ورودی مدار بدهید. علاوه بر آن، این موج را به کنال CH 1 یا X اسیلوسکوپ نیز اعمال کنید و سعی نمایید آن را روی صفحه مشاهده نمایید. حال کلید

سه حالته AC-GND-DC را روی GND بگذارید و خط افقی ظاهرشده را دقیقاً روی محور افقی منطبق کنید. سپس کلید را روی AC یا DC برگردانید. شکل موج سینوسی مشاهده‌شده باید کاملاً نسبت به محور افقی متقارن باشد. حال خروجی مدار شکل ۱ را به کانال CH 2 یا Y اسیلوسکوپ بدهید و مشابه موج ورودی آن را حول محور افقی به‌صورت متقارن درآورید. سپس کلید Mode را روی X-Y قرار دهید تا منحنی لیساژو به‌دست آید و به‌کمک آن اختلاف فاز بین دو موج را اندازه بگیرید.



شکل ۲: مدار RC برای اندازه‌گیری اختلاف فاز بین دو موج

پرسش‌های آزمایش ۵-۲

۱- با آنالیز مدار RC شکل ۱، اختلاف فاز بین ورودی و خروجی را به‌دست آورید و با مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه نمایید.

۲- فرض کنید سیگنال $x(t) = A\sin\omega t$ را به ورودی X و سیگنال $y(t) = B\sin(\omega t + \varphi)$ را به ورودی Y اسیلوسکوپ بدهیم. با رسم شکل‌های مناسب، به هریک از پرسش‌های زیر پاسخ دهید:

الف) فرض کنید $A = B$ و $\varphi = \frac{\pi}{2}$ باشد. با حذف زمان بین دو معادله بالا به معادله یک دایره برسید.

ب) فرض کنید $A \neq B$ و $\varphi = 0$ باشد. با حذف زمان بین دو معادله بالا به معادله یک خط برسید. ضریب زاویه این خط چه‌قدر است؟

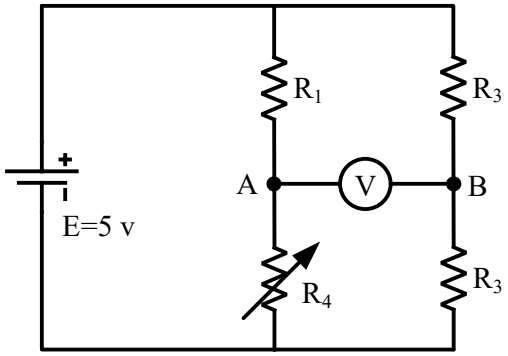
پ) فرض کنید $A \neq B$ و $\varphi = \frac{\pi}{2}$ باشد. با حذف زمان بین دو معادله بالا به معادله یک بیضی برسید. در چه صورت این بیضی افقی و در چه صورت عمودی است؟

آزمایش شماره ۶: بررسی پل‌های جریان مستقیم و متناوب

وسایل لازم: منبع ولتاژ مسقیم و متناوب، مولتی‌متر دیجیتال، مقاومت‌های متغیر و ثابت، سلف ۴/۷ mH و خازن ۱۵ nF

آزمایش ۶-۱: پل DC

الف) پل نشان داده شده در شکل ۱ که به‌نام پل وتستون مشهور است و برای اندازه‌گیری مقاومت مجهول به‌کار می‌رود را ببندید. مقدار عناصر آن را چنین برگزینید: R_3=۱ kΩ، $R_1 = R_2$ = ۷۲۰ Ω و E=۵ v و R_4 را یک مقاومت متغیر ۱ کیلواهمی بگیرید.



شکل ۱: مدار پل وتستون

ب) مقاومت متغیر R_4 را به‌گونه‌ای تغییر دهید که مولتی‌متر بین ترمینال‌های A و B مقدار ولتاژ صفر را نشان بدهد. مقدار R_4 را در این حالت تعادل، اندازه‌گیری و یادداشت نمایید.

پ) ولتاژ منبع را به ۱۰ ولت افزایش دهید و قسمت (ب) را تکرار کنید و مقدار R_4 را به‌دست آورید.

ت) مقاومت R_2 را با یک مقاومت مجهول جایگزین کنید و با تغییر دادن R_4 و ایجاد حالت تعادل در پل، مقدار این مقاومت مجهول را محاسبه کنید.

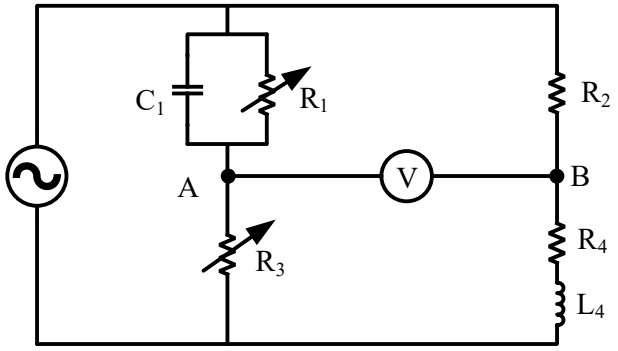
پرسش‌های آزمایش ۶-۱

۱- با بیان تمامی محاسبات، رابطه تعادل پل را به‌دست آورید و سپس مقدار R_4 اندازه‌گیری شده در قسمت (ب) را با مقدار تئوری آن مقایسه و علت اختلاف آن‌ها را بیان کنید.

۲- R_4های به‌دست‌آمده را در قسمت‌های (ب) و (پ) با هم مقایسه کنید.

آزمایش ۶-۲: پل ac

الف) پل نشان داده شده در شکل ۲ را که به‌نام پل ماکسول مشهور است ببندید که در آن منبع ورودی دارای دامنه ۳ ولت پیک تا پیک و فرکانس ۱ kHz است. مقادیر عناصر مداری را چنین برگزینید: L_4=۴/۷ mH، R_4=۲۰ Ω، R_2=۱ kΩ و C_1=۱۵ nF.



شکل ۲: مدار پل ماکسول

ب) حال مقاومت‌های متغیر R_1 و R_3 را به‌گونه‌ای تغییر دهید که مولتی‌متر دیجیتال بین ترمینال‌های A و B مقدار صفر را نشان بدهد. لازم به ذکر است که در این حالت مولتی‌متر باید روی حالت اندازه‌گیری ولتاژ ac باشد. مقدار R_1 و R_3 را در حالت تعادل پل، اندازه‌گیری و یادداشت نمایید.

پرسش‌های آزمایش ۶-۲

۱- با بیان تمامی محاسبات، رابطه تعادل پل را نوشته و روابطی برای R_1 و R_3 به‌دست آورید.

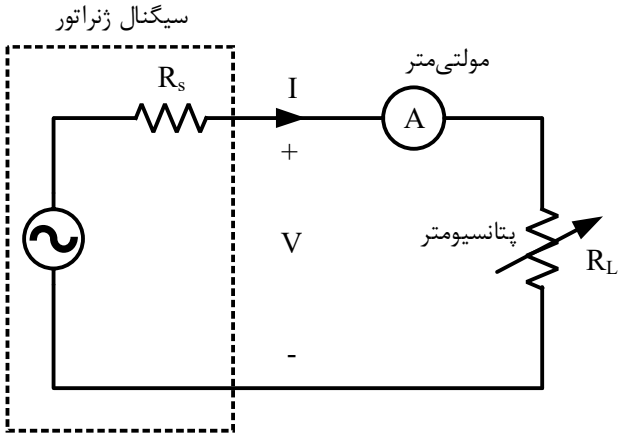
۲- چرا مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر تئوری تفاوت دارند؟

آزمایش شماره ۷: بررسی ماکزیمم توان انتقالی

وسایل لازم: اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور، مولتی‌متر دیجیتال، پتانسیومتر ۱۰ kΩ، مقاومت‌های ۵۰ Ω، ۱۰۰ Ω، ۴۷۰ Ω، ۵۶۰ Ω، ۱ kΩ، ۲/۲ kΩ، ۳/۳ kΩ، ۴/۷ kΩ، ۵/۶ Ωk و ۱۰ kΩ

آزمایش ۷-۱: ماکزیمم توان انتقالی در یک مدار

الف) مدار نشان داده شده در شکل ۱ را ببندید. سیگنال ورودی را یک موج سینوسی با فرکانس ۱ kHz بگیرید و دامنه آن را به‌گونه‌ای تنظیم کنید که در حالت بی‌باری ($R_L = \infty$) ولتاژ V برابر با ۵ ولت پیک تا پیک گردد.



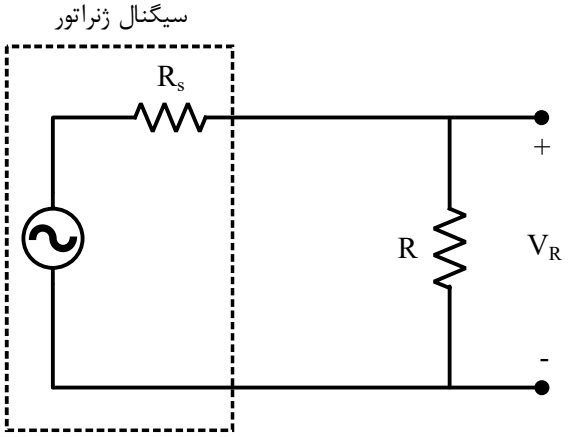
شکل ۱: شمای مداری آزمایش ۷-۱ برای بررسی ماکزیمم توان انتقالی

ب) پتاسیومتر R_L را در مدار قرار دهید. به‌وسیله آمپرمتر دیجیتال جریان مدار را اندازه‌گیری کرده و به‌وسیله اسیلوسکوپ ولتاژ V را مشاهده نمایید. با تغییر دادن پتانسیومتر، جریان مدار را برابر با ۰/۱، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌آمپر قرار دهید و در هر مورد ولتاژ پیک تا پیک V را به‌وسیله اسیلوسکوپ اندازه‌گیری کرده و در جدول ۱ یادداشت نماید (لازم به ذکر است که مولتی‌متر، جریان را بر حسب rms اندازه می‌گیرد).

جدول ۱: مقادیر به‌دست آمده برای ولتاژ پیک تا پیک V به‌ازای مقادیر مختلف جریان

I (rms) میلی‌آمپر	۰/۱	۰/۵	۱	۲
V (p-p) ولت				

پ) مدار شکل ۲ را ببندید که در آن سیگنال ورودی یک موج سینوسی با فرکانس ۱ kHz می‌باشد. دامنه سیگنال ورودی را در حالت بی‌باری ($R = \infty$) برابر با ۵ ولت پیک تا پیک انتخاب کنید.



شکل ۲: شمای مداری قسمت (پ) آزمایش ۷-۱

مطابق جدول ۲، مقاومت‌های مختلفی را برای R قرار دهید و در هر مورد ولتاژ پیک تا پیک V_R را توسط اسیلوسکوپ اندازه‌گیری و یادداشت کنید:

جدول ۲: مقادیر اندازه‌گیری شده برای V_R به‌ازای مقادیر مختلف R

R	۱۰ kΩ	۵/۶ kΩ	۴/۷ kΩ	۳/۳ kΩ	۲/۲ kΩ	۱ kΩ	۵۶۰ Ω	۴۷۰ Ω	۱۰۰ Ω	۵۰ Ω
V_R (p-p)										

پرسش‌های آزمایش ۷-۱

۱- با توجه به اطلاعات مندرج در جدول ۱، مقاومت داخلی سیگنال ژنراتور (R_s) را به‌دست آورید. توجه کنید که جریان اندازه‌گیری شده rms و ولتاژ اندازه‌گیری شده پیک تا پیک است.

۲- با توجه به جدول ۱، ولتاژ V را بر حسب جریان I (هر دو پیک تا پیک یا هر دو rms) روی کاغذ شطرنجی یا به‌وسیله کامپیوتر ترسیم کنید. این منحنی را منحنی رگولاسیون سیگنال ژنراتور گویند. از روی این منحنی، R_s را به‌دست آورید.

۳- با توجه به فرمول زیر درصد رگولاسیون را هنگامی‌که جریان بار برابر با ۱ mA است به‌دست آورید:

$$\%r = \text{درصد رگولاسیون} = \frac{V_{\text{بدون بار}} - V_{\text{با بار}}}{V_{\text{بدون بار}}} \times 100 \qquad (۱)$$

۴- از نظر تئوری مقدار مقاومت بار R_L در شکل ۱ را برای آنکه حداکثر توان توسط منبع با مقاومت داخلی R_s به آن منتقل شود، به‌دست آورید.

۵- با توجه به اطلاعات مندرج در جدول ۲ توان منتقل‌شده به مقاومت بار (P) را در هریک از اندازه‌گیری‌ها محاسبه کرده و منحنی توان را بر حسب مقاومت R روی کاغذ شطرنجی یا به‌وسیله کامپیوتر ترسیم کنید. با توجه به این منحنی، هنگامی که توان P حداکثر است مقدار مقاومت R چه‌قدر است؟

۶- نتایج به‌دست آمده در پرسش‌های ۴ و ۵ را با هم مقایسه کرده و در صورت مشاهده اختلاف بین مقادیر تئوری و عملی، علت آن را شرح دهید.

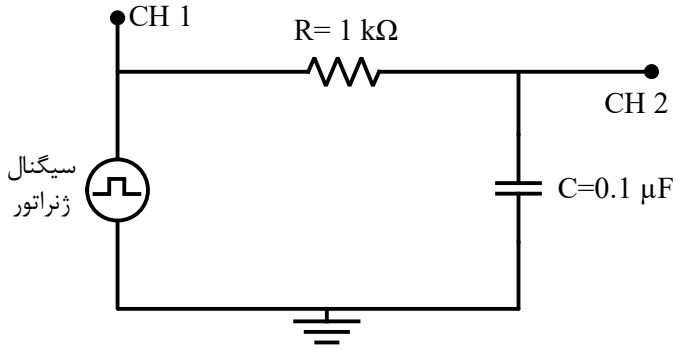
۷- فرض کنید یک منبع تغذیه با مقاومت داخلی $Z_s = R_s + jX_s$ را به بار $Z_L = R_L + jX_L$ وصل کرده‌ایم. در چه صورت حداکثر توان به بار منتقل می‌شود؟ محاسبات را به‌طور کامل انجام دهید.

آزمایش شماره ۸: بررسی پاسخ پله مدارهای RC

وسایل لازم: اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور، مقاومت‌های یک و دو کیلواهمی، خازن ۰/۱ µF

آزمایش ۸-۱: پاسخ پله مدار RC سری

الف) مدار نشان داده شده در شکل ۱ را ببندید و از سیگنال ژنراتور یک موج مربعی با دامنه ۵ v± (۱۰ ولت پیک تا پیک) بگیرید و آن را به ورودی مدار و نیز ورودی CH 1 اسیلوسکوپ بدهید و خروجی مدار را نیز به ورودی CH 2 بدهید. کلید AC-GND-DC را روی DC بگذارید. فرکانس موج ورودی را f=۵۰۰ Hz اختیار کنید.



شکل ۱: مدار RC سری

ب) شکل موج‌های ورودی و خروجی را روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده و آن‌ها را رسم کنید.

پ) چگونه می‌توان توسط اسیلوسکوپ ولتاژ دو سر مقاومت R را دید؟ آن‌را ببینید و شکل آن را ترسیم کنید.

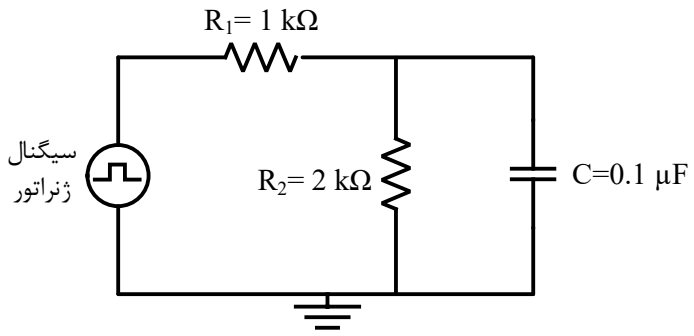
ت) به‌کمک شکلی که در قسمت (پ) مشاهده می‌کنید، ثابت زمانی مدار را به‌دست آورید و با مقداری که از لحاظ تئوری انتظار دارید مقایسه کنید. علت اختلاف چیست؟

ث) در مدرا شکل ۱ به جای خازن معلوم ۱ µF یک خازن مجهول بگذارید و کماکان ورودی را یک موج مربعی با دامنه ۵ v± بگیرید و فرکانس آن را آن‌قدر تغییر دهید تا دامنه ولتاژ دو سر خازن ۲/۵ v± (۵ ولت پیک تا پیک) گردد. از روی صفحه اسیلوسکوپ فرکانس و دوره تناوب موج ورودی را در این حالت به‌دست آورید و به کمک آن مقدار خازن مجهول را محاسبه و با مقدار واقعی که به‌کار بردید مقایسه کنید.

ج) در مدرا شکل ۱ با استفاده از آنالیز مداری که در درس مدارهای الکتریکی فراگرفته‌اید، معادلات ولتاژ دو سر خازن، جریان مدار و ولتاژ دو سر مقاومت را به‌دست آورید. بین ولتاژ دو سر خازن و مقاومت چه ارتباطی وجود دارد؟

آزمایش ۸-۲: پاسخ پله مدار RC موازی

الف) حال مدار نشان داده شده در شکل ۲ را ببندید و دامنه منبع ولتاژ مربعی ورودی را ۵± v قرار دهید (۱۰ ولت پیک تا پیک) و فرکانس آن را روی f=۵۰۰ Hz تنظیم کنید. شکل موج ولتاژ دو سر خازن را مشاهده و آن را ترسیم کنید و به‌کمک آن ثابت زمانی مدار را اندازه بگیرید و با مقداری که از لحاظ تئوری انتظار دارید مقایسه کنید.



شکل ۲: مدار RC موازی

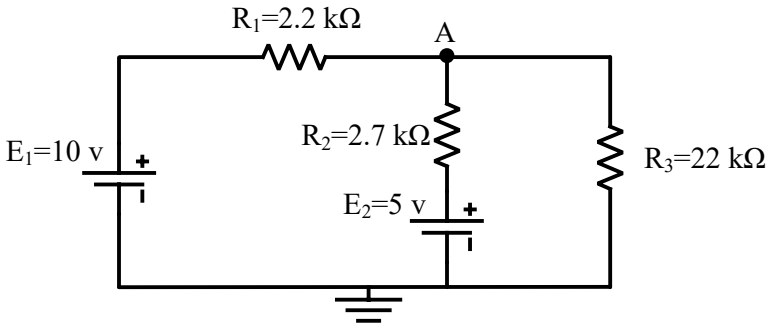
ب) مدار شکل ۲ را با استفاده از روش‌های آنالیز مداری، تجزیه و تحلیل کنید و روابطی برای ولتاژ دو سر خازن و جریان مقاومت R_1 به‌دست آورید.

آزمایش شماره ۹: بررسی قانون جمع آثار و مدار معادل تونن و نورتن

وسایل لازم: منبع ولتاژ مستقیم، مولتی‌متر دیجیتال، مقاومت‌های ۲/۲ kΩ، ۲/۷ kΩ، ۲۲ kΩ، ۲۲۰ Ω، ۶۸۰ Ω و ۱۰۰ Ω

آزمایش ۹-۱: قانون جمع آثار در یک مدار مقاومتی برای ولتاژ یک نقطه از مدار

طبق قانون جمع آثار، در یک مدار خطی ولتاژ دو سر یک المان یا جریان عبوری از آن برابر با جمع جبری ولتاژها یا جریان‌های عبوری از هر منبع مستقل به‌طور مستقل می‌باشد. مدار نشان داده شده در شکل ۱ را ببندید:



شکل ۱: مدار مقاومتی برای بررسی قانون جمع آثار در آزمایش ۹-۱

الف) فقط منبع ولتاژ E_1 را در مدار قرار دهید و ولتاژ نقطه A را به‌دست آورده و در جدول ۱ یادداشت نمایید.
ب) فقط منبع ولتاژ E_2 را در مدار قرار دهید و ولتاژ نقطه A را به‌دست آورده و در جدول ۱ یادداشت نمایید.
پ) هر دو منبع ولتاژ را در مدار قرار دهید و ولتاژ نقطه A را به‌دست آورده و در جدول ۱ یادداشت نمایید.

جدول ۱: مقادیر به‌دست آمده برای ولتاژ نقطه A

منبع	ولتاژ نقطه A تئوری	ولتاژ نقطه A اندازه‌گیری شده	درصد خطا
با حضور فقط E_1=۱۰ v			
با حضور فقط E_2=۵ v			
با حضور هر دو منبع E_1 و E_2			

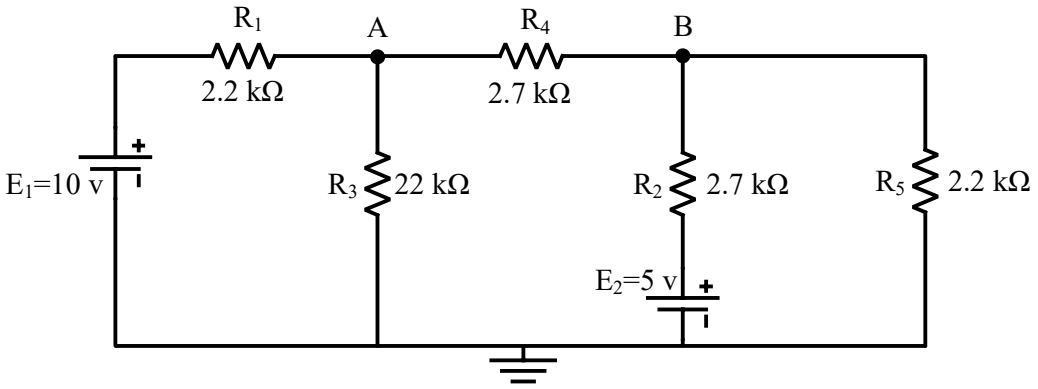
در مدار شکل ۱ قانون جمع ثار را از نظر تئوری و عملی بررسی کنید. سپس نتایج حال از محاسبات تئوری را با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه نمایید.

پرسش‌های آزمایش ۹-۱

۱- دلیل به‌وجود آمدن خطا بین مقادیر تئوری و مقادیر حاصل از اندازه‌گیری چیست؟

آزمایش ۹-۲: قانون جمع آثار در یک مدار مقاومتی برای ولتاژ دو نقطه از مدار

مدار نشان داده شده در شکل ۲ را ببندید و آزمایش قسمت قبل را این بار برای این مدار تکرار کنید با این تفاوت که در این آزمایش، ولتاژ دو نقطه A و B مد نظر است. سپس جدول ۲ را کامل کنید.



شکل ۲: شمای مداری آزمایش ۹-۲ برای بررسی قانون جمع آثار برای ولتاژ بین دو نقطه از مدار

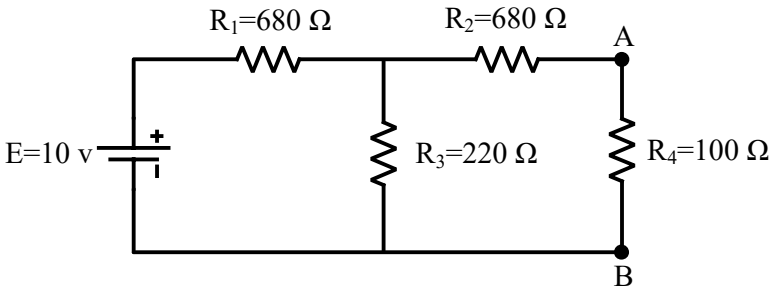
جدول ۲: مقادیر به‌دست آمده برای ولتاژ دو نقطه A و B

منبع	ولتاژ نقطه A تئوری	ولتاژ نقطه A اندازه‌گیری شده	درصد خطا	ولتاژ نقطه B تئوری	ولتاژ نقطه B اندازه‌گیری شده	درصد خطا
با حضور فقط E_1=۱۰ v						
با حضور فقط E_2=۵ v						
با حضور هر دو منبع E_1 و E_2						

در مدار شکل ۲ قانون جمع آثار را از نظر تئوری و عملی بررسی کنید. سپس نتایج حال از محاسبات تئوری را با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه نمایید.

آزمایش ۹-۳: مدار معادل تونن و نورتن

الف) مدار نشان داده شده در شکل ۳ را ببندید. با اتصال کوتاه کردن دو نقطه A و B جریان I_{SC} (جریان اتصال کوتاه بین این دو نقطه) را اندازه گرفته و سپس با مدار باز کردن دو نقطه A و B ولتاژ V_{OC} (ولتاژ مدار باز) را با ولت‌متر اندازه‌گیری کنید. در انتها با داشتن V_{OC} و I_{SC} مقدار مقاومت R_{TH} را محاسبه نمایید.



شکل ۳: بررسی مدار معادل تونن و نورتن

ب) منبع تغذیه ۱۰ v را از مدار جدا کرده و به‌جای آن یک سیم قرار دهید. توسط اهم‌متر مقاومت R_{TH} از دو سر A و B را اندازه‌گیری و یادداشت نمایید. سپس نتیجه به‌دست آمده را با قسمت (الف) مقایسه نمایید.

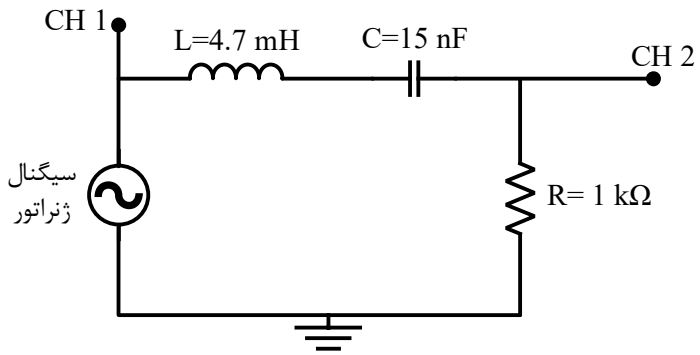
پ) معادل تونن و نورتن مدار را از دو سر A و B به‌صورت تئوری محاسبه کنید.

آزمایش شماره ۱۰: بررسی مدارهای تشدید سری و موازی

وسایل لازم: اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور، مقاومت ۱ kΩ، خازن ۱۵ nF، سلف ۴/۷ mH

آزمایش ۱۰-۱: مدار تشدید سری

الف) مدار نشان داده شده در شکل ۱ را ببندید و یک موج سینوسی با دامنه ۳ ولت پیک تا پیک به ورودی مدار و نیز کانال CH 1 اسیلوسکوپ بدهید (اندازه دامنه موج را وقت مدار قطع است اندازه بگیرید). خروجی مدار را نیز به کانال CH 2 بدهید. مقاومت درونی منبع و مقاومت اهمی سلف را اندازه گرفته و یادداشت کنید.



شکل ۱: مدار تشدید سری

ب) از طریق اسیلوسکوپ فرکانس موج ورودی را در مقادیر ۱۰۰، .....، ۳۰، ۲۰، ۱۰ = f کیلوهرتز قرار داده و اندازه پیک تا پیک موج خروجی (ولتاژ دو سر مقاومت) را در هر فرکانس اندازه‌گیری کرده و یادداشت کنید.

پ) از روی داده‌های قسمت (ب) منحنی پیک تا پیک دامنه خروجی بر حسب فرکانس ورودی را روی کاغذ شطرنجی یا به‌وسیله کامپیوتر ترسیم کنید.

ت) با توجه به منحنی ترسیم شده در قسمت قبل، فرکانس تشدید و فرکانس‌های قطع بالا و پایین مدار را به‌دست آورید (فرکانس تشدید فرکانسی است که در آن دامنه خروجی ماکزیمم گردد و فرکانس‌های قطع بالا و پایین هم فرکانس‌هایی هستند که در آن‌ها دامنه خروجی $\frac{1}{\sqrt{2}}$ مقدارماکزیمم خود گردد. فرکانس قطع بالا بزرگ‌تر و فرکانس قطع پایین کوچک‌تر از فرکانس تشدید است. اختلاف بین فرکانس‌های قطع بالا و پایین مدار را پهنای باند گویند).

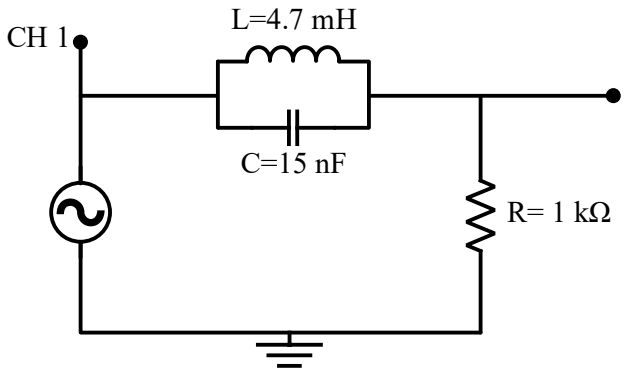
ث) فرض کنید مقاومت اهمی سلف r و مقاومت درونی منبع r_s باشد. با آنالیز مدار شکل ۱ رابطه‌ای برای فرکانس تشدید به‌دست آورید. مقدار به‌دست آمده از طریق تئوری را با مقداری که از اندازه‌گیری به‌دست آمده بود را مقایسه کنید.

ج) با آنالیز مدار شکل ۱، پهنای باند را به‌دست آورده و با مقداری که از اندازه‌گیری به‌دست می‌آید مقایسه کنید.

چ) ضیب کیفیت (Q) مدار را به‌دست آورید و از روی آن پهنای باند را به‌دست آورده و با مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه کنید.

آزمایش ۱۰-۲: مدار تشدید موازی

مدار نشان داده شده در شکل ۲ را ببندید و تمامی ۷ مرحله آزمایش ۱۰-۱ را برای آن انجام دهید.



شکل ۲: مدار تشدید موازی