



دستور کار آزمایشگاه اندازه‌گیری و مدارهای الکتریکی

تهیه و تدوین

گروه مهندسی سیستم‌های انرژی الکتریکی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

۱۳۲۶

دانشگاه تبریز

مهر ۱۴۰۵

سپاسگزاری

با قدردانی از تمامی مشارکت کنندگان ذیل، این دستورکار با همکاری دکتر وحید نعمت زاده، دکتر عطاءالله صمدیان و مهندس سینا نبی قدیم تهیه و تدوین شده است.

مشارکت کنندگان به ترتیب حروف الفبا

الف) مشارکت کنندگان کنونی

کارشناسان آزمایشگاه

مهندس غلامرضا پیرو پیران

مهندس ابراهیم شغلی

استادان گروه مهندسی برق

دکتر هادی آقایی

دکتر رضا پاشائی

دکتر سینا رودنیل

دکتر عطاءالله صمدیان

دکتر وحید نعمت زاده

مهندس سینا نبی قدیم

مهندس حسین عبدی

ب) مشارکت کنندگان پیشین

مهندس قاسم اهرابیان

دکتر محمدباقر بناشریفیان

دکتر کاظم زارع

دکتر سعید قاسم زاده

دکتر سجاد گلوانی

دکتر محمدرضا فیضی

دکتر محمدعلی طینتی

مهندس محمد میرزایی

۱۳۲۶

دانشگاه تبریز

فهرست مطالب

۱	نکات ایمنی هنگام کار در آزمایشگاه‌های برق.....
۲	شیوه نوشتن گزارش کار آزمایشگاه.....
۳	مقدمه.....
۹	آشنایی با تجهیزات آزمایشگاه.....
۱۷	آزمایش ۱: بررسی قانون اهم، تقسیم ولتاژ، تقسیم جریان و اصل جمع آثار.....
۱۹	آزمایش ۲: بررسی مدار معادل تونن و نورتن و قضیه حداکثر انتقال توان.....
۲۲	آزمایش ۳: بررسی رفتار گذرای مدار مرتبه اول و مدارهای انتگرال گیر و مشتق گیر.....
۲۵	آزمایش ۴: بررسی رفتار گذرای مدار مرتبه دوم و تعیین فرکانس تشدید.....
۲۷	آزمایش ۵: بررسی رفتار گذرای مدار مرتبه دوم و تعیین فرکانس تشدید.....
۳۰	آزمایش ۶: اندازه‌گیری ظرفیت خازن-ضرب خودالقایی-ضرب القای متقابل.....
۳۵	آزمایش ۷: اندازه‌گیری توان در مدارهای الکتریکی.....

۱۳۲۶

دانشگاه تبریز

نکات ایمنی هنگام کار در آزمایشگاه‌های برق

- پیش از هرگونه تغییر در مدار، منبع تغذیه را خاموش و از بی‌برق بودن مدار اطمینان حاصل کنید. 
- پس از تأیید استاد آزمایشگاه مجاز به وصل منبع تغذیه و شروع آزمایش هستید. 
- منبع تغذیه آخرین بخش مدار است که متصل می‌شود و اولین بخشی از مدار است که قطع می‌گردد. 
- تمام سیم‌ها، قطعات و تجهیزات مدار همیشه باید برق‌دار تصور شوند، مگر آن که یقین حاصل شود که بی‌برق هستند. 
- سیم‌ها را از روی اجسام متحرک یا در حال چرخش عبور ندهید و آن‌ها را بر روی زمین و یا جایی که محل رفت‌وآمد است، رها نکنید. 
- هرگز آمپر متر را به صورت موازی و ولت متر را به صورت سری در مدار قرار ندهید. 
- در هنگام کار، به قسمت‌های در حال چرخش موتور و ژنراتور نزدیک نشوید. 
- فقط استفاده از ابزار و دستگاه‌هایی که در محیط آزمایشگاه وجود دارد، مجاز است. اگر نیاز به استفاده از ابزار دیگری دارید باید مجوز لازم را از کارشناس آزمایشگاه کسب کنید. همچنین، از جابه‌جا نمودن وسایل آزمایشگاه خودداری کنید. 
- هرگز با دست خیس یا مرطوب کار نکنید و از دستکش عایق الکتریکی استفاده نمایید. 
- حتی‌المقدور از یک دست برای باز و بسته کردن مدار استفاده شود. 
- در هنگام کار از اشیای رسانا مانند ساعت با بند فلزی، حلقه، زنجیر و دست‌بند، قلم با بدنه فلزی، خط‌کش فلزی و ... استفاده نکنید. موهای بلند باید حتماً در پشت سر کاملاً جمع و بسته شوند. 
- خوردن، آشامیدن، شوخی کردن و استفاده از تلفن همراه در آزمایشگاه مطلقاً ممنوع است. 
- در هنگام کار مواظب باشید بدن شما با میز کار و تجهیزات الکتریکی در تماس نباشد. 
- هر نوع خرابی احتمالی در تجهیزات را سریعاً به استاد یا کارشناس آزمایشگاه گزارش کنید. در صورت نیاز به تعویض و یا تعمیر قطعات، به کارشناس آزمایشگاه اطلاع دهید. دانشجو نباید اقدام به این کار کند. 
- در هر جلسه کلاس، فقط دانشجویان ثبت‌نام‌شده در آزمایشگاه مربوط به آن جلسه مجاز به حضور هستند و حضور سایر دانشجویان به هر عنوان ممنوع می‌باشد. 
- برای ترک آزمایشگاه و یا ورود دوباره به آزمایشگاه به استاد یا کارشناس آزمایشگاه اطلاع دهید. 
- فقط در میز کار تعیین‌شده خود حضور یابید و از جابه‌جایی یا تجمع در یک میز خودداری نمایید. 
- هرگز از سیم‌های زخمی یا اتصالات لق استفاده نکنید. 
- استفاده از این دستور کارها برای انجام آزمایش با حضور و اجازه استاد و کارشناس آزمایشگاه خواهد بود. 

شیوه نوشتن گزارش کار آزمایشگاه

گزارش کار آزمایش ها باید بدین قالب باشد:

۱ عنوان آزمایش

۲ نویسنده: نام و نام خانوادگی - شماره دانشجویی

۳ مقدمه و هدف آزمایش

۴ وسایل مورد نیاز

۵ شرح انجام آزمایش

۶ نتایج

۷ پاسخ پرسش های دستور کار

۸ نتیجه گیری



۱۳۲۶

دانشگاه تبریز

مقدمه

آشنایی با برخی از عناصری که در مدارها به کار می‌روند.

الف) مقاومت

۱- مقاومت های کربنی

این مقاومت‌ها در اکثر مدارهای الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع مقاومت‌ها، ارزان‌ترین نوع مقاومت‌های موجود در بازار هستند.

از مقاومت‌های کربنی برای توان‌های پایین تا متوسط استفاده می‌شود. توان‌های از ۰/۱۲۵ وات تا ۳ وات در بازار موجود هستند. این مقاومت، مقدار اندوکتانس پایینی دارند. به همین دلیل برای کاربردهای فرکانس بالا بسیار مناسب هستند.

از نقاط ضعف این مقاومت‌ها می‌توان به نویز و ناپایداری آنها در دماهای بالا اشاره کرد که همین امر باعث می‌شود از این مقاومت‌ها در مداراتی که حساسیت و دقت بالا مورد نیاز است، کمتر استفاده شود.



نوارهای رنگی:

مقاومت‌های کم توان دارای ابعاد کوچکی هستند و به همین دلیل مقدار مقاومت و تolerانس آنها را به وسیله نوارهای رنگی مشخص می‌کنند.

این روش که معمول‌تر هم است برای تعیین اهم و تolerانس مقاومت‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش از دو رنگ اول برای عدد، رنگ سوم برای ضریب و رنگ چهارم برای تolerانس استفاده می‌شود. در شکل زیر تمامی رنگ‌های به کار رفته در مقاومت‌های رنگی چهار نوازی و همچنین عدد معادل هر رنگ، در هر نوار کاملاً مشخص شده است. توجه داشته باشید که رنگ اولین نوار نمی‌تواند سیاه باشد. همچنین اگر رنگ چهارم وجود نداشته باشد، نوار چهارم، بی رنگ محسوب می‌شود و تolerانس آن ۲۰٪ در نظر گرفته می‌شود.

مقاومت‌های ثابت معمولاً در اندازه و استانداردهای مشخص ساخته می‌شوند. اندازه استاندارد مقاومت‌ها عبارتند از:

ضرایب	۸/۲	۶/۸	۵/۶	۴/۷	۳/۹	۳/۳	۲/۷	۲/۲	۱/۸	۱/۲	۱
۱۰											
۱۰۰											
۱۰۰۰											

نوار چهارم	نوار سوم	نوار دوم	نوار اول
سیاه	۱	۰	سیاه
قهوه‌ای	۱۰	۱	۱
±۲٪ قرمز	۱۰۰	۲	۲
نارنجی	۱۰۰۰	۳	۳
زرد	۱۰۰۰۰	۴	۴
سبز	۱۰۰۰۰۰	۵	۵
آبی	۱۰۰۰۰۰۰	۶	۶
بنفش	طلایی	۷	۷
±۵٪ طلایی	۰/۱	۸	۸
نقره‌ای	۰/۰۱	۹	۹
±۱۰٪ نقره‌ای			سفید

در ادامه برای روشن تر شدن مطلب مثال هایی ذکر شده است.

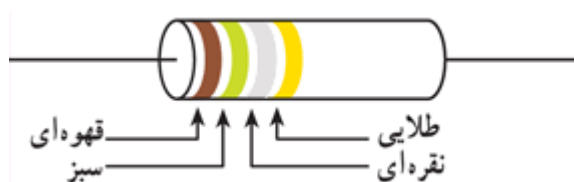
مثال ۱ مقدار اهم و تolerانس مقاومت نشان داده شده در شکل زیر چقدر است؟



$$R = 56 \times 1000 \Omega \pm \%10 = 56000 \Omega \pm \%10 = 56K\Omega \pm \%10$$

بنابراین مقدار اهم این مقاومت ۵۶ کیلو اهم و تolerانس آن ۱۰٪ است.

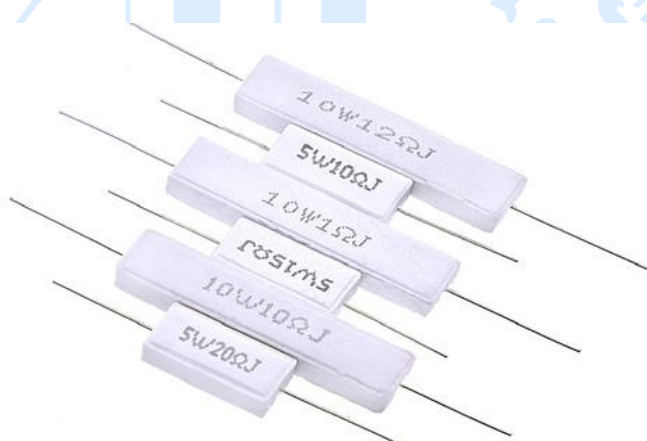
تمرین مقدار اهم و تolerانس مقاومت نشان داده شده در شکل زیر چقدر است ؟



۲- مقاومت آجری

جنس این مقاومت‌ها معمولاً از نیکل کروم است و معمولاً دارای یک روکش سرامیکی یا آجری هستند و به همین دلیل به مقاومت آجری معروف هستند. ظرفیت اهمی و توان این مقاومت‌ها به صورت عدد بر روی آنها چاپ می‌شود.

این مقاومت‌ها از یک وات تا ده‌ها وات در بازار موجود هستند. نکته حائز اهمیت در مورد این مقاومت‌ها این است که ممکن است در مدارات تا حد زیادی گرم یا داغ شوند و هنگام طراحی مدار باید محل مناسبی برای نصب آنها در نظر گرفته شود.



۳- وریستور

مقاومت‌های وابسته به ولتاژ یا وریستورها، مقاومت‌هایی هستند که مقدار آنها در ولتاژهای مختلف ثابت نیست و تغییر می‌کند. در این مقاومت‌ها هر چه ولتاژ دو سر مقاومت بیشتر شود، مقدار مقاومت کاهش می‌یابد.

از وریستور در مدارهای الکترونیکی برای کنترل و حفاظت از قطعات الکترونیکی در مقابل صدمات ناشی از ولتاژ گذرای بیش از اندازه، استفاده می‌شود. زمانی که می‌خواهید از وریستور به عنوان محافظ یک قطعه استفاده کنید، باید آن را بصورت موازی با قطعه موردنظر قرار دهید. با این کار در صورتی که اضافه ولتاژ روی قطعه بیافتد، مقاومت وریستور کاهش می‌یابد و جریان زیادی از وریستور می‌گذرد و جریان از قطعه موردنظر نمی‌گذرد.

همچنین از وریستورها جهت خنثی کردن حالت‌های گذرای تحمیل شده بر قسمت‌های حساس دستگاه‌های خانگی و روشنایی و تجهیزات صنعتی در هر دو حالت AC و DC استفاده می‌شود. وریستورها مستقیماً به طور موازی با منابع تغذیه اصلی و کلیدهای نیمه هادی جهت حفاظت ترانزیستورها، ماسفت‌ها و پل‌های تریستور قرار می‌گیرند.



۴- مقاومت‌های SMD

مقاومت‌های SMD نوع دیگری از مقاومت‌ها هستند که بر روی مدارات الکترونیکی به صورت نصب سطحی لحیم‌کاری می‌شوند.

این مقاومت‌ها در بردهای مدار چاپی با رنگ مشکی و چند عدد در وسط مشخص می‌شوند. به دلیل ابعاد کوچک این نوع مقاومت‌ها، در اکثر دستگاه‌های پرتابل امروزی و در دستگاه‌هایی که به نوعی محدودیت فضا وجود دارد از آنها استفاده می‌شود.

این مقاومت‌ها در پکیج‌های ۰۴۰۲، ۰۶۰۳، ۰۸۰۵، ۱۲۰۶ و ... در بازار وجود دارند. توان این مقاومت‌ها بسته به سایز آنها از ۰/۰۳ وات تا ۰/۱۲۵ وات متغیر است.



۵- پتانسیومترها

پتانسیومتر از یک المان مقاومتی دوار که درون محفظه‌ای قرار گرفته، ساخته شده است. دو پایه به دو انتهای این المان متصل است که مقدار مقاومت بین این دو پایه همواره ثابت و برابر مقدار اهمی پتانسیومتر است. بین این دو پایه، یک پایه دیگر وجود دارد که به یک کنتاکت متحرک متصل است و این کنتاکت متحرک می‌تواند بر روی المان مقاومتی حرکت کند و سبب تغییر مقاومت بین پایه وسط و هر کدام از پایه‌های کناری گردد.

بیشترین کاربرد پتانسیومترها، برای تقسیم ولتاژ است. به عنوان مثال در دستگاه‌های صوتی از پتانسیومتر برای تغییر حجم صدا استفاده می‌شود.

اغلب پتانسیومترها دارای زاویه چرخش تقریبی ۳۰۰ درجه هستند، اما نوع دقیق تر آن‌ها که مولتی ترن نامیده می‌شود، دارای زاویه چرخشی از ۲ تا ۱۰ دور هستند.



۶- مقاومت رئوستا

رئوستا همان پتانسیومتر است با یک تفاوت کوچک، در رئوستا یکی از ترمینال‌های ثابت مورد استفاده قرار نگرفته و آزاد می‌ماند. به عبارت دیگر، رئوستا از یک المان مقاومتی، یک کنتاکت متحرک و یک کنتاکت ثابت تشکیل شده است.

رئوستا در مدارات به منظور تغییر جریان و دستیابی به جریان دلخواه به کار می‌رود.



(ب) خازن

در این آزمایشگاه دو نوع خازن به کار می‌رود: ۱- الکتrolیتی ۲- سرامیکی

۱- الکتrolیتی:

- ولتاژ یکسو شده را به DC تبدیل می‌کنند
- نسبت به سایر خازن‌ها ظرفیت بیشتری دارند
- دارای پلاریته مثبت و منفی هستند
- ظرفیت آن‌ها معمولاً بر حسب میکروفاراد است
- برای حذف نویزهای فرکانس پایین نیز کاربرد دارد.



۲- سرامیکی:

- نسبت به سایر خازن‌ها ظرفیت کمتری دارند
- ظرفیت آنها بر حسب نانو یا پیکوفاراد است

به عنوان مثال 104 K روی خازن‌ها نوشته می‌شود که ظرفیت آن $10^4 \times 10^{-12} \text{ PF}$ یا ۱۰۰ نانوفاراد است

یا به صورت 22 روی خازن‌ها نوشته می‌شود که ظرفیت آن ۲۲ پیکوفاراد است



ج) سلف

سلف یا القاگر یک قطعه الکترونیکی منفعل است که انرژی را به صورت میدان مغناطیسی ذخیره می‌کند. در ساده‌ترین شکل، یک سلف از یک حلقه سیم یا چند دور سیم به صورت مارپیچ تشکیل شده است که این سیم دارای ویژگی القایی است و در برابر جریان مقاومت می‌کند. ظرفیت القایی مغناطیسی مستقیماً با تعداد دور در سیم‌پیچ متناسب است و به شعاع سیم‌پیچ و به نوع ماده‌ای که سیم‌پیچ در اطراف آن پیچیده شده نیز بستگی دارد.

واحد استاندارد القا، هانری است، که به اختصار با H نشان می‌دهند. هانری یک واحد بزرگ است. واحدهای متداول‌تر عبارتند از، میکرو هانری یا μH ، میلی هانری یا mH و نانو هانری یا nH

انواع مختلف هسته سلف:

سلف با هسته هوا (بدون هسته)

سلف با هسته آهن

سلف با هسته پودر آهن

سلف با هسته فریت



کدگذاری این سلف‌ها به دو روش متداول انجام می‌شود:

- **روش کدهای رنگی (شبیه مقاومت‌ها):** در این روش، خطوط رنگی روی بدنه سلف مقدار آن را برحسب (μH) مشخص می‌کنند. دو رنگ اول ارقام معنی‌دار، رنگ سوم ضریب توان 10^x ، و رنگ چهارم درصد تolerانس (دقت) سلف است.
- **روش کدهای سه رقمی:** روی برخی مدل‌ها، مقدار ظرفیت به صورت یک کد سه رقمی برحسب (μH) نوشته می‌شود. برای مثال کد ۱۰۲ یعنی $1000 \mu H = 10^3 \times 10^2 \mu H$ که معادل 1 mH است. حرف انگلیسی کنار آن (مانند J یا K) نشان‌دهنده تolerانس (به ترتیب $\pm 5\%$ و $\pm 10\%$) و عدد کنار حرف V بیانگر حداکثر ولتاژ عایقی سلف است.

آشنایی با تجهیزات آزمایشگاه

۱. اسیلوسکوپ

کلیدها و دکمه‌های روی صفحه اسیلوسکوپ

در حالت کلی صفحه کلید اسیلوسکوپ را می‌توان به سه ناحیه تقسیم نمود:

- ۱- ناحیه CH1 یا X که کلیدها و ترمینال این قسمت مربوط به کانال ۱ یا محور X است.
- ۲- ناحیه CH2 یا Y که کلیدها و ترمینال این قسمت مربوط به کانال ۲ یا محور Y است.
- ۳- ناحیه TRIGGERING که مربوط به ثابت نگه‌داشتن شکل موج اندازه‌گیری شده بر روی صفحه نمایشگر اسیلوسکوپ است.
- ۴- کلیدها و دکمه‌های دیگر



شرح کلیدها:

عملکرد و نقش کلیدهای روی اسیلوسکوپ به طور مختصر به شرح زیر توضیح داده می‌شود:

- ۱- POWER: که اسکوپ را روشن یا خاموش می‌کند.
- ۲- INTENSITY یا INTENT: که شدت روشنایی شکل موج را تنظیم می‌کند.
- ۳- FOCUS: نور شکل موج را متمرکز می‌کند.
- ۴- TIME/DIV: که مقیاس محور افقی را مشخص می‌کند. مثلاً اگر کلید سلکتور روی 1ms باشد یعنی هر خانه محور افقی معادل یک میلی ثانیه می‌باشد. وقتی کلید سلکتور در حالت XY قرار گیرد صفحه اسکوپ تغییرات ورودی کانال Y را برحسب X رسم می‌کند.
- ۵- POSITION: وظیفه اصلی این ولوم جابه‌جا کردن نمودار موج روی صفحه نمایش است.

کارکرد این کنترل به دو بخش تقسیم می‌شود:

الف - کارکرد در حالت عادی (حالت زمانی یا Time Domain)

- کانال ۱ (CH1) و کانال ۲ (CH2): هر کدام یک پیچ POSITION عمودی دارند که با چرخاندن آن، شکل موج مربوط به همان کانال روی صفحه به بالا یا پایین حرکت می‌کند تا بتوانید مبدأ صفر ولتاژ را تنظیم کنید یا دو موج را نسبت به هم تنظیم نمایید.
- موقعیت افقی (Horizontal Position): پیچ جابه‌جایی افقی کل تصویر موج را به چپ یا راست می‌برد تا نقطه شروع موج یا زمان مشخصی از آن را راحت‌تر ببینید.

ب - کارکرد در حالت X-Y (حالت نمایش دو سیگنال نسبت به هم)

وقتی اسیلوسکوپ را روی X-Y حالت قرار می‌دهید، محور افقی زمان را نشان نمی‌دهد؛ بلکه سیگنال کانال ۱

(CH1) روی محور افقی (X) و سیگنال کانال ۲ (CH2) روی محور عمودی (Y) نگاشت می‌شود که در این

حالت:

- پیچ POSITION مربوط به کانال ۱ (X) که موج را روی صفحه به چپ و راست منتقل می‌کند.
- پیچ POSITION مربوط به کانال ۲ (Y) که موج را روی صفحه به بالا و پایین منتقل می‌کند.

۶- INPUT: ورودی کانال ۱ و ۲ را نشان می‌دهد.

۷- AC، GND و DC: این کلید وقتی در حالت DC است، کل شکل موج ورودی را نشان می‌دهد. وقتی در حالت AC

است قسمت DC موج را حذف می‌کند و چنانچه در حالت GND قرار گیرد نقطه صفر ولتاژ (محور افقی) را نشان می‌دهد.

۸- VOLTS/DIV: مقیاس محور عمودی را مشخص می‌کند.

۹- MODE: ورودی CH1 یا CH2 یا هر دو را در آن واحد نشان می‌دهد.

۱۰- TRIGGERING LEVEL: ورودی داده شده به کانال‌ها را می‌توان تریگر نمود.

۱۱- SYNC + NORM: در حالت +NORM شکل موج با لبه بالارونده و در حالت NORM- با لبه پایین‌رونده

شروع می‌شود. قسمت TV+ مربوط به موقعی است که بخواهیم شکل موج‌های مربوط به تلویزیون را مشاهده کنیم.

۱۲- Source INT / EXT: در حالت INT فرمان تریگر از داخل اسکوپ و در حالت EXT این فرمان از خارج داده

می‌شود.

۱۳- EXT.TRIG: در صورتی که بخواهیم اسکوپ را از خارج تریگر کنیم باید موج مورد نظر را به این ترمینال

وصل کنیم.

منحنی‌های لیسازور

تصاویر لیسازور تصاویری هستند که در آنها یک موج بر حسب موج دیگر ترسیم می‌شود، به گونه‌ای که متغیر زمان از معادلات

شکل موج حذف شود. به کمک این تصاویر می‌توان اختلاف فاز میان دو موج سینوسی هم‌فرکانس و نیز نسبت فرکانسی دو موج

سینوسی را به دست آورد.

دو موج سینوسی زیر را در نظر می‌گیریم و برای آنکه حرکت نقطه‌ای تحت تاثیر این دو موج را بررسی کنیم حالات مختلفی را در نظر می‌گیریم:

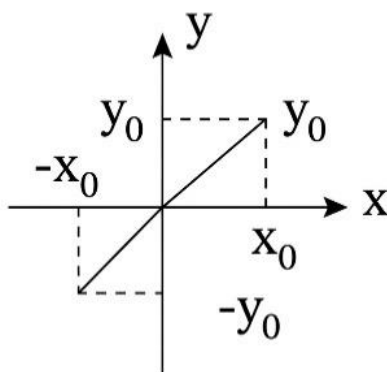
$$x = x_0 \sin(\omega t) \quad \bullet$$

$$y = y_0 \sin(\omega t + \varphi) \quad \bullet$$

الف: دو موج هم‌فاز باشند، یعنی $\varphi = 0$:

$$\begin{cases} x = x_0 \sin(\omega t) \\ y = y_0 \sin(\omega t + \varphi) \end{cases} \rightarrow y = \frac{y_0}{x_0} x$$

که نشان‌دهنده یک خط راست است با این تفاوت که x و y هر دو محدود هستند و در حقیقت یک پاره‌خط خواهیم داشت.



ب: دو شکل موج دارای اختلاف فاز برابر $\pi/2$ هستند، یعنی $\varphi = \pi/2$:

$$\begin{cases} x = x_0 \sin(\omega t) \\ y = y_0 \sin(\omega t + \pi/2) \end{cases}$$

با حذف زمان از معادلات فوق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\left(\frac{x}{x_0}\right)^2 + \left(\frac{y}{y_0}\right)^2 = 1$$

که نشان‌دهنده یک بیضی است که اقطار آن در امتداد محورهای x و y می‌باشد (بیضی استاندارد). در همین حالت اگر دامنه دو موج با هم برابر باشد یعنی $x_0 = y_0 = a$ ، در این صورت تصویر حاصل یک دایره به شعاع a خواهد بود.

ج: دو موج دارای اختلاف فاز $\varphi = \pi$ باشند:

$$\begin{cases} x = x_0 \sin(\omega t) \\ y = y_0 \sin(\omega t + \pi) \end{cases} \rightarrow y = -\frac{y_0}{x_0} x$$

که نشان دهنده یک پاره خط در ربع دوم و چهارم می باشد.

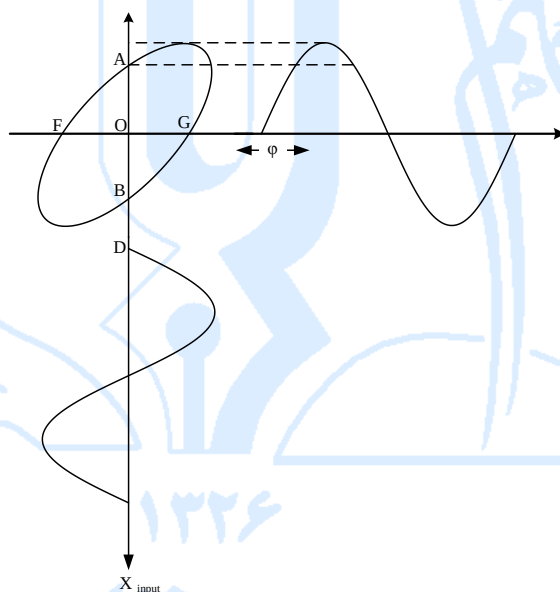
در شکل زیر تصاویر مختلف حاصل برای مقادیر مشخصی از φ نشان داده شده است. علامت فلش روی این نمودارها مربوط به جهت حرکت الکترون ها روی صفحه اسیلوسکوپ می باشد.



$$\begin{array}{c} \varphi = -\pi \quad | \quad -\pi < \varphi < -\frac{\pi}{2} \quad | \quad \varphi = -\frac{\pi}{2} \quad | \quad -\frac{\pi}{2} < \varphi < 0 \quad | \quad \varphi \\ = 0 \quad | \quad 0 < \varphi < \frac{\pi}{2} \quad | \quad \varphi = \frac{\pi}{2} \quad | \quad \frac{\pi}{2} < \varphi < \pi \quad | \quad \varphi = \pi \end{array}$$

اندازه گیری اختلاف فاز با استفاده از منحنی لیسازور

اکنون فرض می کنیم که دو موج دارای فرکانس برابر و اختلاف فاز آن ها $0 < \varphi < \pi/2$ باشد. همانطور که مشاهده کردیم تصویر حاصل از ترکیب دو موج یک بیضی مطابق شکل زیر می باشد. این بیضی هنگامی محور y را قطع می کند که:



$$\begin{cases} x = x_0 \sin(\omega t) = 0 \rightarrow \omega t = k\pi \\ y = y_0 \sin(\omega t + \varphi) \rightarrow y = y_0 \sin(k\pi + \varphi) = \pm y_0 \sin \varphi \end{cases}$$

به این ترتیب داریم:

$$|y_{x=0}| = y_0 \sin \varphi \Rightarrow \varphi = \text{Arcsin} \left(\frac{y_{x=0}}{y_0} \right)$$

اگر در نظر بگیریم که $\alpha = 2y_{x=0}$ و $\beta = 2y_0$ باشد، اختلاف فاز خواهد شد:

$$\varphi = \text{Arcsin}\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)$$

دقت کنید که در اندازه‌گیری اختلاف فاز دو موج سینوسی با کمک تصاویر لیسازو نقطه نورانی اسیلوسکوپ باید در مبدأ و وسط صفحه تنظیم شود.

تعیین اختلاف فاز دو موج سینوسی از نمایش دو موج بر روی صفحه اسیلوسکوپ

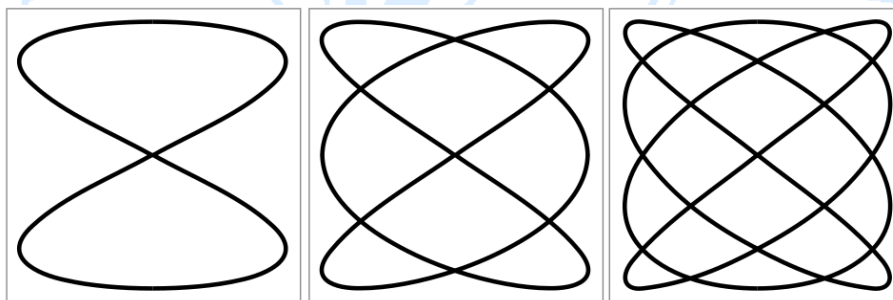
برای تعیین φ برحسب درجه، مقدار φ و T را برحسب سانتی‌متر از روی پرده اسکوپ می‌خوانیم. با توجه به این که T پریود هر دو شکل موج بوده و متناسب با 360° می‌باشد، مقدار φ برحسب درجه از رابطه زیر به دست خواهد آمد.

φ برحسب سانتی‌متر	φ برحسب درجه
T برحسب سانتی‌متر	360

اندازه‌گیری فرکانس مجهول - تصاویر لیسازور

اگر f_x فرکانس یک موج سینوسی $x = x_0 \sin(\omega_x t)$ و f_y فرکانس موج سینوسی $y = y_0 \sin(\omega_y t)$ باشد، چنانچه موج x را به ورودی X و موج y را به ورودی Y نوسان‌نگار بدهیم، تصاویری حاصل می‌شود که در جهت محورهای مختصات دارای ماکزیمم‌هایی خواهد بود. همواره نسبت $\frac{f_y}{f_x}$ برابر با نسبت تعداد نقاط ماکزیمم در امتداد محور افقی به تعداد نقاط ماکزیمم در جهت محور قائم می‌باشد.

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{N_H}{N_V}$$



۲. سیگنال ژنراتور (Signal Generator)

سیگنال ژنراتور یکی از تجهیزات پایه و ضروری در آزمایشگاه‌های مهندسی برق و الکترونیک است که برای تولید سیگنال‌های الکتریکی با فرکانس، دامنه و شکل موج‌های مختلف (مانند سینوسی، مربعی، مثلثی و دندان‌اره‌ای) استفاده می‌شود.



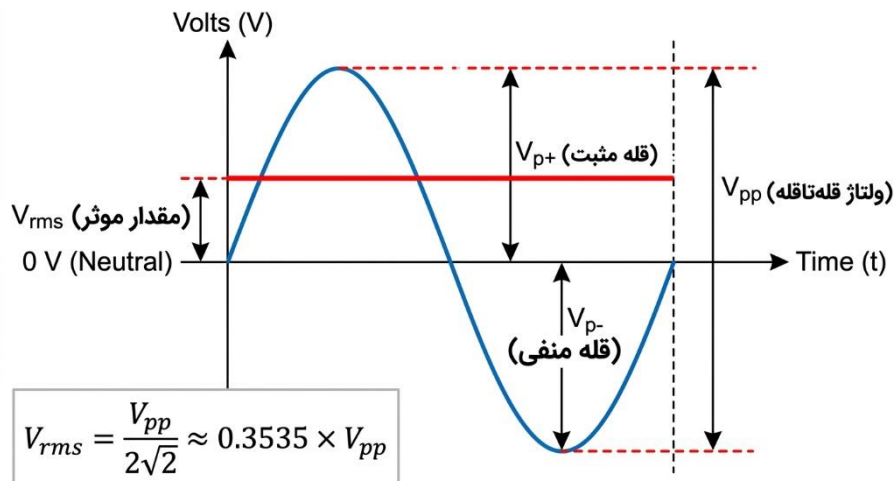
سه نوع متفاوت از سیگنال ژنراتور

انواع اصلی سیگنال ژنراتور

نوع	ویژگی‌ها	کاربرد اصلی
فانکشن ژنراتور (Function Generator) (Generator)	تولید شکل موج‌های پایه (سینوسی، مربعی، مثلثی) در فرکانس‌های پایین تا متوسط	آزمایشگاه‌های عمومی، تست مدارات آنالوگ و صوتی
ژنراتور RF (Radio Frequency)	تولید سیگنال‌های سینوسی با فرکانس بسیار بالا (چند مگاهرتز تا چند گیگاهرتز) همراه با مدولاسیون (AM, FM, PM)	تست تجهیزات مخابراتی، رادیویی و آنتن‌ها
ژنراتور شکل موج دلخواه (AWG)	امکان طراحی و تولید هر نوع شکل موج پیچیده و سفارشی با دقت بالا	تحقیقات پیشرفته، تست سیستم‌های دیجیتال و پردازش سیگنال

پارامترهای اصلی دستگاه

- فرکانس (Frequency):** تعداد تکرار شکل موج در ثانیه (بر حسب Hz ، kHz یا MHz).
- دامنه (Amplitude):** میزان ولتاژ قله تا قله (V_{p-p}) یا مقدار موثر (V_{rms}) سیگنال خروجی.
- افست DC (DC Offset):** انتقال کل شکل موج به بالا یا پایین نسبت به سطح ولتاژ صفر.
- امپدانس خروجی (Output Impedance):** معمولاً ۵۰ اهم یا ۶۰۰ اهم برای تطبیق امپدانس با مدار تحت تست.



کاربردهای مهم

تست و تحلیل پاسخ فرکانسی تقویت کننده‌ها (Amplifiers) و فیلترهای الکترونیکی.

شبیه‌سازی سیگنال‌های سنسورها برای عیب‌یابی مدارات کنترلی و میکروکنترلی.

اندازه‌گیری ضریب تقویت و بررسی اعوجاج (Distortion) در سیستم‌های صوتی و مخابراتی.

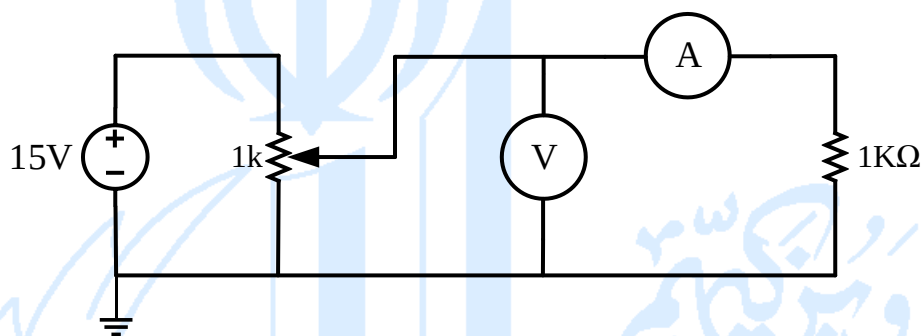
۱۳۲۶

دانشگاه تبریز

آزمایش ۱: بررسی قانون اهم، تقسیم ولتاژ، تقسیم جریان و اصل جمع آثار

وسایل آزمایش: یک عدد مقاومت ۳۳۰ اهم، یک عدد مقاومت ۴۷۰ اهم، یک عدد مقاومت ۶۸۰ اهم، یک عدد مقاومت یک کیلو اهم، یک عدد پتانسیومتر (ولوم) یک کیلو اهم

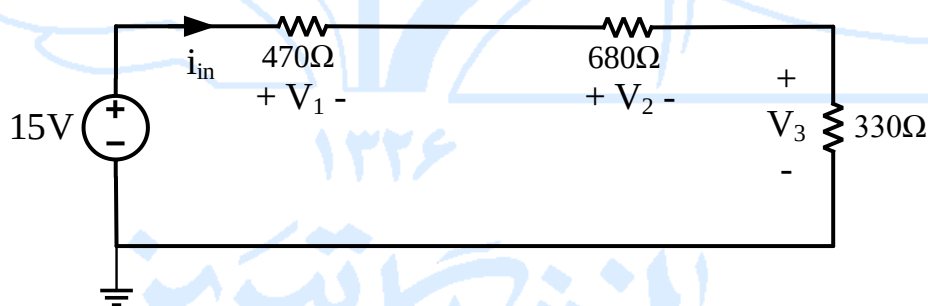
۱-۱- مدار شکل (۱-۱) را ببندید. با تغییر پتانسیومتر (ولوم) مقدار جریان و ولتاژ را بخوانید. جدول زیر را کامل نمایید. سپس منحنی تغییرات $I = f(V)$ را رسم نمایید.



شکل (۱-۱)

						I (mA)
						V (volt)

۱-۲- مدار شکل (۲-۱) را ببندید. ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌ها را با ولت‌متر اندازه‌گیری کنید. سپس جریان i_1 را اندازه‌گیری نمایید. رابطه تقسیم ولتاژ را برای هر کدام از مقاومت‌ها تحقیق کنید.



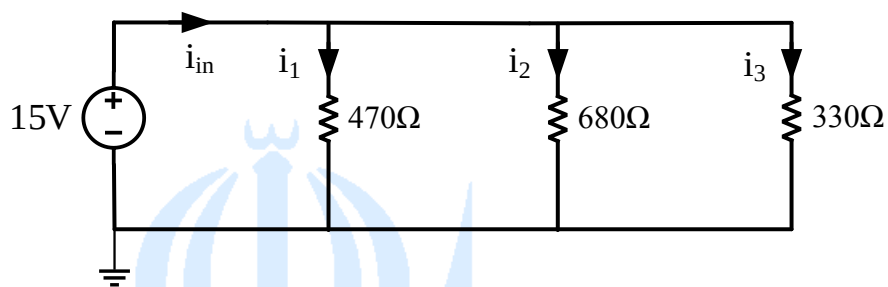
شکل (۲-۱)

پارامتر V_1 V_2 V_3

مقدار تئوری

مقدار اندازه‌گیری شده

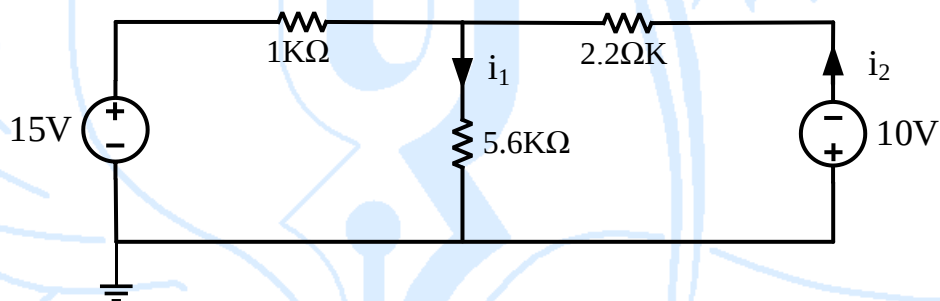
۳-۱- مدار شکل (۳-۱) را ببندید. جریان هر یک از شاخه‌ها و همچنین شاخه اصلی را پیدا کرده و در مورد رابطه تقسیم جریان برای هر شاخه تحقیق کنید.



شکل (۳-۱)

پارامتر	i_1	i_2	i_3	i_{in}
مقدار تئوری				
مقدار اندازه‌گیری شده				

۴-۱- مدار شکل (۴-۱) را ببندید. جریان‌های i_1 و i_2 را یادداشت کنید. سپس یکبار منبع ۱۵ ولتی و یکبار منبع ۱۰ ولتی را غیر فعال کرده و جریان‌های i_1 و i_2 را در هر مرحله به طور مجزا بخوانید و در مورد اصل جمع آثار تحقیق کنید.



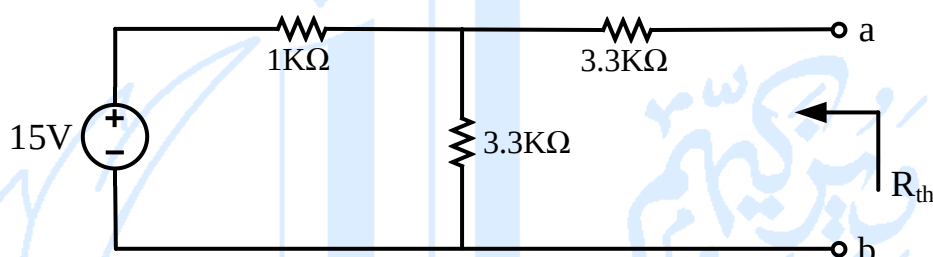
شکل (۴-۱)

پارامتر	i_1	i_2
بدون اثر منبع ۱۰ ولتی		
بدون اثر منبع ۱۵ ولتی		
جمع آثار		
مقدار تئوری		

آزمایش ۲: بررسی مدار معادل تونن و نورتن و قضیه حداکثر انتقال توان

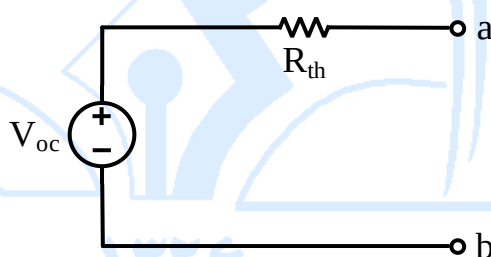
وسایل آزمایش: دوعدد مقاومت ۳۳۰ اهم، یک عدد مقاومت ۱۰۰ اهم، دو عدد مقاومت ۳/۳ کیلو اهم، یک عدد مقاومت ۱ کیلو اهم، یک عدد مقاومت ۶۸۰ اهم، یک عدد مقاومت یک کیلو اهم، یک عدد پتانسیومتر (ولوم) ۱۰ کیلو اهم

۲-۱- مدار شکل (۱-۲) را ببندید. ابتدا ولتاژ دو سر a و b را اندازه گیری نمایید که همان ولتاژ مدار V_{oc} خواهد بود. سپس نقاط a و b را با استفاده از یک آمپر متر به هم وصل نمایید، در این صورت جریان اتصال کوتاه I_{sc} به دست می آید. با تقسیم ولتاژ مدار باز به جریان اتصال کوتاه چه مقداری به دست می آید و مفهوم آن را بیان کنید.



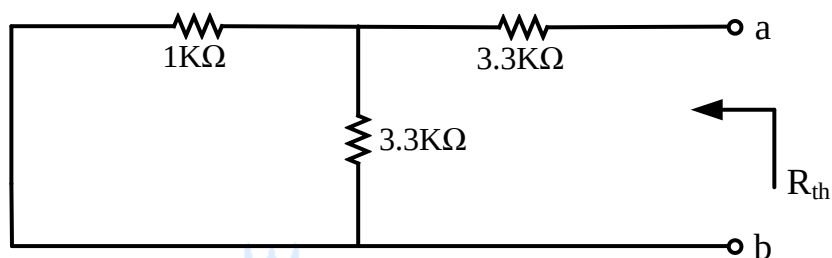
شکل (۱-۲)

۲-۲- مدار شکل (۲-۲) را ببندید. به جای مقاومت R_{th} ، مقدار به دست آمده از بخش قبلی را قرار دهید. می توانید از پتانسیومتر یا مقاومت معادل استفاده نمایید. سپس آزمایش (۱-۲) را تکرار نمایید. اعداد به دست آمده را با یکدیگر مقایسه کنید. چه نتیجه ای می گیرید.



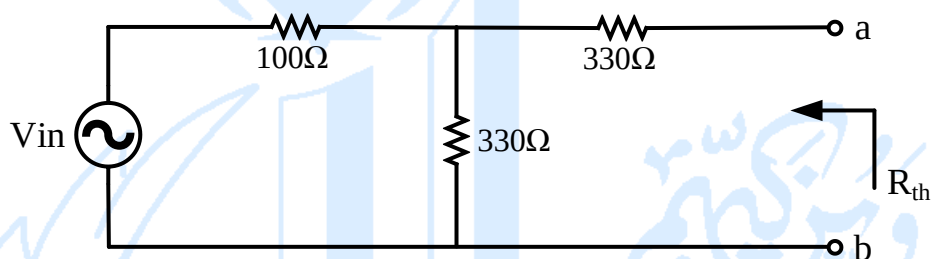
شکل (۲-۲)

۲-۳- در این آزمایش می خواهیم اثر منابع DC را بررسی نماییم. اثر منبع تغذیه را در شکل (۱-۲) غیر فعال نمایید. با استفاده از یک اهم متر مقدار مقاومت معادل دیده شده از دو سر a و b را در این حالت اندازه گیری کنید و با مقدار تئوری مقایسه نمایید. این مقدار به دست آمده را با مقدار به دست آمده در آزمایش های قبلی مقایسه کنید.



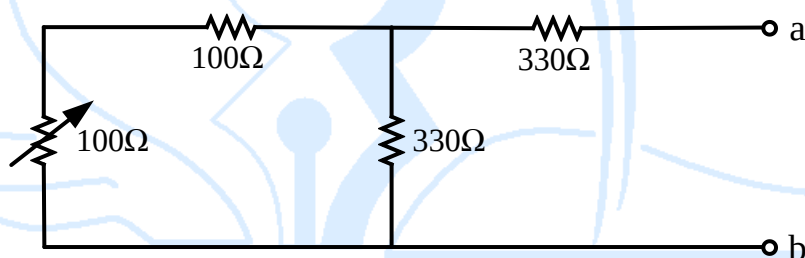
شکل (۳-۲)

۲-۴- حال به جای منبع DC از یک فانکشن ژنراتور با موج سینوسی به عنوان ورودی استفاده نمایید. آزمایش‌های قبلی را دوباره تکرار نمایید. آیا این بار مقادیر متفاوتی به دست آمده است؟ علت چیست؟



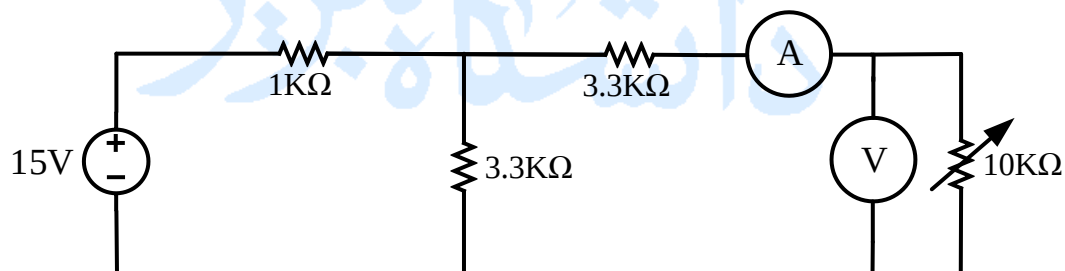
شکل (۴-۲)

۲-۵- مدار شکل (۵-۲) را ببندید. برای پیدا کردن مقاومت داخلی منبع AC، مقاومت R_x را آنقدر تغییر دهید تا مقاومت معادل دیده شده از دو نقطه a و b برابر با مقدار به دست آمده از آزمایش (۴-۲) شود. سپس مقدار R_x را با اهم‌تر اندازه‌گیری نمایید.



شکل (۵-۲)

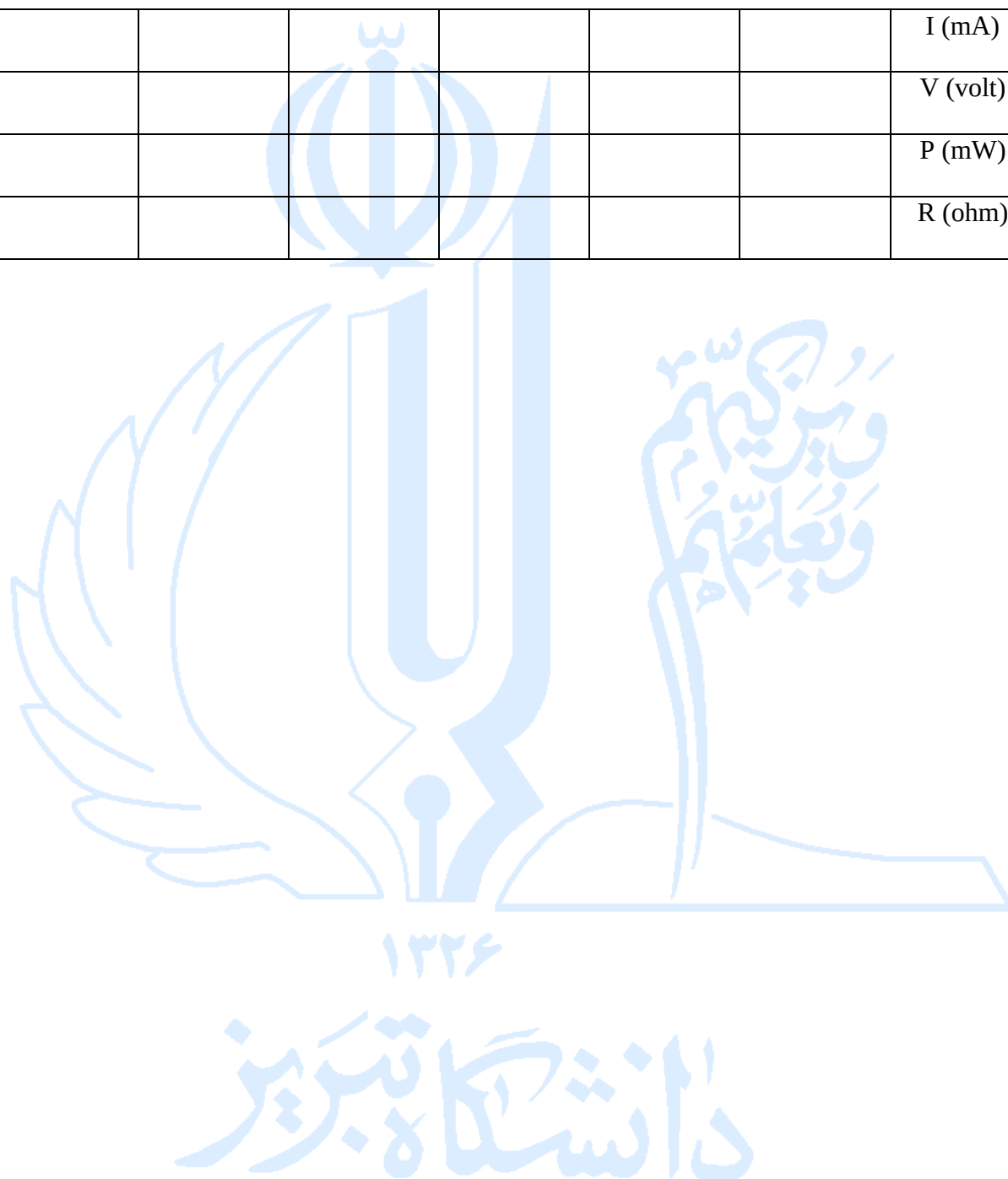
۲-۶- مدار شکل (۶-۲) را ببندید. با تغییر مقاومت پتانسیومتر از کمترین مقدار به بیشترین مقدار، مقدار جریان عبوری از آن و ولتاژ دو سر آن را قرائت نموده و سپس مقدار توان جذب شده در هر حالت را محاسبه نمایید و جدول زیر را تکمیل کنید.



شکل (۶-۲)

مقدار مقاومت R را از تقسیم ولتاژ و جریان اندازه‌گیری شده به دست آورید و در جدول یادداشت نمایید. مقدار مقاومت پتانسیومتر که به ازای آن توان جذب شده به مقدار حداکثر رسیده است را پیدا کنید. منحنی $P=f(R)$ را رسم نموده و مقاومتی را که باعث انتقال توان حداکثر شده را روی منحنی مشخص نمایید. همچنین از محاسبات تئوری مقدار مقاومتی را که باعث انتقال توان حداکثر می‌شود را محاسبه کنید. در صورت وجود اختلاف دلایل آن را ذکر کنید.

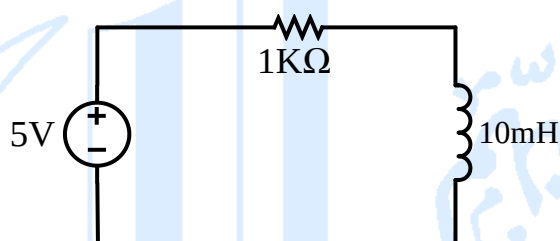
						I (mA)
						V (volt)
						P (mW)
						R (ohm)



آزمایش ۳: بررسی رفتار گذرای مدار مرتبه اول و مدارهای انتگرال گیر و مشتق گیر

وسایل آزمایش: تعدادی مقاومت در رنج‌های مختلف، یک عدد سلف، یک عدد خازن 470 nF

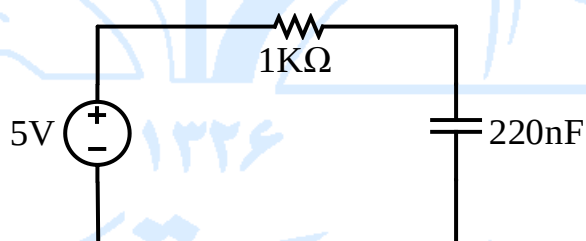
۳-۱- مدار شکل (۱-۳) را ببندید. با قطع و وصل مجدد تغذیه مدار، روند تغییرات جریان عبوری از مدار و ولتاژ دو سر سلف را ملاحظه نمایید. مقدار مقاومت را به گونه‌ای تغییر دهید که این روند را بهتر مشاهده نمایید. روند تغییرات را رسم نمایید. مقادیر نهایی مربوط به ولتاژ دو سر سلف و مقاومت و جریان جاری شده در مدار را یادداشت نمایید.



شکل (۱-۳)

۳-۲- آزمایش (۱-۳) را تکرار کنید و این بار به جای منبع DC از یک موج مربعی استفاده نمایید. با تغییر فرکانس منبع ورودی تغییرات را یادداشت نمایید.

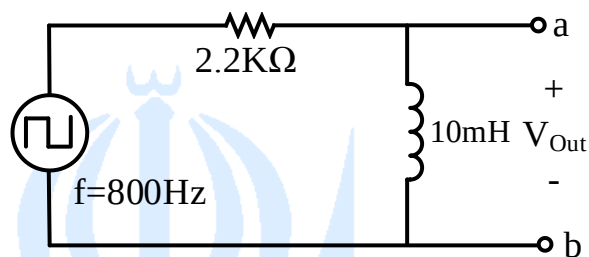
۳-۳- مدار شکل (۲-۳) را ببندید. با قطع و وصل مجدد تغذیه مدار، روند تغییرات جریان عبوری از مدار و ولتاژ دو سر خازن را ملاحظه نمایید. مقدار مقاومت یا خازن را به گونه‌ای تغییر دهید که این روند را بهتر مشاهده نمایید. روند تغییرات را رسم نمایید. مقادیر نهایی مربوط به ولتاژ دو سر خازن و مقاومت و جریان جاری شده در مدار را یادداشت نمایید.



شکل (۲-۳)

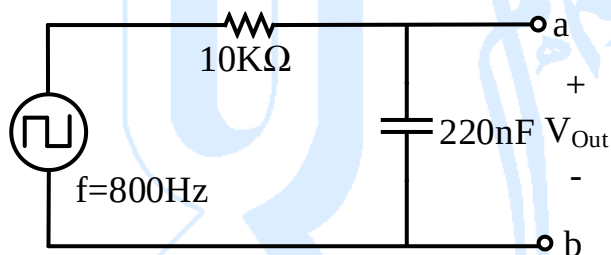
۳-۴- آزمایش (۳-۳) را تکرار کنید و این بار به جای منبع DC از یک موج مربعی استفاده نمایید. با تغییر فرکانس منبع ورودی تغییرات را یادداشت نمایید.

۳-۵- مدار شکل (۳-۳) را ببندید. توسط اسیلوسکوپ شکل موج‌های ورودی و خروجی را همزمان مشاهده کنید و آن‌ها را در کنار هم رسم نمایید و ارتباط شکل موج خروجی را با ورودی به صورت تئوری توضیح دهید. فرکانس را تغییر داده و مشاهدات خود را یادداشت نمایید.



شکل (۳-۳)

۳-۶- مدار شکل (۴-۳) را ببندید. توسط اسیلوسکوپ شکل موج‌های ورودی و خروجی را همزمان مشاهده کنید و آن‌ها را در کنار هم رسم نمایید و ارتباط شکل موج خروجی را با ورودی به صورت تئوری توضیح دهید. فرکانس را تغییر داده و مشاهدات خود را یادداشت نمایید.



شکل (۴-۳)

سوالات آزمایش ۴:

- ۱- سلف در مدار جریان مستقیم چگونه عمل می‌کند؟
- ۲- ضریب خودالقایی یک سلف به چه عواملی بستگی دارد؟
- ۳- خازن در مدار جریان مستقیم چگونه عمل می‌کند؟
- ۴- فرق خازن ایده‌آل با خازن واقعی و سلف ایده‌آل با سلف واقعی چیست؟
- ۵- ظرفیت خازن به چه عواملی بستگی دارد؟

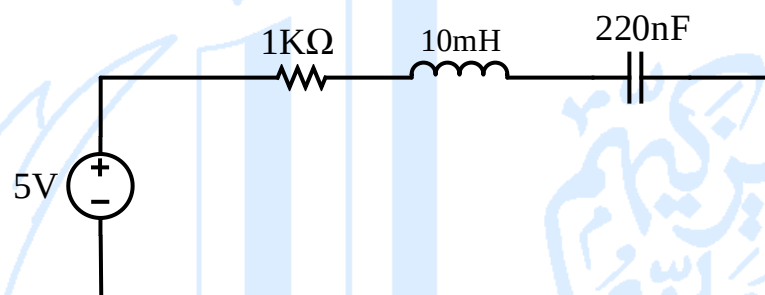
۶- سلف و خازن در مدارات جریان متناوب چگونه عمل می‌کنند؟



آزمایش ۴: بررسی رفتار گذرای مدار مرتبه دوم و تعیین فرکانس تشدید

وسایل آزمایش: تعدادی مقاومت در رنج‌های مختلف، یک عدد سلف، تعدادی خازن در محدوده نانوفاراد

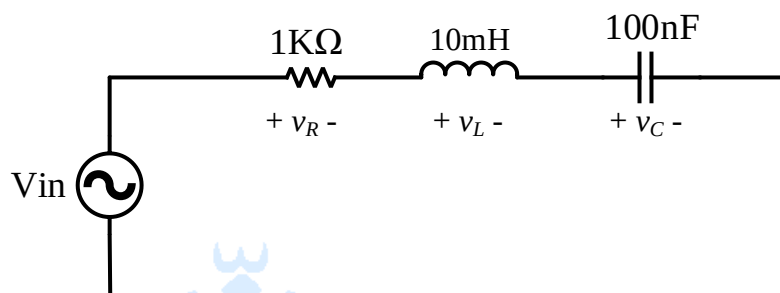
۴-۱- مدار شکل (۱-۴) را ببندید. روند تغییرات جریان عبوری از مدار و ولتاژ دو سر خازن و سلف را ملاحظه نمایید. مقادیر خازن و مقاومت را به گونه‌ای تغییر دهید که بتوانید حالت‌های مختلف (میرایی شدید، بحرانی) را مشاهده نمایید. روند تغییرات را رسم نمایید. نتایج را در یک جدول و با رسم منحنی‌های مربوطه باهم مقایسه کنید. مقادیر نهایی مربوط به ولتاژ دو سر خازن و مقاومت و جریان جاری شده در مدار را یادداشت کنید.



شکل (۱-۴)

۴-۲- مدار شکل (۲-۴) را ببندید. با تغییر فرکانس منبع، جدول زیر را کامل نمایید. فرکانس تشدید مدار را اندازه‌گیری و محاسبه نمایید. نحوه عملکرد مدار را در فرکانس تشدید شرح دهید.

				f_r					f
									i
									V_R
									V_C
									V_L
									φ



شکل (۳-۴)

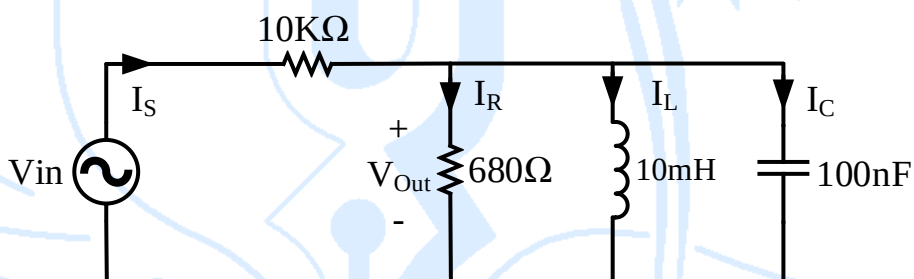
۱- دقت کنید به ازای هر کدام از فرکانس‌ها ولتاژ منبع ثابت بماند.

۲- مقادیر ولتاژها را با ولت‌متر دیجیتالی قرائت کنید.

۳- اختلاف فاز را با استفاده از اسیلوسکوپ بخوانید.

با رسم منحنی $\cos(\varphi) = X(f)$ نواحی سلفی، خازنی و اهمی و فرکانس تشدید را مشخص کنید. φ اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان منبع است.

۳-۴- مدار شکل (۳-۴) را ببندید. با تغییر فرکانس منبع، جدول زیر را کامل نمایید. در این حالت فرکانس تشدید را از روش هم‌فاز نمودن V_{in} و V_{out} به دست آورید. φ اختلاف فاز بین ولتاژ V_{out} و ولتاژ V_{in} است.



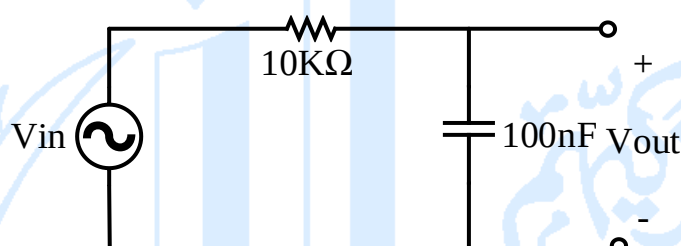
شکل (۳-۴)

				f_r					f
									V_{out}
									i_R
									i_C
									i_L
									i_S
									φ

آزمایش ۵: بررسی رفتار گذرای مدار مرتبه دوم و تعیین فرکانس تشدید

وسایل آزمایش: تعدادی مقاومت در رنج‌های مختلف، یک عدد سلف، یک عدد خازن ۱۰۰ nF

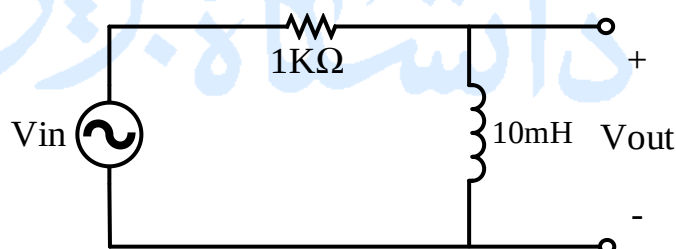
۵-۱- مدار شکل (۱-۵) را ببندید. خروجی مدار را به یک کانال اسیلوسکوپ و ورودی آن را به کانال دیگر آن وصل کنید. حال با تغییر فرکانس، با استفاده از اسیلوسکوپ، تغییرات ولتاژ خروجی بر حسب ولتاژ ورودی و اختلاف فاز آن‌ها را ملاحظه و در جدول زیر یادداشت کنید. در طول آزمایش، ولتاژ ورودی باید ثابت نگه داشته شود. نوع فیلتر را مشخص نمایید. منحنی‌های ولتاژ خروجی بر حسب f و ϕ را بر حسب f را در دستگاه مختصات نیم لگاریتمی رسم نمایید.



شکل (۱-۵)

						f (Hz)
						V_{out-pp}
						V_{in-pp}
						ϕ

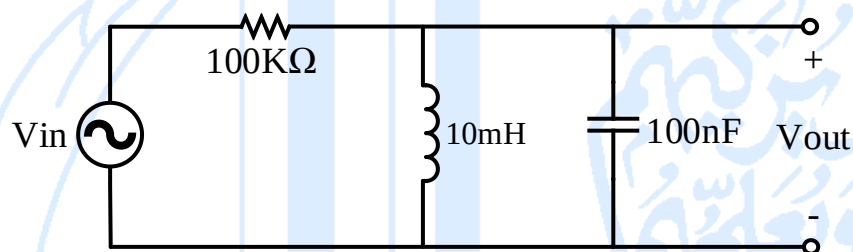
۵-۲- مدار شکل (۲-۵) را ببندید. خروجی مدار را به یک کانال اسیلوسکوپ و ورودی آن را به کانال دیگر آن وصل کنید. حال با تغییر فرکانس، با استفاده از اسیلوسکوپ، تغییرات ولتاژ خروجی بر حسب ولتاژ ورودی و اختلاف فاز آن‌ها را ملاحظه و در جدول زیر یادداشت کنید. در طول آزمایش، ولتاژ ورودی باید ثابت نگه داشته شود. نوع فیلتر را مشخص نمایید. منحنی‌های ولتاژ خروجی بر حسب f و ϕ را بر حسب f را در دستگاه مختصات نیم لگاریتمی رسم نمایید.



شکل (۲-۵)

						f (Hz)
						V_{out-pp}
						V_{in-pp}
						φ

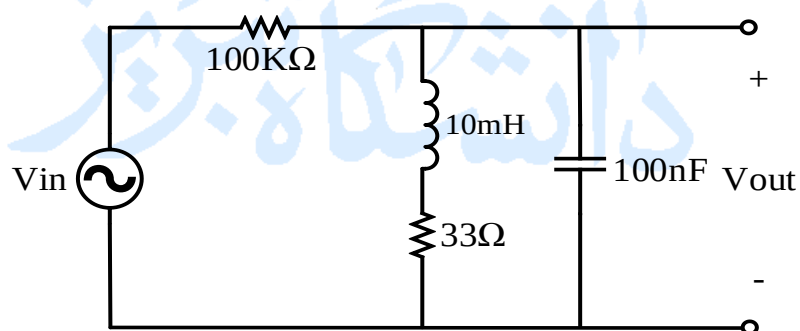
۳-۵- مدار شکل (۳-۵) را ببندید. خروجی مدار را به یک کانال اسیلوسکوپ و ورودی آن را به کانال دیگر آن وصل کنید. ابتدا از روش محاسبه، فرکانس تشدید مدار را محاسبه نمایید. حال با تغییر فرکانس در محدوده فرکانس تشدید، دامنه خروجی را به بیشترین مقدار برسانید. با استفاده از اسیلوسکوپ، تغییرات ولتاژ خروجی بر حسب ولتاژ ورودی و اختلاف فاز آن‌ها را در محدوده فرکانس تشدید ملاحظه و در جدول زیر یادداشت کنید. در طول آزمایش، ولتاژ ورودی باید ثابت نگه داشته شود. نوع فیلتر را مشخص نمایید. منحنی‌های ولتاژ خروجی بر حسب f و φ را بر حسب f را در دستگاه مختصات نیم لگاریتمی رسم نمایید.



شکل (۳-۵)

				f_r				f (Hz)
								V_{out-pp}
								V_{in-pp}
								φ

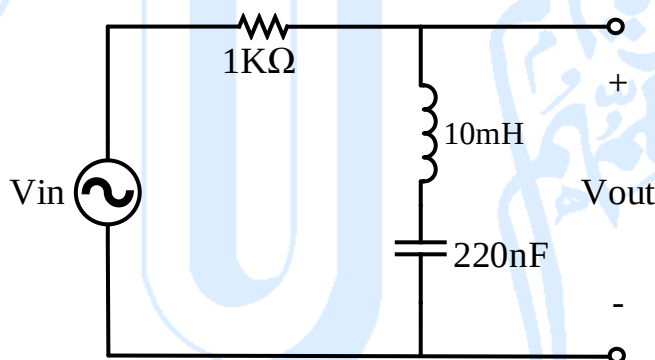
۴-۵- مدار شکل (۴-۵) را ببندید. مطابق آزمایش (۳-۵) عمل نمایید.



شکل (۴-۵)

				f_r				f (Hz)
								V_{out-pp}
								V_{in-pp}
								φ

۵-۵- مدار شکل (۵-۵) را ببندید. خروجی مدار را به یک کانال اسیلوسکوپ و ورودی آن را به کانال دیگر آن وصل کنید. ابتدا از روش محاسبه، فرکانس تشدید مدار را محاسبه نمایید. حال با تغییر فرکانس در محدوده فرکانس تشدید، دامنه خروجی را به کمترین مقدار برسانید. با استفاده از اسیلوسکوپ، تغییرات ولتاژ خروجی بر حسب ولتاژ ورودی و اختلاف فاز آن‌ها را در محدوده فرکانس تشدید ملاحظه و در جدول زیر یادداشت کنید. در طول آزمایش، ولتاژ ورودی باید ثابت نگه داشته شود. نوع فیلتر را مشخص نمایید. منحنی‌های ولتاژ خروجی بر حسب f و φ را بر حسب f را در دستگاه مختصات نیم لگاریتمی رسم نمایید.



شکل (۵-۵)

				f_r				f (Hz)
								V_{out-pp}
								V_{in-pp}
								φ

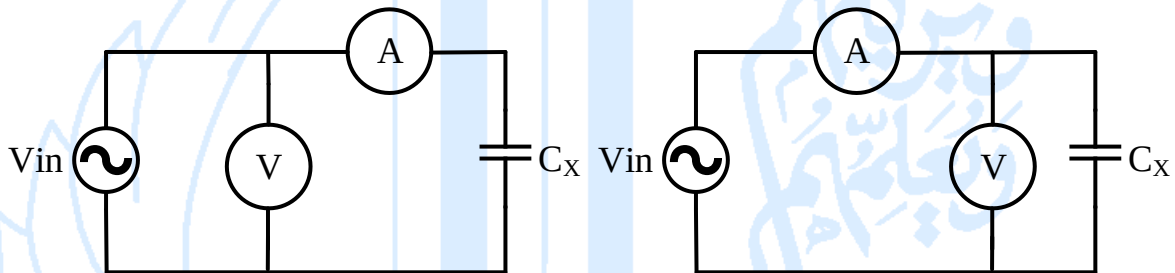
آزمایش ۶: اندازه‌گیری ظرفیت خازن-ضریب خودالقایی-ضریب القای متقابل

الف: اندازه‌گیری ظرفیت خازن

برای اندازه‌گیری ظرفیت خازن از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که عبارتند از: روش ولت‌متر-آمپرتر، استفاده از وات‌متر، مقایسه جریان، مقایسه ولتاژ و روش دو ولت‌متری.

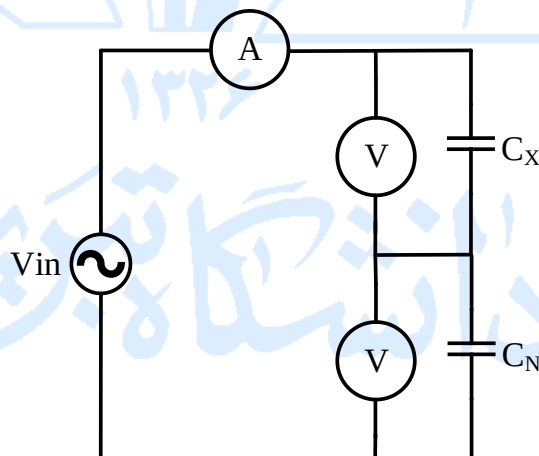
وسایل آزمایش: یک عدد مقاومت، یک عدد سلف، یک عدد خازن

۱-۶- روش ولت‌متر-آمپرتر: در صورتی که تلفات دی‌الکتریک خازن ناچیز باشد بهترین روش برای اندازه‌گیری ظرفیت خازن، روش ولت‌متر-آمپری است. در این صورت می‌توان یکی از دو مدار شکل (۱-۶) را که مناسب‌تر است تشکیل داد. برای انجام این آزمایش، مدار شکل (۱-۶) را ببندید و مقدار ظرفیت خازن مجهول را با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده به دست آورید.



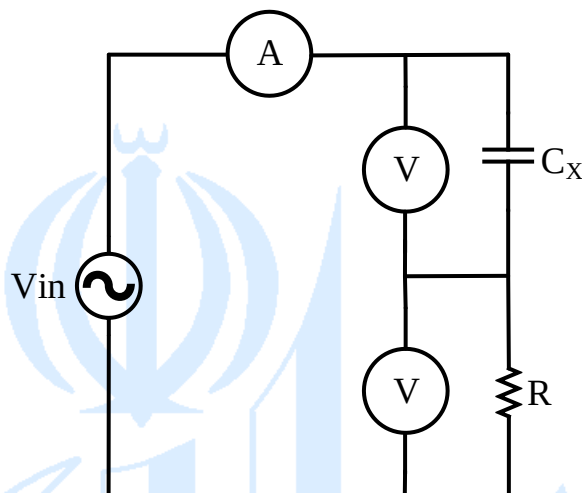
شکل (۱-۶)

۲-۶- روش مقایسه ولتاژ: مدار شکل (۲-۶) را ببندید و مقدار ظرفیت خازن مجهول را با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده به دست آورید.



شکل (۲-۶)

۳-۶- روش دو ولت متری: مدار شکل (۳-۶) را ببندید و مقدار ظرفیت خازن مجهول را با استفاده از پارامترهای اندازه گیری شده به دست آورید.

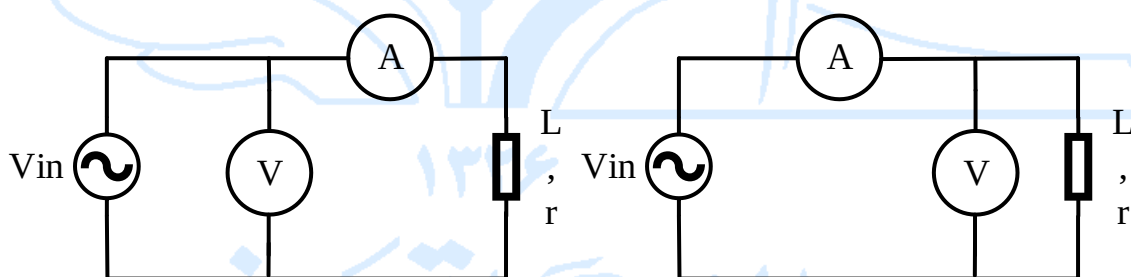


شکل (۳-۶)

ب: اندازه گیری ضریب خودالقایی

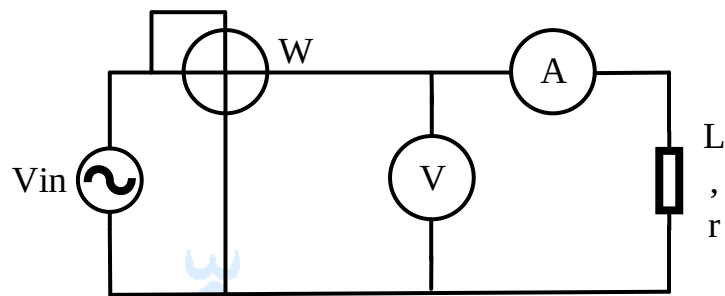
برای اندازه گیری ضریب خودالقایی از روش های مختلفی استفاده می شود که در ادامه به شرح مختصر آن پرداخته شده است.

۴-۶- روش ولت متر-آمپر متر: مدار شکل (۴-۶) را تشکیل داده و با استفاده از ولت متر و آمپر متر ولتاژ و جریان مدار را اندازه گیری کرده و با استخراج رابطه بین آن ها، ضریب خودالقایی بوبین را تعیین نمایید. شایان ذکر است که مقاومت ظاهری بوبین از رابطه V/I و مقاومت اهمی آن با کمک اهم متر تعیین می شود.



شکل (۴-۶)

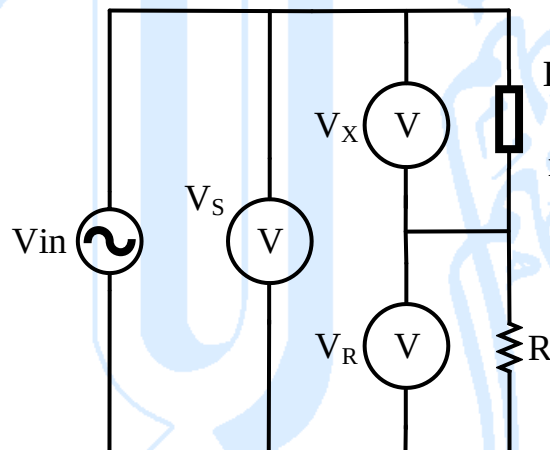
۵-۶- روش وات متر: مداری مطابق شکل (۵-۶) تشکیل داده و با استفاده از پارامترهای اندازه گیری شده، مقدار ضریب خودالقایی بوبین را محاسبه نمایید.



شکل (۵-۶)

در صورتی که مقاومت داخلی بوبین کوچک باشد، یک مقاومت اهمی با آن سری کنید.

۶-۶- روش سه ولت‌متری: با استفاده از یک مقاومت معلوم R مداری مطابق شکل (۶-۶) تشکیل داده و با اندازه‌گیری ولتاژهای V_R و V_x ، V_s ضریب خودالقایی و مقاومت اهمی بوبین را محاسبه کنید.

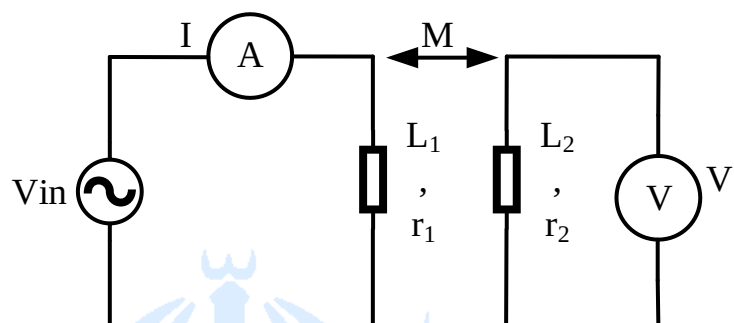


شکل (۶-۶)

راهنمایی: می‌توان با استفاده از مقادیر ولتاژهای V_R و V_x ، V_s می‌توان مثلثی تشکیل داده و از روی روابط بین اجزای مثلث و کمیت‌هایی که در مدار وجود دارند، می‌توان ضریب خود القایی و مقاومت اهمی بوبین را تعیین کرد.

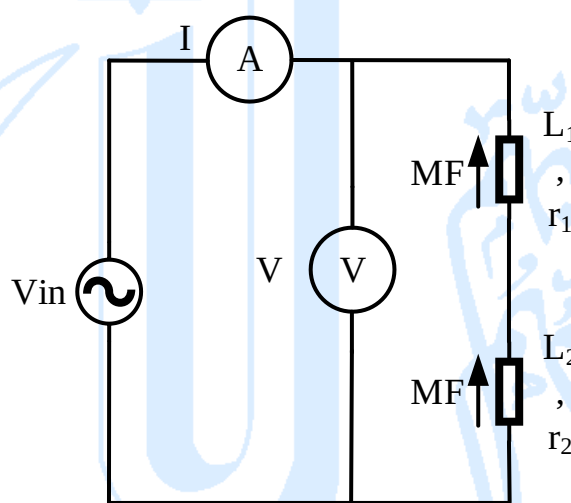
(ج) اندازه‌گیری ضریب القای متقابل

۶-۷- روش ولت‌متر-آمپر متر: مداری مطابق شکل (۷-۶) تشکیل داده و با استفاده از مقادیر قرائت شده ضریب القای متقابل را تعیین نمایید.

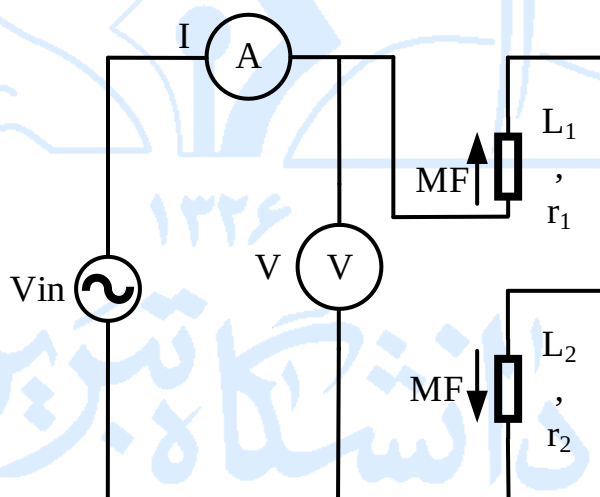


شکل (۶-۷)

۸-۶- روش اتصال دو سیم‌پیچ به طور سری: دو سیم‌پیچ را به ترتیب در دو جهت موافق و مخالف مطابق شکل (۸-۶) باهم سری نمایید.



(الف)



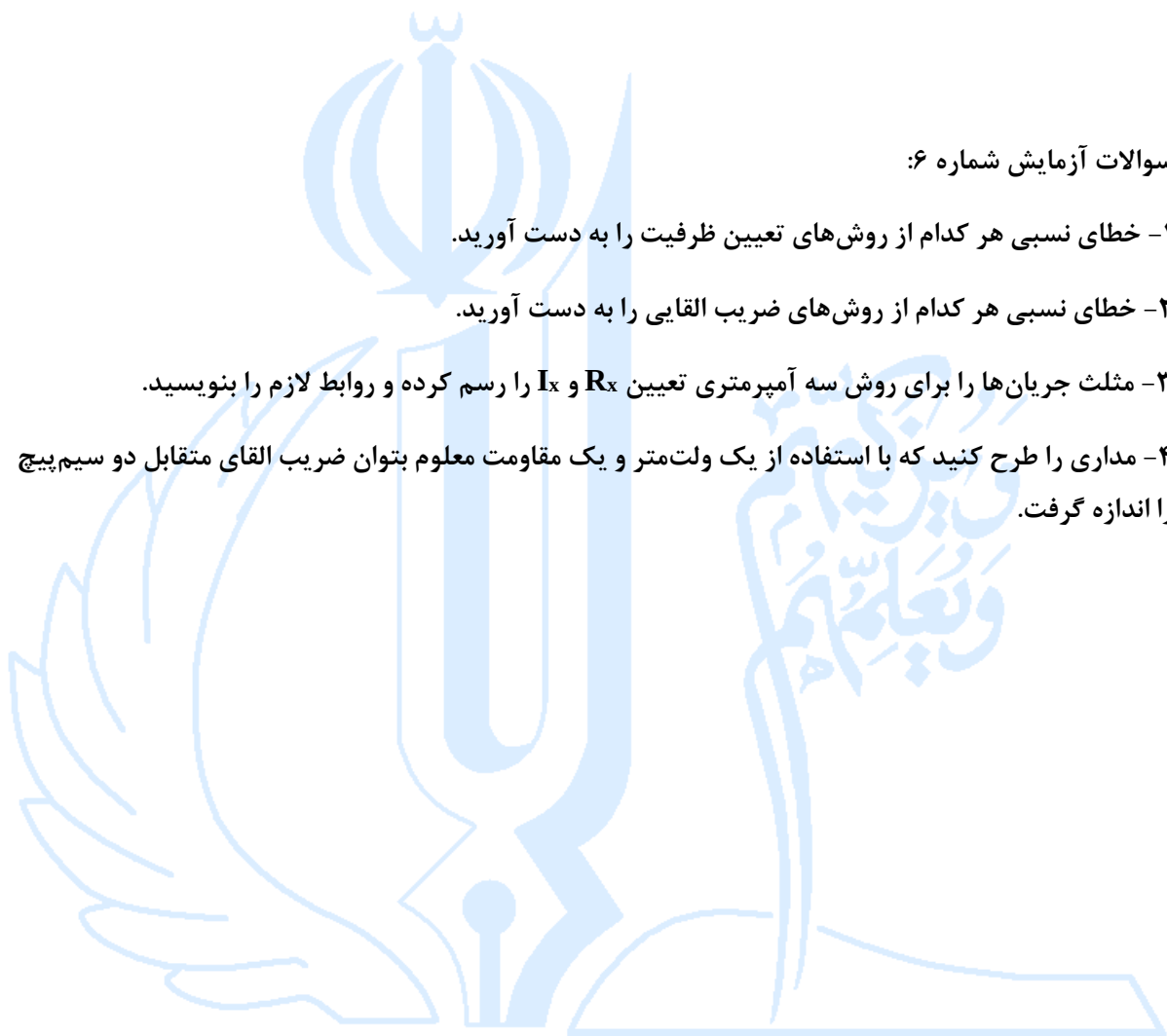
(ب)

شکل (۸-۶)

در مدار شکل (۶-۸-الف)، دو سیم‌پیچ طوری سری شده‌اند که فوران‌های مغناطیسی ایجاد شده در آن‌ها هم‌جهت هستند (حالت موافق) و در مدار شکل (۶-۸-ب) جهت فوران‌های ایجاد شده در دو سیم‌پیچ مخالف یکدیگرند (حالت مخالف). با استفاده از نتایج حاصل از آزمایشات فوق و پیدا کردن رابطه بین آن‌ها ضریب القای متقابل دو سیم‌پیچ را به دست آورید.

سوالات آزمایش شماره ۶:

- ۱- خطای نسبی هر کدام از روش‌های تعیین ظرفیت را به دست آورید.
- ۲- خطای نسبی هر کدام از روش‌های ضریب القایی را به دست آورید.
- ۳- مثلث جریان‌ها را برای روش سه آمپرمتري تعیین R_x و I_x را رسم کرده و روابط لازم را بنویسید.
- ۴- مداری را طرح کنید که با استفاده از یک ولت‌متر و یک مقاومت معلوم بتوان ضریب القای متقابل دو سیم‌پیچ را اندازه گرفت.



۱۳۲۶

دانشگاه تبریز

آزمایش ۷: اندازه‌گیری توان در مدارهای الکتریکی

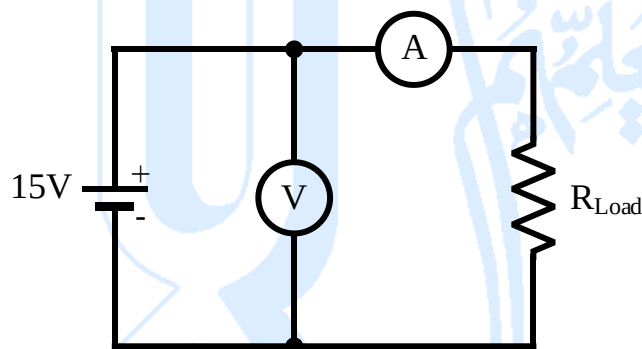
الف - اندازه‌گیری توان اکتیو:

برای سادگی کار، اندازه‌گیری توان را به سه قسمت تقسیم می‌کنیم:

- ۱- اندازه‌گیری توان در مدارهای جریان مستقیم.
- ۲- اندازه‌گیری توان در مدارهای جریان متناوب تک‌فاز.
- ۳- اندازه‌گیری توان در مدارهای جریان متناوب سه‌فاز.

۱- اندازه‌گیری توان در مدارهای جریان مستقیم:

۷-۱- در جریان مستقیم، توان از رابطه $P = V \cdot I$ به دست می‌آید؛ بنابراین با داشتن یک ولت‌متر و یک آمپر متر توان مصرفی اندازه‌گیری می‌شود. همچنین با استفاده از وات‌متر جریان مستقیم نیز می‌توان توان مصرفی را اندازه گرفت. مداری مطابق شکل (۷-۱) تشکیل داده و توان مصرفی بار را با استفاده از هر دو روش اندازه‌گیری نمایید و علت اختلافات احتمالی را بیان نمایید.



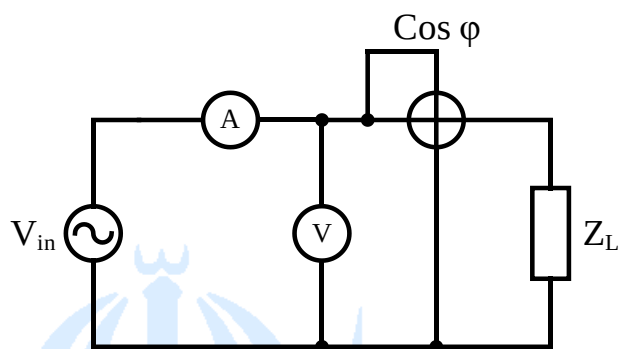
شکل (۷-۱)

شکل (۷-۱) شامل:

- منبع تغذیه مستقیم 15V
- ولت‌متر (V) موازی با منبع
- آمپر متر (A) سری با بار
- مقاومت بار R_{Load}

۲- اندازه‌گیری توان در مدارهای جریان متناوب تک‌فاز:

۷-۲- با توجه به این که در جریان متناوب یک‌فاز، توان اکتیو برابر $P = V \cdot I \cos \varphi$ است، می‌توان توان اکتیو را با استفاده از شکل (۷-۲) اندازه‌گیری نمود. لازم به ذکر است که دستگاه‌های $\cos \varphi$ متر مانند وات‌متر در مدار قرار می‌گیرند. با استفاده از مدار شکل (۷-۲)، توان مصرفی بار تک‌فاز را اندازه‌گیری نمایید.

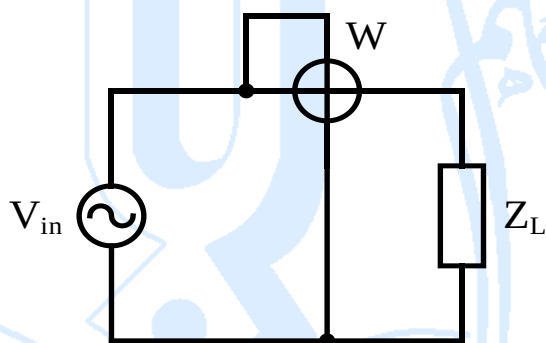


شکل (۲-۷)

شکل (۲-۷) شامل:

- منبع تغذیه متناوب V_{in}
- آمپر متر سری (A)
- ولت متر موازی (V)
- کسینوسی متر $(\cos \phi)$ متصل به خط و بار
- امپدانس بار Z_L

۳-۷- در صنعت برای اندازه گیری توان از وات متر جریان متناوب استفاده می شود. مداری مطابق شکل (۲-۷) تشکیل داده و با استفاده از وات متر، توان مصرفی بار را اندازه گیری نموده و علت اختلافات احتمالی را بیان نمایید.



شکل (۳-۷)

شکل (۳-۷) شامل:

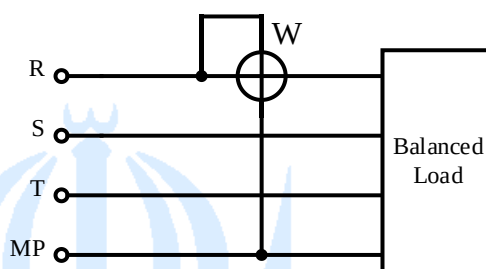
- منبع تغذیه متناوب V_{in}
- وات متر (W) متصل به مدار (سیم پیچ جریان سری و سیم پیچ ولتاژ موازی)
- امپدانس بار Z_L

۳- اندازه گیری توان در مدارهای جریان متناوب سه فاز:

در هر سیستم سه فاز، توان کل برابر مجموع توان های هر فاز می باشد یعنی $P = P_R + P_S + P_T$. یک شبکه سه فاز ممکن است سه سیمه یا چهار سیمه و همچنین متعادل یا نامتعادل باشد؛ لذا متناسب با نوع مدار و نوع بار می توان روش های مناسبی را به کار برد.

۷-۴- اندازه‌گیری توان در مدارهای سه‌فاز متعادل چهارسیمه: طبق شکل (۷-۴) و با اتصال یک بار متعادل، میزان توان

مصرفی بار را با استفاده از $P = 3P_{ph}$ تعیین کنید.



شکل (۷-۴)

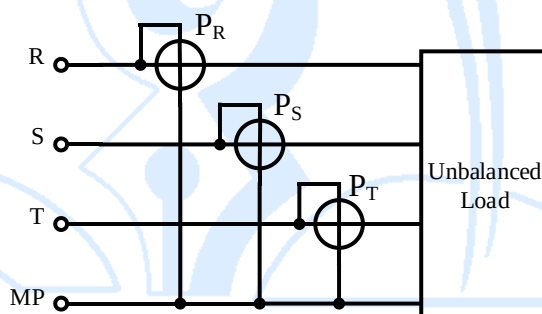
شکل (۷-۴) شامل:

- خطوط فاز R, S, T و نول (MP)
- یک وات‌متر (W) متصل به فاز R و سیم نول (MP)
- بار متعادل ($Balanced\ Load$)

علاوه بر روش فوق، با روش‌های دیگر از جمله روش آرون (دو وات‌متری) نیز می‌توان توان مصرفی مدار را اندازه گرفت.

۷-۵- اندازه‌گیری توان در مدارهای سه‌فاز نامتعادل چهارسیمه: مطابق شکل (۷-۵) وات‌مترها را در مدار قرار داده و

توان کل را با اندازه‌گیری توان هر فاز و به کمک رابطه $P = P_R + P_S + P_T$ به دست آورید.



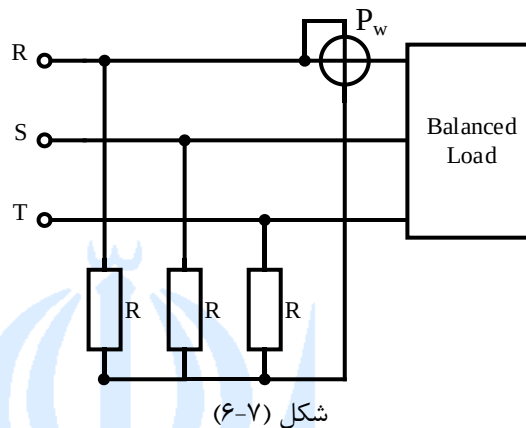
شکل (۷-۵)

شکل (۷-۵) شامل:

- خطوط فاز R, S, T و نول (MP)
- سه وات‌متر مجزا (P_R, P_S, P_T) برای هر فاز نسبت به نول
- بار نامتعادل ($Unbalanced\ Load$)

۷-۶- اندازه‌گیری توان در مدارهای سه‌فاز متعادل سه‌سیمه: با تشکیل مدار شکل (۷-۶)، با استفاده از یک وات‌متر و با

تشکیل نقطه صفر، با استفاده از رابطه $P = 3P_W$ توان مدار را اندازه‌گیری نمایید.



شکل (۶-۷)

شکل (۶-۷) شامل:

- خطوط فاز R, S, T
- وات متر P_w متصل به فاز R
- سه مقاومت یکسان R متصل به صورت ستاره جهت ایجاد نقطه صفر مصنوعی
- بار متعادل (Balanced Load)

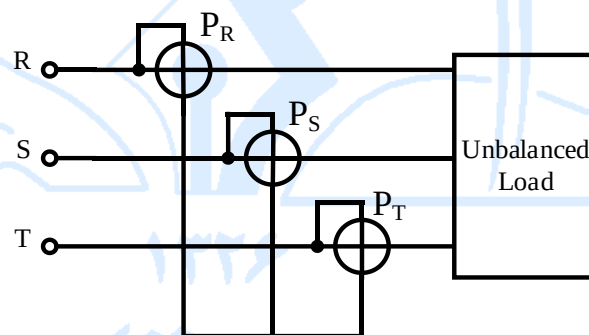
چنانچه به جای وات متر در مدار فوق یک دستگاه $\cos \varphi$ متر قرار دهیم می توانیم با استفاده از $P = V \cdot I \cos \varphi$ توان

مدار را تعیین کنیم. به علاوه با روش دو وات متری (آرون) نیز می توان توان مصرفی مدار فوق را اندازه گرفت.

۷-۷-۷ اندازه گیری توان در مدارهای سه فاز نامتعادل سه سیمه:

۷-۷-۱ روش سه وات متری: مداری مطابق شکل (۷-۷) بسته و با استفاده از رابطه $P = P_R + P_S + P_T$ توان کل مدار

را به دست آورید.

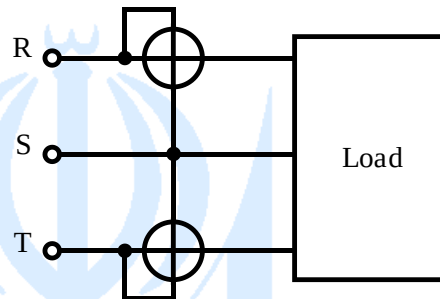


شکل (۷-۷)

شکل (۷-۷) شامل:

- خطوط فاز R, S, T بدون سیم نول
- سه وات متر (P_T, P_S, P_R)
- بار نامتعادل (Unbalanced Load)

۷-۷-۲- روش دو واتمتری "آرون": مداری مطابق شکل (۸-۷) تشکیل داده و با استفاده از دیاگرام برداری ولتاژها و جریان‌ها و با قرائت دو واتمتر موجود در مدار، میزان توان مصرفی بار را به دست آورید. توان کل برابر مجموع یا تفاضل انحراف دو واتمتر خواهد بود. روابط مربوطه را اثبات نمایید.



شکل (۸-۷)

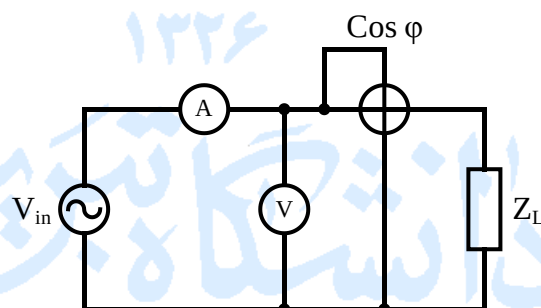
شکل (۸-۷) شامل:

- خطوط فاز R ، S و T
- واتمتر اول (P_R) متصل به فاز R با مسیر سیم‌پیچ ولتاژ روی فاز S
- واتمتر دوم (P_T) متصل به فاز T با مسیر سیم‌پیچ ولتاژ روی فاز S
- بار (Load)

ب - اندازه‌گیری توان راکتیو:

در جریان متناوب یک‌فاز، توان راکتیو یا دوارانه برابر $Q = V \cdot I \sin \varphi$ می‌باشد و برای اندازه‌گیری آن از دستگاهی به نام وارمتر (واتمتری که اختلاف فاز دو سیم‌پیچی ولتاژش نسبت به جهت واقعی و اصلی‌اش [حالت واتمتری] 90° درجه تغییر مکان یافته باشد یا به عبارت دیگر جریانی که از سیم‌پیچ ولتاژ آن می‌گذرد 90° درجه نسبت به حالت واتمتری عقب افتادگی داشته باشد) استفاده می‌کنند.

۷-۹- اندازه‌گیری توان راکتیو در مدارهای یک فاز: مطابق شکل (۹-۷) با سنجش ولتاژ و جریان و ضریب توان مدار، توان راکتیو را اندازه بگیرید.



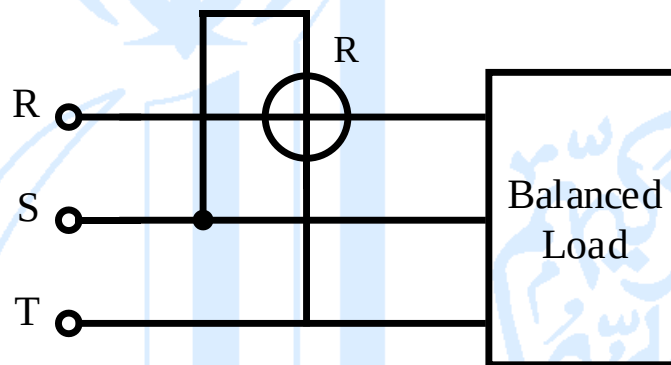
شکل (۹-۷)

شکل (۹-۷) شامل:

- منبع تغذیه متناوب V_{in}
- آمپر متر سری (A)

- ولت‌متر موازی (V)
- کسینوس‌فی‌متر ($\cos \varphi$)
- امپدانس بار Z_L

۱۰-۷- اندازه‌گیری توان راکتیو در مدارهای الکتریکی سه فاز سه سیمه متعادل: مدار شکل (۷-۱۰) را بسته و توان راکتیو مصرفی را با استفاده از وات‌متر اندازه‌گیری نمایید. با رسم دیاگرام برداری جریان‌ها و ولتاژها اثبات نمایید که وات‌متر $\sqrt{3}$ برابر توان راکتیو یک فاز مدار را اندازه می‌گیرد، در نتیجه برای محاسبه توان راکتیو کل بایستی عدد خوانده شده توسط وات‌متر را در $\sqrt{3}$ ضرب کرد.



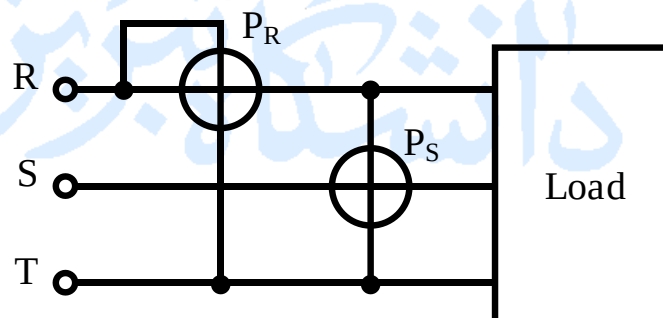
شکل (۷-۱۰)

شکل (۷-۱۰) شامل:

- خطوط فاز R ، S و T
- وات‌متر متصل بین فاز R (سیم‌پیچ جریان) و فازهای S و T (سیم‌پیچ ولتاژ)
- بار متعادل (Balanced Load)

در روش فوق در صورت عدم تقارن ولتاژها به مقدار خیلی کم، خطای زیادی در اندازه‌گیری به‌وجود می‌آید؛ لذا برای جلوگیری از خطای فوق، می‌توان روش دو وات‌متری را مطابق شکل (۷-۱۱) به کار برد. در این صورت برای به‌دست آوردن توان راکتیو

کل بایستی مجموع قرائت دو وات‌متر را در $\sqrt{\frac{3}{2}}$ ضرب کنیم. این رابطه را اثبات نمایید.

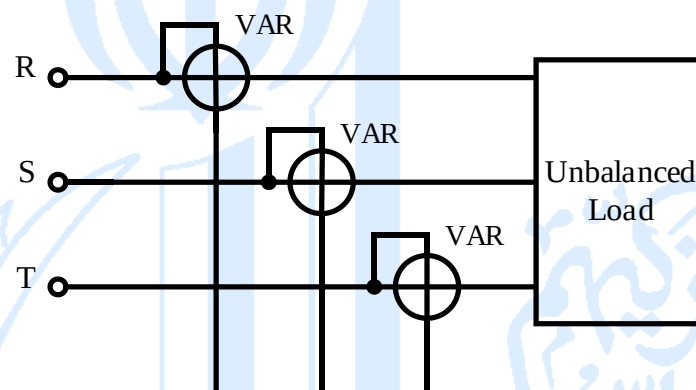


شکل (۷-۱۱)

شکل (۷-۱۱) شامل:

- خطوط فاز R ، S و T
- وات‌متر اول (P_R) و وات‌متر دوم (P_S)
- بار (Load)

۷-۱۲- اندازه‌گیری توان راکتیو در مدارهای سه فاز سه سیمه نامتعادل: بهترین روش برای سنجش توان راکتیو در این گونه مدارات، روش سه وارمتری مطابق شکل (۷-۱۲) می‌باشد.

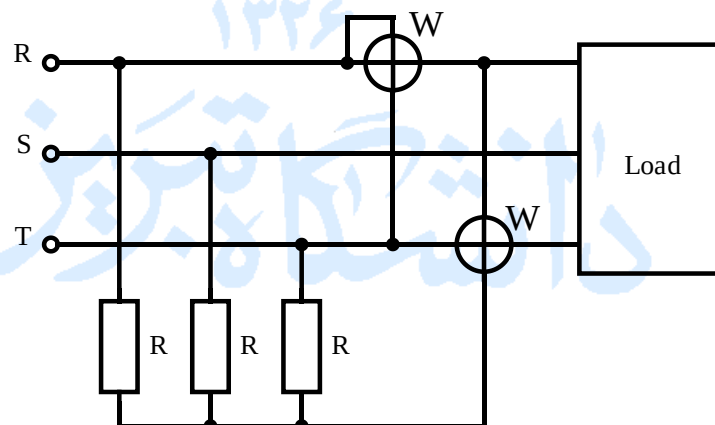


شکل (۷-۱۲)

شکل (۷-۱۲) شامل:

- خطوط فاز R ، S و T بدون سیم نول
- سه وارمتر مجزا (VAR) برای هر فاز
- بار نامتعادل (Unbalanced Load)

در صورتی که ولتاژها متقارن باشند می‌توان با استفاده از روش دو وات‌متری مطابق شکل (۷-۱۳) توان راکتیو مدار را اندازه گرفت. برای تعیین توان کل بایستی مجموع انحرافات دو وات‌متر را در $\sqrt{3}$ ضرب کرد. بنابراین مدار شکل (۷-۱۳) را تشکیل داده و توان راکتیو مصرفی بار را اندازه‌گیری نمایید.

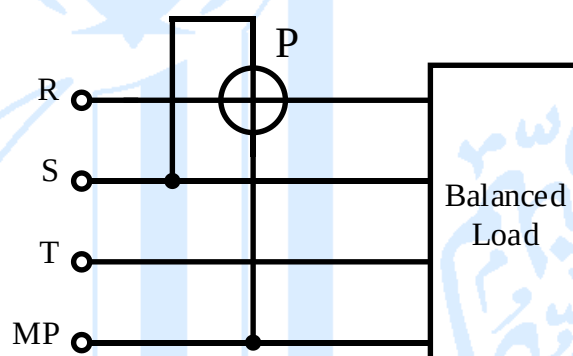


شکل (۷-۱۳)

شکل (۷-۱۳) شامل:

- خطوط فاز R, S, T و
- دو وات‌متر (W)
- شبکه سه مقاومت یکسان R برای ایجاد نقطه صفر مصنوعی
- بار (Load)

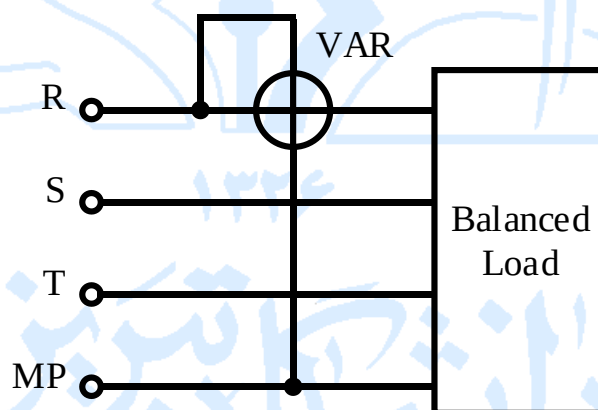
۷-۱۴- اندازه‌گیری توان راکتیو در مدارهای سه فاز چهار سیمه: چنانچه بار متعادل باشد می‌توان با استفاده از یک وات‌متر مطابق شکل (۷-۱۴) یا یک وارمتر مطابق شکل (۷-۱۵) توان راکتیو را اندازه گرفت. در مدار شکل (۷-۱۴) توان راکتیو از رابطه $Q = P\sqrt{3}$ و در مدار شکل (۷-۱۵) از رابطه $Q = 3Q_{ph}$ به دست می‌آید.



شکل (۷-۱۴)

شکل (۷-۱۴) شامل:

- خطوط فاز R, S, T و نول (MP)
- یک وات‌متر (P) متصل بین فازهای R و S و سیم‌پیچ جریانی در فاز R
- بار متعادل (Balanced Load)

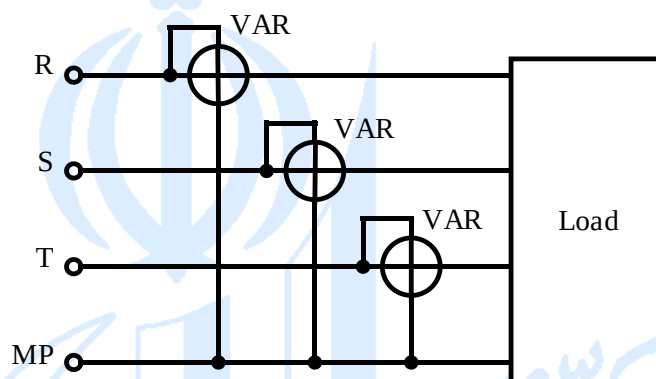


شکل (۷-۱۵)

شکل (۷-۱۵) شامل:

- خطوط فاز R, S, T و نول (MP)
- یک وارمتر (VAR) متصل بین فاز R و سیم نول (MP)
- بار متعادل (Balanced Load)

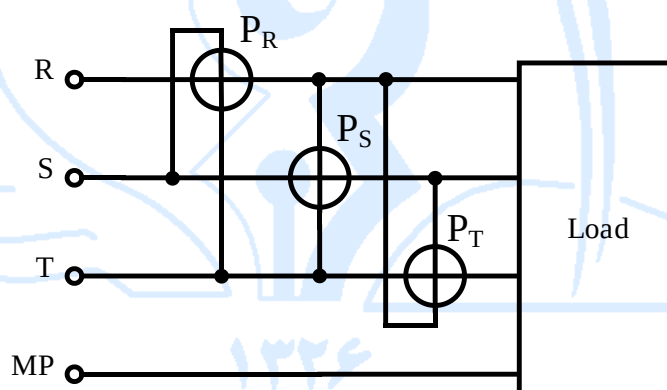
در مدارهای سه فاز چهار سیمه نامتعادل با استفاده از سه وات متر یا سه وارمتر مطابق شکل های (۷-۱۶) و (۷-۱۷) می توان توان راکتیو را تعیین کرد. در مدار شکل (۷-۱۶) توان راکتیو کل برابر مجموع وارمترها است، در صورتی که در مدار شکل (۷-۱۷) برای محاسبه توان کل بایستی مجموع انحراف وات مترها را بر $\sqrt{3}$ تقسیم کنیم.



شکل (۷-۱۶)

شکل (۷-۱۶) شامل:

- خطوط فاز R, S, T و نول (MP)
- سه وارمتر مجزا (VAR) در مسیر هر فاز نسبت به نول
- بار ($Load$)



شکل (۷-۱۷)

شکل (۷-۱۷) شامل:

- خطوط فاز R, S, T و نول (MP)
- سه وات متر (P_R, P_S, P_T) متصل بین فازها
- بار ($Load$)

سوالات آزمایش ۷:

۱- چنانچه در یک مدار سه فاز توان مصرفی را به روش دو واتمتری اندازه‌گیری نمائیم درستی رابطه زیر را تحقیق

کنید (P_1 و P_2 اعدادی هستند که وات‌مترها نشان می‌دهند):

$$\tan \varphi = \sqrt{3} \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}$$

۲- اگر سیم‌پیچی یکی از دو بوبین واتمتری معکوس شود عقربه آن در جهت عکس منحرف شود این پدیده را به

طریق ریاضی بررسی کنید.

۳- زاویه φ (اختلاف فاز) در بار متعادل چه تأثیری روی انحراف وات‌مترها در روش دو واتمتری (آرون) دارد.

۴- چرا حداکثر دقت ولت‌مترها در جریان مستقیم می‌باشد؟

۵- عناصر لازم برای تبدیل یک وات‌متر به وارمتر را نام برده و مدار آن را ترسیم کنید.

