



آزمایشگاه اندازه‌گیری و مدار الکتریکی (همراه با آموزش شبیه‌سازی مدار الکتریکی)

تألیف:

علی امام‌حسینی، محمدرضا شایسته
اعضای هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد



۱۳۹۶

سرشناسه	: امام‌حسینی، علی، ۱۳۲۶ -
عنوان و نام پدیدآور	: آزمایشگاه اندازه‌گیری و مدار الکتریکی (همراه با آموزش شبیه‌سازی مدار الکتریکی) // تألیف علی امام‌حسینی، محمدرضا شایسته
مشخصات نشر	: یزد: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یزد، ۱۳۹۶
مشخصات ظاهری	: ۱۲۳ص: مصور، جدول.
شابک	: ۹۷۸-۹۶۴-۱۰-۴۶۴۳-۱ ریال
موضوع	: نرم‌افزار پروتئوس
موضوع	: Proteus (Computer software)
موضوع	: مدارهای برقی -- دستنامه‌های آزمایشگاهی
موضوع	: Electric circuits -- Laboratory manuals
موضوع	: مدارهای برقی -- شبیه‌سازی کامپیوتری -- نرم افزار
موضوع	: Electric circuits -- Simulation methods -- Software
شناسه افزوده	: شایسته، محمدرضا، ۱۳۵۱ -
شناسه افزوده	: دانشگاه آزاد اسلامی . واحد یزد
رده‌بندی کنگره	: ۶۲۱/۳۱۰۷۸
رده‌بندی دیویی	: TK۴۵۴/الف۴۱۸ ۱۳۹۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۷۰۸۱۹۱
شماره مجوز ارشاد	:



آزمایشگاه اندازه‌گیری و مدار الکتریکی (همراه با آموزش شبیه‌سازی مدار الکتریکی)

■ نویسندگان: علی امام‌حسینی، محمدرضا شایسته

■ انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد

■ ناظر چاپ: حمید صادقی

■ ناظر فنی: مهندس محمد حرآبادیان

■ نوبت چاپ: اول / ۱۳۹۶

■ لیتوگرافی، چاپ و صحافی: سازمان چاپ و انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی

■ شمارگان: ۲۰۰۰ نسخه

■ قیمت: ۱۰۰/۰۰۰/ریال

■ شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۱۰-۴۶۴۳-۱

انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد

E Mail: entesharat_elmi@iauyazd.ac.ir

نشانی: یزد- صفائیه- دانشگاه آزاد اسلامی- انتشارات- ۸۱۱۷۲۸۰-۸۲۱۴۸۱۳-۰۳۵۱

حق چاپ برای انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد محفوظ است.

تلفن مرکز پخش: ۰۳۵-۳۸۲۱۴۸۱۳

سخن ناشر

بسمه تعالی

اندازه‌گیری الکتریکی یکی از موضوعات مهم در مبحث الکترونیک است. اندازه‌گیری برای انجام کارهای تعمیراتی، سرویس، نگهداری از سیستم‌ها و دستگاه‌های برقی، امور تحقیقاتی و آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد و انجام این امور بدون اندازه‌گیری صحیح فایده نخواهد داشت.

مجموعه‌ای که به پیشگاه علاقه‌مندان تقدیم می‌شود حاصل تلاش خستگی‌ناپذیر اساتید بزرگوار جناب آقای علی امام‌حسینی و جناب آقای محمدرضا شایسته است که شامل تعاریف اندازه‌گیری، آشنایی با قطعات، دستگاه‌ها و منابع الکتریکی، آموزش نرم‌افزار پروتئوس، آشنایی عملی با مدارات الکتریکی، اندازه‌گیری صحیح کمیت‌های مجهول و به صورت مختصر تحقق اندوخته‌های علمی در آزمایشگاه به صورت عملی می‌باشد.

در پایان بر خود لازم می‌دانم که از اعضای فرهیخته شورای انتشارات و نیز داوران و ویراستاران علمی و ادبی و همه عزیزانی که در راه انتشار این مجموعه تلاش کرده‌اند به‌ویژه از سرکار خانم دکتر معصومه طباطبائی رئیس محترم دانشگاه و جناب آقای دکتر نوید نصیری زاده معاون محترم پژوهش و فناوری که همواره عنایت ویژه‌ای به مجموعه انتشارات علمی دانشگاه دارند و همچنین جناب آقای مهندس محمد حرآبادیان به پاس زحمات فراوانشان صمیمانه قدردانی و سپاسگزاری نمایم.

به امید توفیق الهی

حمید صادقی

مدیر مسئول انتشارات علمی دانشگاه

مقدمه مولفان

در کشور ما استقلال از تمام جنبه‌ها مد نظر است و استقلال علمی هم جزئی تفکیک‌ناپذیر از آن به شمار می‌رود. برای رسیدن به این هدف وجود منابع علمی ضروری می‌باشد. همین انگیزه موجب ترغیب و تشویق ما در تألیف این کتاب شده است.

برای دانشجویان رشته‌های فنی و مهندسی علاوه بر آموختن دروس تئوری، فراگیری دروس کارگاهی و آزمایشگاهی از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. در واقع آزمایشگاه محلی برای تحقیق اندوخته‌های تئوری است. کتابی که در پیش رو دارید یک دستور کار استاندارد آزمایشگاه‌های مدار و اندازه‌گیری الکتریکی برای دانشجویان مقطع کاردانی و کارشناسی رشته مهندسی برق می‌باشد. در مقدمه این کتاب ابتدا انواع المان‌های مدار الکتریکی و روش تست سالم بودن آن‌ها و نیز انواع منابع الکتریکی معرفی می‌شوند. سپس به مفاهیم مهم اندازه‌گیری الکتریکی، معرفی دستگاه‌های اندازه‌گیری الکتریکی، خطاهای ناشی از اندازه‌گیری پرداخته می‌شود. در ادامه دستورالعمل دوازده آزمایش استاندارد مبتنی بر مفاهیم پایه‌ای برای آموزش قوانین، قضایا و قواعد اندازه‌گیری در مدارهای الکتریکی بیان می‌شود که دانشجویان و دانش‌پژوهان با استفاده از آن می‌توانند در آزمایشگاه با انجام این آزمایش‌ها، مطالب تئوری که از قبل فرا گرفته‌اند را به‌صورت عملی تجربه نمایند. علاوه بر آن، در این کتاب نرم‌افزار شبیه‌ساز پروتئوس (Proteus) هم آموزش داده شده و روش مدل‌سازی و شبیه‌سازی مدارهای این دوازده آزمایش با استفاده از نرم‌افزار مذکور با بیانی ساده مطرح شده است.

بی‌شک هیچ نوشته‌ای عاری از نقص نیست؛ بنابراین از خوانندگان عزیز و گرامی استدعا می‌شود تا با ارسال نظرات خود به انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، ما را در غنای هر چه بیشتر نگارش‌های بعدی این کتاب یاری نمایند. در اینجا لازم است از کلیه عزیزانی که در تهیه این کتاب ما را یاری کردند تشکر و قدردانی شود. در خاتمه از جناب آقای حمید صادقی مدیرمسئول محترم انتشارات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد کمال قدردانی می‌گردد.

علی امام‌حسینی - محمدرضا شایسته

اعضای هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد

فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
مقدمه.....	۱
مفاهیم اندازه گیری.....	۱
تعریف اندازه.....	۱
تعریف اندازه گیری.....	۱
طبقه بندی دستگاه های اندازه گیری.....	۲
خطا.....	۳
صحت.....	۳
دقت.....	۳
خطاهای ناشی از دستگاه اندازه گیری.....	۳
خطای بارگذاری دستگاه اندازه گیری.....	۴
خطای ناشی از تأثیر عوامل خارجی مؤثر روی دستگاه اندازه گیری.....	۴
شناخت المان ها، دستگاه ها و منابع الکتریکی.....	۵
مقاومت الکتریکی.....	۵
موارد خاص.....	۷
سلف.....	۱۳
خازن.....	۱۵
روش تست سالم یا خراب بودن خازن.....	۱۶
منابع تغذیه.....	۱۷
دستگاه اندازه گیری مولتی متر.....	۲۰
دستگاه های اندازه گیری چهار سیمه.....	۲۱
وات متر.....	۲۳
وارمتر.....	۲۴
کنتور.....	۲۴
انواع کنتور.....	۲۵
برد مورد.....	۲۶

صفحه	عنوان
۲۶	آموزش نرم افزار پروتئوس.....
۲۷	آشنایی با محیط نرم افزار پروتئوس.....
۲۹	منوی فرمان.....
۲۹	شبیه سازی مدارات آنالوگ.....
۲۹	آوردن قطعات از کتابخانه نرم افزار.....
۳۱	سیم کشی بین قطعات.....
۳۳	روش مقداردهی به قطعات.....
۳۴	بررسی منابع ورودی.....
۳۶	منبع سینوسی.....
۳۸	منبع پالس.....
۳۹	منبع توان.....
۴۰	منبع SFFM.....
۴۰	منبع PWLIN.....
۴۱	دستگاه های اندازه گیری.....
۴۲	اسیلوسکوپ.....
۴۳	LOGIC ANALYSER.....
۴۳	COUNTER TIMER.....
۴۳	سیگنال ژنراتور و پترن ژنراتور.....
۴۴	ولت متر و آمپر متر AC و DC.....
۴۴	تحلیل مدار توسط پروتئوس.....
۴۹	آزمایش شماره یک: تحقیق قضیه اهم.....
۵۳	آزمایش شماره دو: تحقیق قضیه KVL، تقسیم ولتاژ، قضیه KCL و تقسیم جریان.....
۵۹	آزمایش شماره سه: تحقیق قضیه جمع آثار.....
۶۳	آزمایش شماره چهار: تحقیق قضایای تونن و نورتن.....
۶۷	آزمایش شماره پنج: تحقیق قضیه انتقال ماکزیمم توان و قضیه تقابل هم پاسخی.....
۷۱	آزمایش شماره شش: اندازه گیری ولتاژ، زمان تناوب و فرکانس با استفاده از اسیلوسکوپ.....
۷۷	آزمایش شماره هفت: اندازه گیری جریان و اختلاف فاز توسط اسیلوسکوپ.....

عنوان

صفحه

آزمایش شماره هشت: بررسی پاسخ پله مدارات مرتبه اول RC، RL و اندازه‌گیری.....	۸۵
آزمایش شماره نه: بررسی پاسخ پله مدارات مرتبه دوم RLC و اندازه‌گیری پارامترهای.....	۹۳
آزمایش شماره ده: بررسی فیلترهای بالاگذر، پایین‌گذر و میان‌نگذر.....	۹۷
آزمایش شماره یازده: اندازه‌گیری مقاومت (امپدانس) مجهول با روش‌های مقایسه.....	۱۰۵
آزمایش شماره دوازده: اندازه‌گیری ظرفیت سلف و خازن مجهول.....	۱۰۹
منابع.....	۱۱۳

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- ساختار داخلی مقاومت کربنی.....	۵
شکل ۱-۲- نوارهای رنگی مقاومت.....	۶
شکل ۱-۳- جدول کد رنگی برای محاسبه مقدار مقاومت.....	۷
شکل ۱-۴- مقاومت.....	۸
شکل ۱-۵- مقاومت.....	۸
شکل ۱-۶- توان مقاومت به ترتیب از راست به چپ چپ- $\frac{1}{8}$ ، $\frac{1}{4}$ ، $\frac{1}{2}$ ، $\frac{1}{5}$ ، ۲ و ۳ وات.....	۱۰
شکل ۱-۷- رئوستا.....	۱۲
شکل ۱-۸- ولوم.....	۱۲
شکل ۱-۹- پتانسیومتر.....	۱۳
شکل ۱-۱۰- انواع مقاومت‌های متغیر وابسته.....	۱۳
شکل ۱-۱۱- سلف.....	۱۴
شکل ۱-۱۲- خازن الکترولیتی.....	۱۵
شکل ۱-۱۳- به ترتیب از چپ به راست خازن‌های عدسی، پلی‌استر و تانتانیوم.....	۱۶
شکل ۱-۱۴- منبع تغذیه DC.....	۱۸
شکل ۱-۱۵- شکل مداری منبع تغذیه DC.....	۱۸
شکل ۱-۱۶- فانکشن ژنراتور.....	۱۹
شکل ۱-۱۷- شکل مداری منبع تغذیه AC.....	۲۰
شکل ۱-۱۸- مولتی متر.....	۲۰
شکل ۱-۱۹- شکل مداری ولت‌متر و آمپر متر.....	۲۱
شکل ۱-۲۰- $\cos\phi$ متر آنالوگ و دیجیتالی.....	۲۳
شکل ۱-۲۱- وات متر.....	۲۴
شکل ۱-۲۲- وارمتر.....	۲۴
شکل ۱-۲۳- کنتور مکانیکی و دیجیتالی.....	۲۵
شکل ۱-۲۴- برد مورد.....	۲۶
شکل ۱-۲۵- محیط نرم‌افزار پروتئوس.....	۲۷

عنوان

صفحه

شکل ۱-۲۶- منوهای اصلی.....	۲۷
شکل ۱-۲۷- منوهای کاربردی.....	۲۷
شکل ۱-۲۸- منوهای ابزار و انتخاب.....	۲۸
شکل ۱-۲۹- منوهای تعیین موقعیت.....	۲۸
شکل ۱-۳۰- منوی انتخاب قطعات.....	۲۸
شکل ۱-۳۱- منوی فرمان.....	۲۹
شکل ۱-۳۲- آوردن قطعات از کتابخانه نرم افزار.....	۲۹
شکل ۱-۳۳- انتخاب قطعات.....	۳۰
شکل ۱-۳۴- چرخاندن قطعه.....	۳۱
شکل ۱-۳۵- المان های آورده شده به صفحه.....	۳۱
شکل ۱-۳۶- انتخاب گزینه SELECTION MODE.....	۳۱
شکل ۱-۳۷- قرار دادن موس بر روی پایه قطعه.....	۳۲
شکل ۱-۳۸- برچسب گذاری GROUND.....	۳۲
شکل ۱-۳۹- مدار رسم شده در نرم افزار پروتئوس.....	۳۳
شکل ۱-۴۰- مقداردهی به قطعات.....	۳۳
شکل ۱-۴۱- منابع ورودی.....	۳۴
شکل ۱-۴۲- اضافه کردن LED به میز کار.....	۳۴
شکل ۱-۴۳- تنظیمات منبع.....	۳۵
شکل ۱-۴۴- روشن شدن LED.....	۳۶
شکل ۱-۴۵- انتخاب گزینه OSCILLOSCOPE.....	۳۶
شکل ۱-۴۶- شکل ظاهری اسیلوسکوپ در نرم افزار.....	۳۷
شکل ۱-۴۷- پنجره مربوط به تنظیمات منبع سینوسی.....	۳۷
شکل ۱-۴۸- پنجره مربوط به تنظیمات منبع پالس.....	۳۸
شکل ۱-۴۹- پنجره مربوط به تنظیمات منبع توان.....	۳۹
شکل ۱-۵۰- پنجره مربوط به تنظیمات منبع SFFM.....	۴۰
شکل ۱-۵۱- پنجره مربوط به تنظیمات منبع PWLIN.....	۴۱
شکل ۱-۵۲- ابزارهای اندازه گیری در INSTRUMENTS.....	۴۱

عنوان

صفحه

شکل ۱-۵۳- پنجره مربوط به تنظیمات اسیلوسکوپ.....	۴۲
شکل ۱-۵۴- پنجره مربوط به تنظیمات LOGIC ANALYSER.....	۴۳
شکل ۱-۵۵- ابزار شمارنده زمان.....	۴۳
شکل ۱-۵۶- پروب اندازه‌گیری ولتاژ و جریان.....	۴۴
شکل ۱-۵۷- یک نمونه مدار طراحی شده در پروتئوس.....	۴۵
شکل ۱-۵۸- اضافه کردن پروب ولتاژ به ورودی و خروجی مدار.....	۴۵
شکل ۱-۵۹- انتخاب گزینه ANALOGUE.....	۴۶
شکل ۱-۶۰- ابزار آنالیز آنالوگ.....	۴۶
شکل ۱-۶۱- پنجره تنظیمات مربوط به زمان شروع و خاتمه.....	۴۷
شکل ۱-۶۲- اضافه کردن پروب به مدار.....	۴۷
شکل ۱-۶۳- نمایش شکل موج‌ها.....	۴۸

آزمایش شماره ۱

شکل ۱-۱- مدار بررسی قضیه اهم.....	۴۹
شکل ۱-۲- نمودار جریان بر حسب ولتاژ مقاومت خروجی.....	۵۰
شکل ۱-۳- مدار بررسی قضیه اهم در پروتئوس.....	۵۱

آزمایش شماره ۲

شکل ۲-۱- مدار بررسی قضیه KVL.....	۵۳
شکل ۲-۲- مدار بررسی قضیه KVL در پروتئوس.....	۵۴
شکل ۲-۳- مدار بررسی تقسیم ولتاژ.....	۵۵
شکل ۲-۴- مدار بررسی تقسیم ولتاژ در پروتئوس.....	۵۵
شکل ۲-۵- مدار بررسی قضیه KCL.....	۵۶
شکل ۲-۶- مدار بررسی قضیه KCL در پروتئوس.....	۵۷
شکل ۲-۷- مدار بررسی تقسیم جریان.....	۵۷
شکل ۲-۸- مدار بررسی تقسیم جریان در پروتئوس.....	۵۸

آزمایش شماره ۳

شکل ۳-۱- مدار بررسی قضیه جمع آثار.....	۵۹
شکل ۳-۲- مدار بررسی قضیه جمع آثار در پروتئوس.....	۶۰

عنوان

صفحه

شکل ۳-۳- مدار شکل (۲-۳) در حالی که منبع V_{S2} خنثی شده..... ۶۰

شکل ۳-۴- مدار شکل (۲-۳) در حالی که منبع V_{S1} خنثی شده..... ۶۱

آزمایش شماره ۴

شکل ۴-۱- مدار معادل نورتن و تونن..... ۶۳

شکل ۴-۲- مدار بررسی معادل تونن..... ۶۴

شکل ۴-۳- مدار بررسی قضیه آثار و معادل تونن..... ۶۴

شکل ۴-۴- مدار بررسی معادل تونن در پروتئوس..... ۶۵

شکل ۴-۵- مدار بررسی معادل نورتن در پروتئوس..... ۶۵

آزمایش شماره ۵

شکل ۵-۱- مدار بررسی قضیه انتقال ماکزیمم توان..... ۶۷

شکل ۵-۲- منحنی تغییرات PL بر حسب RL ۶۸

شکل ۵-۳- مدار بررسی قضیه انتقال ماکزیمم توان در پروتئوس..... ۶۸

شکل ۵-۴- مدار بررسی قضیه تقابل هم پاسخی..... ۶۹

شکل ۵-۵- مدار بررسی قضیه تقابل هم پاسخی در پروتئوس..... ۶۹

آزمایش شماره ۶

شکل ۶-۵- مدار بررسی قضیه تقابل هم پاسخی در پروتئوس..... ۷۰

شکل ۶-۱- دستگاه اندازه گیری اسیلوسکوپ..... ۷۱

شکل ۶-۲- پروب..... ۷۳

آزمایش شماره ۷

شکل ۷-۱- اندازه گیری جریان توسط اسیلوسکوپ..... ۷۸

شکل ۷-۲- نمودار جریان خروجی بر حسب زمان..... ۷۸

شکل ۷-۳- اندازه گیری جریان توسط اسیلوسکوپ در پروتئوس..... ۷۸

شکل ۷-۴- شکل موج اسیلوسکوپ..... ۷۹

شکل ۷-۵- مدار بررسی اندازه گیری اختلاف فاز..... ۷۹

شکل ۷-۶- اختلاف فاز به روش هم زمانی دو شکل موج..... ۸۰

شکل ۷-۷- مدار بررسی اندازه گیری اختلاف فاز در پروتئوس..... ۸۱

شکل ۷-۸- شکل موج نمایش داده شده توسط اسیلوسکوپ..... ۸۱

عنوان

صفحه

شکل ۷-۹- اختلاف فاز به روش همزمانی دو شکل موج.....	۸۲
شکل ۷-۱۰- منحنی لیسازر.....	۸۳
شکل ۷-۱۱- حالت‌های مختلف منحنی لیسازر.....	۸۳

آزمایش شماره ۸

شکل ۸-۱- مدار RC سری.....	۸۶
شکل ۸-۲- شکل موج خروجی مدار RC سری.....	۸۶
شکل ۸-۳- مدار RC سری در پروتئوس.....	۸۶
شکل ۸-۴- شکل موج خروجی مدار RC سری.....	۸۷
شکل ۸-۵- مدار RL سری.....	۸۷
شکل ۸-۶- شکل موج خروجی مدار RL سری.....	۸۷
شکل ۸-۷- مدار RL سری در پروتئوس.....	۸۸
شکل ۸-۸- شکل موج خروجی مدار RL سری.....	۸۸
شکل ۸-۹- مدار RC موازی.....	۸۸
شکل ۸-۱۰- شکل موج خروجی مدار RC موازی.....	۸۹
شکل ۸-۱۱- مدار RC موازی در پروتئوس.....	۸۹
شکل ۸-۱۲- شکل موج خروجی مدار RC موازی در پروتئوس.....	۸۹
شکل ۸-۱۳- مدار RL موازی.....	۹۰
شکل ۸-۱۴- شکل موج خروجی مدار RL موازی.....	۹۰
شکل ۸-۱۵- مدار RL موازی در پروتئوس.....	۹۰
شکل ۸-۱۶- شکل موج خروجی مدار RL موازی در پروتئوس.....	۹۱

آزمایش شماره ۹

شکل ۹-۱- مدار RLC موازی.....	۹۳
شکل ۹-۲- شکل موج خروجی مدار RLC موازی.....	۹۴
شکل ۹-۳- شکل موج خروجی برای محاسبه مقاومت بحرانی.....	۹۴
شکل ۹-۴- مدار RLC موازی در پروتئوس.....	۹۵
شکل ۹-۵- شکل موج خروجی مدار RLC موازی در پروتئوس.....	۹۵

آزمایش شماره ۱۰

- شکل ۱۰-۱- مدار RC به عنوان فیلتر بالا گذر..... ۹۸
- شکل ۱۰-۲- رسم شکل موج خروجی..... ۹۸
- شکل ۱۰-۳- مدار RC به عنوان فیلتر بالا گذر در پروتئوس..... ۹۸
- شکل ۱۰-۴- شکل موج خروجی مدار RC به عنوان فیلتر بالا گذر..... ۹۹
- شکل ۱۰-۵- مدار RC به عنوان فیلتر پایین گذر..... ۹۹
- شکل ۱۰-۶- رسم شکل موج خروجی..... ۱۰۰
- شکل ۱۰-۷- مدار RC به عنوان فیلتر پایین گذر در پروتئوس..... ۱۰۰
- شکل ۱۰-۸- شکل موج خروجی مدار RC به عنوان فیلتر پایین گذر..... ۱۰۰
- شکل ۱۰-۹- مدار RLC به عنوان فیلتر میان نگذر..... ۱۰۱
- شکل ۱۰-۱۰- رسم شکل موج خروجی..... ۱۰۱
- شکل ۱۰-۱۱- مدار RLC به عنوان فیلتر میان نگذر در پروتئوس..... ۱۰۲
- شکل ۱۰-۱۲- شکل موج خروجی مدار RLC به عنوان فیلتر میان نگذر..... ۱۰۲
- شکل ۱۰-۱۳- نمودار ولتاژ خروجی مدار فیلتر میان نگذر..... ۱۰۳

آزمایش شماره ۱۱

- شکل ۱۱-۱- مدار بررسی اندازه گیری مقاومت مجهول..... ۱۰۵
- شکل ۱۱-۲- مدار بررسی اندازه گیری مقاومت مجهول در پروتئوس..... ۱۰۶
- شکل ۱۱-۳- پل وتسون..... ۱۰۷
- شکل ۱۱-۴- پل وتسون در پروتئوس..... ۱۰۸

آزمایش شماره ۱۲

- شکل ۱۲-۱- مدار اندازه گیری ظرفیت خازن مجهول به روش ولت متر و آمپر متر..... ۱۰۹
- شکل ۱۲-۲- مدار اندازه گیری ظرفیت خازن مجهول به روش ولت متر و آمپر متر..... ۱۱۰
- شکل ۱۲-۳- مدار اندازه گیری مقدار سلف مجهول به روش ولت متر و آمپر متر..... ۱۱۱
- شکل ۱۲-۴- مدار اندازه گیری مقدار سلف مجهول به روش ولت متر و آمپر متر در..... ۱۱۱

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- جدول نوارهای رنگی استاندارد.....	۶
جدول ۲-۱- نوارهای رنگی تلرانس.....	۹
جدول ۳-۱- حروف مربوط به تلرانس.....	۹
آزمایش شماره ۱	
جدول ۱-۱- مقدار ولتاژ و جریان مقاومت R.....	۴۹
جدول ۲-۱- ولتاژ و جریان مقاومت R با ولتاژ ورودی ۱۰ ولت.....	۵۰
آزمایش شماره ۲	
جدول ۱-۲- اندازه‌گیری ولتاژهای V_s, V_1, V_2, V_3	۵۳
جدول ۲-۲- اندازه‌گیری V_1, V_2	۵۵
جدول ۳-۲- اندازه‌گیری جریان‌های I_s, I_1, I_2, I_3	۵۶
جدول ۴-۲- اندازه‌گیری جریان‌های I_1, I_2	۵۸
آزمایش شماره ۳	
جدول ۱-۳- ولتاژها و جریان‌های قضیه جمع آثار.....	۶۰
آزمایش شماره ۴	
جدول ۱-۴- اندازه‌گیری R_{th} و V_{TH}, I_N	۶۴
جدول ۲-۴- اندازه‌گیری مقادیر قضیه جمع آثار و معادل تونن شکل (۳-۴).....	۶۴
آزمایش شماره ۵	
جدول ۱-۵- اندازه‌گیری ولتاژ و محاسبه توان خروجی.....	۶۷
جدول ۲-۵- اندازه‌گیری I_1 و I_2	۶۹
آزمایش شماره ۷	
جدول ۱-۷- اندازه‌گیری اختلاف فاز به روش هم‌زمانی دو شکل موج.....	۸۰
جدول ۲-۷- اندازه‌گیری اختلاف فاز به روش منحنی لیسائز.....	۸۲
آزمایش شماره ۱۰	
جدول ۱-۱۰- اندازه‌گیری ولتاژ خروجی با تغییر فرکانس.....	۹۸
جدول ۲-۱۰- اندازه‌گیری ولتاژ خروجی با تغییر فرکانس.....	۱۰۰
جدول ۳-۱۰- اندازه‌گیری ولتاژ خروجی با تغییر فرکانس.....	۱۰۱

آزمایش شماره ۱۱

جدول ۱-۱۱- اندازه گیری V و V_X و محاسبه R_X ۱۰۶

آزمایش شماره ۱۲

جدول ۱-۱۲- اندازه گیری V و I و محاسبه CX ۱۱۰

جدول ۲-۱۲- اندازه گیری R و V و a و محاسبه L_X ۱۱۱

مقدمه

مفاهیم اندازه‌گیری

اندازه‌گیری از جهات مختلف دارای اهمیت ویژه‌ای است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- برای انجام کارهای تعمیراتی، سرویس، نگهداری از سیستم‌ها و دستگاه‌های برقی باید عمل اندازه‌گیری، صورت گیرد. چنان چه عمل اندازه‌گیری به شکل صحیح انجام نگیرد، این فعالیت‌ها نمی‌تواند به درستی صورت پذیرد.
- برای انجام کارهای تحقیقاتی و آزمایشگاهی، بخش اصلی کار عمل اندازه‌گیری است؛ بنابراین بدون اندازه‌گیری صحیح، انجام این فعالیت‌ها بی‌معنی است.

با توجه به اینکه دستگاه‌های اندازه‌گیری الکتریکی و الکترونیکی، نسبت به دستگاه‌های مکانیکی و الکترومکانیکی دارای ویژگی‌هایی از قبیل حجم کمتر، وزن کمتر، سرعت بیشتر، صحت اندازه‌گیری زیادتر و غیره هستند؛ بنابراین کمیت‌های فیزیکی غیر الکتریکی را به‌طور مناسب به سیگنال الکتریکی تبدیل کرده و با اندازه‌گیری آن و اعمال ضریب تناسب، مقدار کمیت مجهول را می‌توان به دست آورد؛ بنابراین اگر عمل اندازه‌گیری به شکل صحیح صورت نگیرد، مقدار کمیت مجهول نیز صحیح اندازه‌گیری نمی‌شود.

تعریف اندازه

بیان یک پدیده به‌صورت کمی و همچنین یک عدد، همراه با واحد را اندازه می‌نامند.

تعریف اندازه‌گیری

اندازه‌گیری عمل مقایسه بین یک کمیت مجهول با یک واحد از همان نوع است؛ بنابراین عمل اندازه‌گیری به دو چیز نیاز دارد:

- ۱- داشتن یک واحد استاندارد قابل قبول.
- ۲- داشتن وسیله‌ای که قابل تکرار باشد.

طبقه‌بندی دستگاه‌های اندازه‌گیری

۱- دستگاه‌های اندازه‌گیری آنالوگ: در این نوع دستگاه‌های اندازه‌گیری حرکت نمایش‌دهنده خروجی، به‌طور پیوسته است؛ بنابراین بین هر دونقطه‌ای که در نظر بگیریم، تعداد زیادی نقطه دیگر وجود دارد؛ مانند مولتی متر آنالوگ، کیلومتر شمار آنالوگ، دماسنج جیوه‌ای و غیره.

۲- دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتال: دستگاه‌هایی هستند که نمایش‌دهنده خروجی آن‌ها به‌طور گسسته است؛ بنابراین بین هر دو نقطه، نقطه دیگری وجود ندارد. به‌عنوان مثال ولت‌متری که تا دو رقم اعشار را نشان می‌دهد بعد از ۱۵/۳۵ ولت، عدد ۱۵/۳۶ ولت را نشان می‌دهد و بین این دو عدد، عدد دیگری وجود ندارد.

همچنین دستگاه‌های اندازه‌گیری به دودسته زیر تقسیم می‌شوند:

۱- دستگاه‌های اندازه‌گیری DC

۲- دستگاه‌های اندازه‌گیری AC

به‌طور کلی سیگنال‌های الکتریکی به دو شکل ثابت با زمان که به آن‌ها شکل موج‌های DC گفته می‌شود و باگذشت زمان دارای یک مقدار ثابت می‌باشند (مانند باتری موبایل). دسته دوم شکل موج‌هایی هستند که باگذشت زمان تغییر می‌کنند و به‌صورت پریودیک می‌باشند.

برای شکل موج‌های AC مؤلفه‌های مختلفی وجود دارد که شامل مقدار لحظه‌ای، مقدار پیک، مقدار پیک تا پیک، مقدار متوسط و مقدار مؤثر است. دستگاه‌های اندازه‌گیری AC قادر به اندازه‌گیری مقدار مؤثر شکل موج ورودی هستند.

$$F(t) = V_m \sin \omega t \quad (1-1)$$

$$V_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (2-1)$$

$$V_{rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3-1)$$

$$V_{p-p} = 2\sqrt{2} V_{rms} \quad (4-1)$$

$$V_p = \sqrt{2} V_{rms} \quad (5-1)$$

معمولاً هر عمل اندازه‌گیری با خطاهایی همراه است؛ بنابراین برای کاهش خطاها لازم است تا حد امکان عوامل ایجادکننده آن‌ها شناخته شود. همچنین در مواردی که امکان دارد، مقدار خطا محاسبه شود.

خطا

اختلاف بین مقدار اندازه‌گیری شده با مقدار واقعی یک کمیّت را خطا می‌نامند.
 مقدار واقعی - مقدار اندازه‌گیری شده = خطا
 طبق تعریف فوق خطا می‌تواند یک عدد مثبت یا یک عدد منفی و یا صفر باشد.

صحت

به معنای نزدیکی به واقعیت است؛ بنابراین هرچقدر صحت یک اندازه‌گیری بیشتر باشد، خطای آن کمتر است و برعکس.

دقت

قابلیت تکرار یک دستگاه اندازه‌گیری در به دست آوردن نتایج یکسان یک کمیّت معین، در اندازه‌گیری‌های متعدد است. به زبان ساده‌تر یعنی اگر توسط یک دستگاه یک کمیّت ثابت چندین مرتبه اندازه‌گیری شود، هنگامی دستگاه دقت دارد که در حالت‌های مختلف، جواب‌های یکسانی به دست آورد. داشتن دقت برای یک دستگاه اندازه‌گیری الزاماً داشتن صحت را به همراه ندارد ولی عکس آن صادق است.

مثال: یک ولتاژ ۱۵ ولتی توسط یک ولت‌متر مشخص ۱۰ مرتبه اندازه‌گیری شده و هر ۱۰ مرتبه ولت‌متر عدد ۱۴ را نشان می‌دهد، نتیجه می‌گیریم که این ولت‌متر دقت کافی داشته است؛ اما صحت نداشته است.

خطاهای ناشی از دستگاه اندازه‌گیری

خرابی دستگاه اندازه‌گیری: منظور از خرابی دستگاه آن نیست که عمل اندازه‌گیری صورت نگیرد؛ زیرا در این حالت خطایی وجود ندارد؛ بلکه به دلیل خرابی بخشی از دستگاه، عمل اندازه‌گیری صورت می‌گیرد ولی همراه با خطا است. به عنوان مثال در یک دستگاه اندازه‌گیری آنالوگ اگر فنر ضعیف باشد، مقدار اندازه‌گیری شده از مقدار واقعی کمیّت بیشتر است؛ بنابراین هرچند وقت یک‌بار لازم است دستگاه مورد آزمایش با یک دستگاه تنظیم‌شده، مقایسه شود.

استفاده غیر صحیح از دستگاه اندازه‌گیری: قبل از هرگونه عمل اندازه‌گیری روش استفاده صحیح از دستگاه و همچنین تنظیمات آن را بشناسیم تا اندازه‌گیری صحیحی داشته باشیم. دستگاه اندازه‌گیری باید کالیبره باشد. به‌عنوان مثال هنگام اندازه‌گیری مقاومت باید ابتدا دو سیم اهم‌تر را به هم اتصال دهیم و عقربه را روی صفر تنظیم کنیم.

خطای بارگذاری دستگاه اندازه‌گیری

در حالت ایده آل دستگاه‌های اندازه‌گیری که به‌طور موازی با مدار قرار می‌گیرند دارای مقاومت بی‌نهایت و دستگاه‌هایی که به‌طور سری قرار می‌گیرند، دارای مقاومت صفر می‌باشند؛ اما از نظر عملی و واقعی مقاومت داخلی دستگاه‌هایی که به‌صورت موازی قرار می‌گیرند، بسیار زیاد است مانند ولت‌متر. همچنین مقاومت دستگاه‌هایی که به‌طور سری در مدار قرار می‌گیرند، بسیار کم است ولی برابر صفر نیست مانند آمپر‌متر؛ بنابراین هنگامی که یک دستگاه اندازه‌گیری به مدار اتصال داده می‌شود از نظر عملی یک مقاومت به آن قسمت مدار، متصل می‌شود. این امر باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری می‌شود؛ بنابراین خطای بارگذاری، خطایی ناشی از تأثیر مقاومت داخلی دستگاه اندازه‌گیری در مدار است.

خطای ناشی از تأثیر عوامل خارجی مؤثر روی دستگاه اندازه‌گیری

عوامل خارجی مزاحم روی دستگاه اندازه‌گیری می‌تواند باعث ایجاد خطا در آن دستگاه کند؛ مانند درجه حرارت (درجه حرارت استاندارد برای کلیه قطعات، سیستم‌ها و وسایل برقی ۲۵ درجه سانتی‌گراد است). چنان‌چه دما از این مقدار کمتر یا بیشتر شود در اندازه‌گیری، خطا به وجود می‌آید. رطوبت، گردوغبار، لرزش، میدان‌های مزاحم خارجی مغناطیسی و الکتریکی و غیره می‌تواند در ایجاد خطا روی دستگاه اندازه‌گیری مؤثر باشد؛ بنابراین برای کاهش این نوع خطاها باید دستگاه اندازه‌گیری را از این عوامل مزاحم خارجی، حفاظت کرد.

* نکته: باید توجه داشت که هر چقدر رنج دستگاه اندازه‌گیری بیشتر باشد، خطای اندازه‌گیری نیز افزایش می‌یابد؛ بنابراین در عمل رنج دستگاه باید روی اولین

رنج بعد از مقدار کمیّت مجهول ورودی باشد؛ زیرا اگر رنج دستگاه کمتر از مقدار کمیّت باشد دستگاه اندازه‌گیری قابلیت به دست‌آوردن آن را نداشته و در بیشتر مواقع باعث صدمه رسیدن به دستگاه می‌شود. همچنین اگر رنج دستگاه بیشتر از اولین رنج بعد از کمیّت باشد، اندازه‌گیری صورت می‌گیرد ولی همراه با خطای بیشتری است؛ بنابراین با توجه به آن‌که مقدار کمیّت ورودی مجهول است لذا رنج دستگاه اندازه‌گیری را از زیاد، پله‌پله کم می‌کنیم تا در محدوده اولین رنج بعد از کمیّت مجهول قرار گیرد.

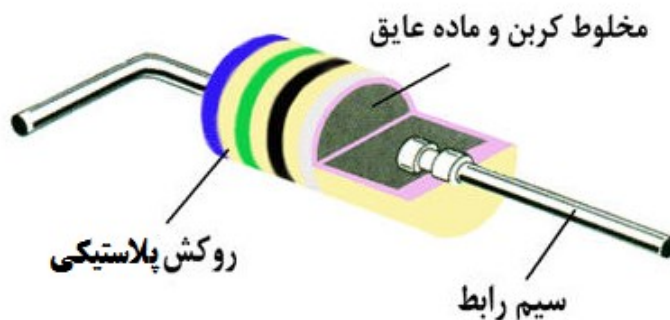
شناخت المان‌ها، دستگاه‌ها و منابع الکتریکی

مقاومت الکتریکی

مقاومت الکتریکی عامل مخالفت‌کننده با جریان الکتریکی است که هرچقدر مقدار آن بیشتر باشد، جریان عبوری از مدار کمتر می‌شود و برعکس. از این المان برای تقسیم ولتاژ نیز استفاده می‌شود.

به‌طور کلی مقاومت‌ها به دو دسته مقاومت‌های ثابت و مقاومت‌های متغیر تقسیم می‌شوند. دسته اول مقاومت‌های ثابت مقدار اهم آن‌ها همواره ثابت بوده و قابل تغییر نیست. البته برخی از عوامل محیطی مانند درجه حرارت می‌توانند تا اندازه‌ای مقدار اهم مقاومت را تغییر دهند.

مقاومت‌های ثابت دارای پنج پارامتر عملی زیر می‌باشند:

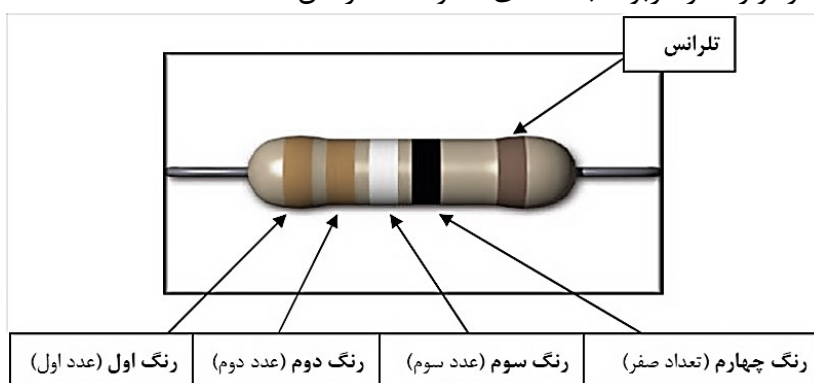


شکل ۱-۱- ساختار داخلی مقاومت کربنی

۱- مقدار اهم مقاومت

اهم‌سنج دستگاه اندازه‌گیری است که به‌طور مستقیم مقدار اهم مقاومت را اندازه می‌گیرد ولی از نظر عملی مقدار نامی اهم مقاومت به دو شکل زیر می‌تواند روی بدنه آن مشخص شود.

الف- استفاده از طوقه‌های رنگی (نوارهای رنگی): در این روش معمولاً چهار طوقه رنگی روی بدنه مقاومت وجود دارد که به ترتیب از طرفی که طوقه رنگی به پایه نزدیک‌تر است، اولین نوار رنگی، اولین رقم و دومین نوار رنگی، دومین رقم را مشخص می‌کند و سومین نوار رنگی ضریب (تعداد صفرها) و نوار آخر مربوط به خطای مقاومت (تولرانس) است.

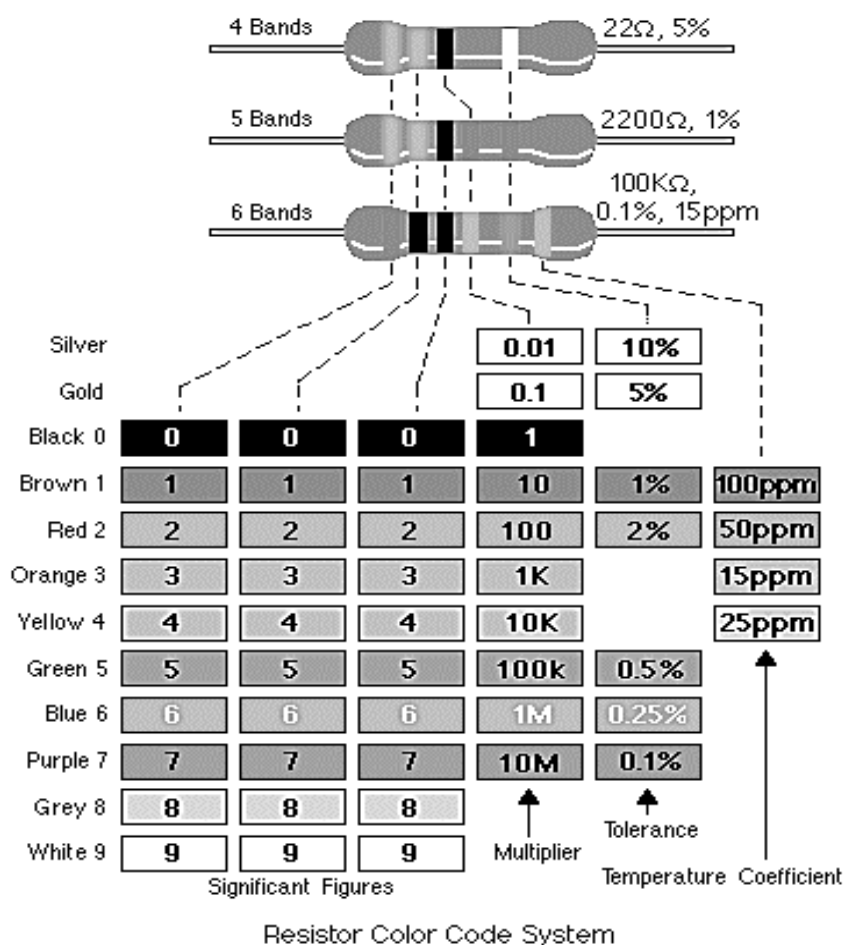


شکل ۱-۲- نوارهای رنگی مقاومت

نوارهای رنگی استاندارد به‌طور قرارداد به‌صورت زیر است:

جدول ۱-۱- جدول نوارهای رنگی استاندارد

سیاه	قهوه‌ای	قرمز	نارنجی	زرد	سبز	آبی	بنفش	خاکستری	سفید
۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹



شکل ۱-۳- جدول کد رنگی برای محاسبه مقدار مقاومت

موارد خاص

- طوقه رنگی سیاه به عنوان اولین طوقه رنگی نمی آید. اگر دومین طوقه رنگی سیاه باشد، عدد صفر و اگر به عنوان ضریب باشد، هیچ صفری گذاشته نمی شود.
- طوقه های رنگی طلایی و نقره ای می توانند به عنوان ضریب مورد استفاده قرار گیرند که در این صورت طلایی ضریب ۰/۱ و نقره ای ضریب ۰/۰۱ را به خود اختصاص می دهد.
- برخی مقاومت ها شامل رنج استاندارد نیستند که دارای پنج طوقه رنگی می باشند در این حالت از طرفی که نوار رنگی به پایه نزدیک تر است به ترتیب

مقادیر اولین رقم، دومین رقم و سومین رقم را نوشته، طوقه چهارم ضریب و نوار رنگی پنجم خطا را مشخص می‌کند.

ب- استفاده از اعداد برای مشخص کردن مقدار مقاومت: به سه شکل ممکن است توسط اعداد مقدار نامی اهم مقاومت روی بدنه آن مشخص شود.

- اگر بعد از عدد نوشته‌شده واحدی از اهم آمده باشد همان عدد برحسب همان واحد مقدار مقاومت را مشخص می‌کند.

- در صورتی که عدد نوشته‌شده دورقمی باشد و بین دو رقم یکی از حروف K , M , R آمده باشد، حرف بین دو رقم به منزله نقطه اعشار بوده و R مقدار مقاومت برحسب اهم، K مقدار مقاومت برحسب کیلو اهم و M مقدار مقاومت برحسب مگا اهم است. چنان چه یکی از حروف بعد از عدد نوشته‌شده باشد همان عدد برحسب واحد بیان شده، مقدار مقاومت است.



شکل ۱-۴- مقاومت

- اگر عدد نوشته‌شده یک عدد سه‌رقمی بدون اعشار باشد، دو رقم سمت چپ مقدار مقاومت برحسب اهم و رقم سوم تعداد صفرها (ضریب) را مشخص می‌کند.



شکل ۱-۵- مقاومت

۲ - تُلرانس (خطا)

شرکت‌ها و کارخانه‌های سازنده المان‌ها و سیستم‌های برقی برای اطمینان مشتریان خود از کالاهای تولیدشده توسط آن‌ها نسبت به مقدار نامی مشخص‌شده به دلیل مشکلاتی که در فرآیند ساخت وجود دارد، یک حداکثر خطایی را مشخص می‌کنند. در مقاومت‌هایی که مقدار اهم آن‌ها توسط طوقه‌های رنگی مشخص‌شده، آخرین طوقه رنگی مربوط به خطا است که درصد خطا به صورت زیر است:

جدول ۱-۲- نوارهای رنگی تُلرانس

قهوه‌ای	قرمز	نارنجی	زرد	طلایی	نقره‌ای	بی‌رنگ
٪۱	٪۲	٪۳	٪۴	٪۵	٪۱۰	٪۲۰

اما مقاومت‌هایی که مقدار اهم آن‌ها با عدد مشخص شده است، حرفی که بعد از عدد می‌آید، مقدار خطا را مشخص می‌کند. این حروف بدین صورت می‌باشند:

جدول ۱-۳- حروف مربوط به تُلرانس

F	G	H	J	K
٪۱	٪۲	٪۳	٪۵	٪۱۰

البته در مقاومت‌های توان بالا که مقدار اهم آن‌ها به صورت عدد روی بدنه مشخص می‌شود، مقدار خطا به صورت درصد مشخص می‌شود. آنچه معمول بازار است، خطاهای ٪۵ و ٪۱۰ است.

۳- توان مقاومت

یکی از پارامترهایی که در انتخاب مقاومت باید در نظر گرفت، توان مقاومت است. از نظر عملی برای جلوگیری از گرم شدن مقاومت که می‌تواند باعث ایجاد خطا و کاهش طول عمر آن شود، حدود ٪۲۰ توان را بالاتر انتخاب می‌کنیم. مقاومت‌های کربنی معمولاً در رنج‌های یک هشتم، یک چهارم، یک دوم، یک و یک و نیم و دو وات، ساخته می‌شوند. در این مقاومت‌ها میزان توانشان روی بدنه آن‌ها مشخص نشده؛ بلکه هر چقدر اندازه آن‌ها بزرگتر می‌شود توان آن‌ها بالاتر می‌رود. در حالت نرمال معمولاً توان مقاومت‌ها یک چهارم و یک دوم وات است و

برای مقاومت‌های بالاتر که معمولاً به صورت سیمی یا آجری ساخته می‌شوند، توان آن‌ها به صورت عدد روی بدنه آن‌ها مشخص می‌شود.



شکل ۱-۶- توان مقاومت به ترتیب از راست به چپ $\frac{1}{8}$ ، $\frac{1}{4}$ ، $\frac{1}{2}$ ، $\frac{1}{5}$ ، $\frac{1}{10}$ و ۳ وات

۴- رنج استاندارد

منظور از رنج استاندارد آن است که شرکت‌های سازنده مقاومت، این المان را در رنج‌های مشخص تولید می‌کنند. معروفترین آن‌ها رنج ۱۲ تایی اروپایی است.

رنج استاندارد (E12) شامل اعداد:

$$1 - 1/2 - 1/5 - 1/8 - 2/2 - 2/7 - 3/3 - 3/9 - 4/7 - 5/6 - 6/8 - 8/2$$

رنج استاندارد (E24) شامل اعداد:

$$1 - 1/1 - 1/2 - 1/3 - 1/5 - 1/6 - 1/8 - 2 - 2/2 - 2/4 - 2/7 - 3 - 3/3 - 3/6 - 3/9 - 4/3 - 4/7 - 5/1 - 5/6 - 6/2 - 6/8 - 7/5 - 8/2 - 9/1$$

رنج استاندارد بدین مفهوم است که رقم‌های اول و دوم مقاومت شامل این اعداد بوده که می‌توانند با ضرایب مختلفی، ساخته شوند. اگر مقاومت طراحی شده برای یک مدار شامل رنج استاندارد نباشد، چنان چه از نظر عملی مقدور باشد، نزدیکترین رنج استاندارد را جایگزین می‌کنیم و در غیراین صورت با ترکیب سری و موازی مقاومت‌های استاندارد مقدار مورد نظر را به دست می‌آوریم و یا پتانسیومتر (مقاومت متغیر) را روی مقدار مورد نظر تنظیم کرده و در مدار قرار می‌دهیم.

همچنین رنج‌های غیر استاندارد هم وجود دارند که برای موارد خاص توسط سفارش دهنده به شرکت‌های سازنده مقاومت، سفارش داده می‌شود. این رنج از مقاومت‌ها در رنج‌های استاندارد وجود ندارد و به صورت عادی ساخته نمی‌شوند.

۵- تشخیص سالم یا خراب بودن مقاومت

المان مقاومت تنها المان الکتریکی است که معمولاً از شکل ظاهری آن می‌توان سالم یا خراب بودن آن را تشخیص داد. چنانچه توان اعمالی به مقاومت از توان نامی آن بیشتر باشد سبب گرم شدن، سوختن و قطع آن می‌شود که در این صورت باید موارد زیر را در نظر داشت:

- در صورتی که مقاومتی سیاه شده باشد اهم آن را اندازه گرفته اگر عددی غیر از بی‌نهایت نشان داد، هنوز نسوخته است؛ بلکه بر اثر عبور جریان زیاد بدنه آن سیاه شده است، ممکن است توانی بیشتر از توان نامی به آن اعمال شده باشد و یا المان دیگری که به آن متصل بوده، سوخته و بر اثر جریان زیاد عبوری صدمه دیده باشد که باید مقدار سالم آن جایگزین شود (برای تست قطعات الکترونیکی اگر روی بورد هنگام تست مشکوک به نظر رسید یک پایه آن را بیرون می‌آوریم).

- سادگی عیب‌یابی مقاومت این مشکل را به همراه دارد که طوقه رنگی یا عدد نوشته شده روی آن از بین می‌رود لذا جایگزینی مقدار اهم آن ممکن است، مشکل باشد که در این حالت مراحل زیر را باید به ترتیب دنبال کرد. اگر مقدار آن روی مدار نوشته شده باشد، همان مقدار را قرار می‌دهیم. اگر نقشه مدار را داشته باشیم، مقدار آن را می‌توان از روی نقشه مشخص کرد و چنانچه سیستم مشابهی موجود باشد از روی آن مقدار مقاومت مجهول را مشخص می‌کنیم. در غیراین صورت با توجه به محل قرار گرفتن مقاومت در مدار حداکثر مقاومتی را مشخص کرده و جایی بکار می‌رود که استفاده کننده لازم باشد در حین کار پارامتری از مدار را تغییر دهد.

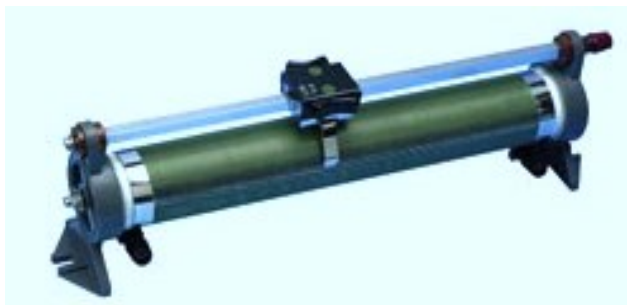
دسته دوم، مقاومت‌های متغیر هستند که مقدار اهم آن‌ها را می‌توان تغییر داد.

در حالت کلی مقاومت‌های متغیر دو نوع می‌باشند:

الف - مقاومت‌های متغیر غیر وابسته

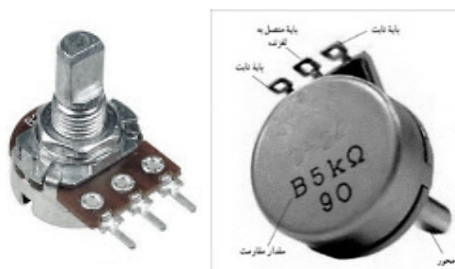
این مقاومت‌ها تغییر اهم آن‌ها به عوامل محیطی بستگی ندارد و تغییر مقدار آن توسط استفاده کننده است که به شکل رئوستا، ولوم و پتانسیومتر می‌توانند ساخته شوند.

- رئوستا: مقاومت متغیر با توان بالا است که معمولاً توسط حرکت یک دسته می‌توان اهم آن را تغییر داد.



شکل ۱-۷- رئوستا

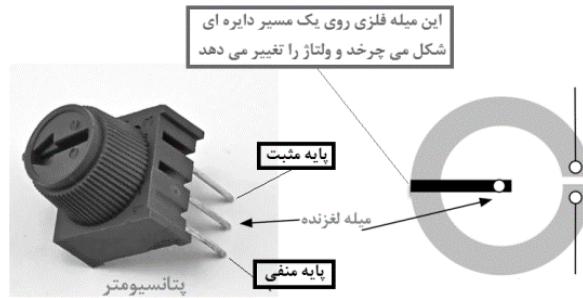
- ولوم: مقاومت متغیری است که معمولاً یک سر ولوم روی آن قرار گرفته و دارای ۳ سر است که مقاومت بین دوسر آن ثابت بوده و همان ماکزیمم مقداری است که روی بدنه آن نوشته شده است. سر متغیر با تغییر ولوم مقاومت آن با دو سر دیگر تغییر می‌کند که توسط اهم‌سنج می‌توان مقدار مورد نظر را تنظیم و سر متغیر را مشخص کرد.



شکل ۱-۸- ولوم

- پتانسیومتر: مقاومت متغیر دو سری است که معمولاً در داخل بوردها قرار گرفته و به وسیله پیچ گوشتی ساعتی می‌توان اهم آن‌ها را تغییر داد و مقدار آن را از صفر تا مقدار ماکزیممی که روی آن نوشته شده، تغییر داد. در پتانسیومتر ۳ سر مانند ولوم وجود دارد که می‌توان سر متغیر آن را مشخص کرد و معمولاً در مداراتی استفاده می‌شوند که برای تنظیم کردن دوره‌ای

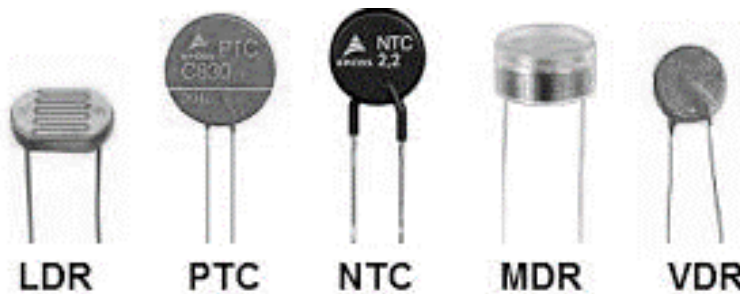
(کالیبره کردن) و یا به جای یک مقاومت غیراستاندارد، تنظیم شده و در مدار قرار می گیرد.



شکل ۱-۹- پتانسیومتر

ب- مقاومت های متغیر وابسته

مقدار اهم این مقاومت ها با عوامل محیطی تغییر می کند و منحنی تغییرات اهم آن ها به صورت خطی و یا نمایی است. از این مقاومت های متغیر معمولاً برای کنترل یک پدیده فیزیکی استفاده می شود؛ مانند حرارت (NTC-PTC)، نور (LDR)، میدان مغناطیسی (MDR) و ولتاژ (VDR).



شکل ۱-۱۰- انواع مقاومت های متغیر وابسته

سلف

المان سلف از یک سیم پیچ تشکیل شده که هسته آن می تواند هوا، آهن و یا فریت باشد که انرژی الکتریکی را به صورت میدان مغناطیسی در خود ذخیره می کند. مقاومت اهمی سلف را می توان با اتصال اهم سنج به دوسر سلف به

دست آورد که مقدار کمی (کمتر از ۱۰۰۰ اهم) است و طبق رابطه $R = \rho \frac{L}{A}$ به طول سیم پیچ، سطح مقطع سیم پیچ و جنس آن که معمولاً مس است، بستگی دارد؛ بنابراین یک سلف واقعی از یک سلف سری شده با یک مقاومت اهمی، تشکیل شده است. مقدار سلف معمولاً به روش‌های زیر مشخص می‌شود:

- اگر مقدار سلف با طوقه‌ها یا خال‌های رنگی مشخص شده باشد، همانند مقاومت خوانده می‌شود با این تفاوت که واحد آن برحسب میکرو هانری (μH) است.



شکل ۱-۱۱- سلف

- چنانچه عدد نوشته شده روی سلف یک عدد ۳ رقمی باشد، دو رقم سمت چپ مقدار سلف برحسب میکرو هانری و رقم سوم تعداد صفرها را مشخص می‌کند و اگر حرفی بعد از آن آمده باشد، خطای آن را تعیین می‌کند.
- در سلف‌های با توان بالاتر معمولاً مقدار سلف با واحد آن روی بدنه سلف می‌نویسند.
- اگر مقدار سلف مشخص نباشد باید توسط سلف سنج و یا بستن در مدار تشدید و یا باز کردن و شمردن تعداد دورهای آن مقدار سلف را مشخص کرد.
- برای تشخیص سالم یا خراب بودن سلف از اهم‌سنج استفاده می‌شود. بدین منظور دو سر سلف را به اهم‌سنج وصل کرده اگر یک مقاومت با اهم کم (همان مقاومت اهمی) را نشان داد سالم است. در صورتی که یکی از رشته‌های سیم پیچ‌ها قطع شده باشد، مقاومت بی‌نهایت را نشان می‌دهد و اگر سیم‌ها ذوب شده باشند، مقاومت صفر را نشان می‌دهد (این حالت معمولاً از شکل ظاهری نیز مشخص است) در هر دو صورت سلف سوخته است. با استفاده از روش تست سلف می‌توان سیم پیچ اولیه و ثانویه ترانس‌ها و سیم پیچ موتورها را نیز تست کرد.

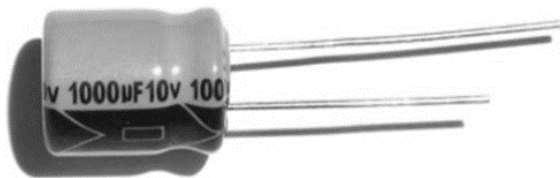
خازن

المان خازن به عنوان ذخیره کننده بارهای الکتریکی، مورد استفاده قرار می گیرد. این المان از دو صفحه هادی تشکیل شده است و بین صفحات عایقی وجود دارد که از اتصال صفحات به یکدیگر جلوگیری می کند. هر چقدر صفحات هادی بزرگتر باشد مقدار بار بیشتری روی آن ها قرار می گیرد و ظرفیت خازن بیشتر می شود و نیز هرچقدر عایق بین صفحات خاصیت عایقی قوی تری داشته باشد، خازن قابلیت تحمل ولتاژ کار بالاتری را دارا است. معمولاً خازن ها برحسب عایق بین صفحات آن ها دسته بندی می شوند. این عایق می تواند موادی مانند روغن، پارافین، فیبر، هوا، کاغذ، پلی استر، میکا، سرامیک، تانتالیوم^۱، ماده شیمیایی و غیره باشد.

خازن هایی که در ظرفیت ها و ولتاژهای کار پایین و متوسط استفاده می شوند را می توان به طور کلی به دو دسته تقسیم کرد:

الف - خازن های الکترولیتی (شیمیایی یا پلارایته دار)

این خازن ها دارای پلارایته یا قطب مثبت و منفی می باشند؛ بنابراین هنگام استفاده در مدار باید به پلارایته آن ها توجه شود. پایه مثبت بلندتر از پایه منفی است و روی بدنه آن مقابل پایه منفی علامت منفی نوشته شده است. ظرفیت و ولتاژ کار این خازن ها روی بدنه آن ها نوشته می شود. محدوده ظرفیت این خازن ها اواخر نانو فاراد، محدوده میکرو فاراد و اوایل میلی فاراد است. همچنین مقدار ولتاژ قابل تحمل آن ها روی آن ها نوشته شده است.

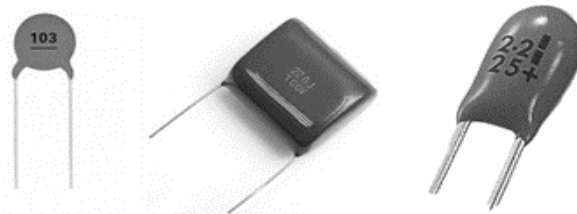


شکل ۱-۱۲- خازن الکترولیتی

ب) خازن های غیر الکترولیتی (عدسی - پلی استر - تانتالیوم)

این دسته از خازن ها دارای پلارایته یا قطب نمی باشند؛ بنابراین از هر طرفی که در مدار قرار گیرد، فرقی نمی کند. خازن های عدسی معمولاً در رنج پیکو

فاراد و اوایل نانو فاراد ساخته می‌شوند، خازن‌های پلی‌استر و تانتالیوم معمولاً در رنج نانو فاراد، ساخته می‌شوند.



شکل ۱-۱۳- به ترتیب از چپ به راست خازن‌های عدسی، پلی‌استر و تانتالیوم

- ظرفیت این خازن‌ها به چند صورت ممکن است، روی بدنه آن‌ها نوشته شود.
- ۱- اگر بعد از عدد نوشته‌شده واحدهایی از فاراد آمده باشد، همان عدد برحسب همان واحد ظرفیت خازن را مشخص می‌کند.
 - ۲- اگر عدد نوشته‌شده یک یا دو رقمی باشد و حداقل یک رقم صحیح داشته باشد، همان عدد برحسب پیکو فاراد ظرفیت خازن را نشان می‌دهد.
 - ۳- چنان چه عدد نوشته‌شده اعشاری و بدون رقم صحیح باشد، همان عدد برحسب میکرو فاراد ظرفیت خازن را تعیین می‌کند.
 - ۴- در صورتی که عدد نوشته‌شده یک عدد ۳ رقمی بدون اعشار باشد دو رقم سمت چپ مقدار خازن برحسب پیکو فاراد و رقم سوم ضریب (تعداد صفرها) را نشان می‌دهد.
 - ۵- اگر ظرفیت خازن توسط طوقه‌ها یا خال‌های رنگی مشخص شده باشد رنگ اول و دوم مقدار آن برحسب پیکو فاراد و رنگ سوم ضریب را نمایش می‌دهد.
- چنانچه بعد از عدد نوشته‌شده حرفی بیاید و یا بعد از سومین نوار رنگی، طوقه‌ی رنگی دیگری بیاید، مقدار خطا یا تolerانس را نشان می‌دهد.

روش تست سالم یا خراب بودن خازن

روش مناسب عملی برای تشخیص سالم یا خراب بودن خازن، اندازه‌گیری مقدار ظرفیت آن توسط دستگاه خازن سنج و یا با بستن در مدار تشدید (آزمایش دهم قسمت سوم) و مشخص کردن ظرفیت آن است. در صورتی که حداکثر تا ۲۰٪ تolerانس داشته باشد، خازن سالم است.

روش دیگر استفاده از اهم‌سنج است. بدین‌صورت که اهم‌سنج را روی رنج زیاد قرار داده و پس از دشوارژ کامل خازن، دو سر اهم‌سنج را به دو سر خازن وصل کرده که در صورت سالم بودن خازن، مقاومت از صفر تا بی‌نهایت تغییر می‌کند. زمان تغییر اهم، بستگی به ظرفیت خازن دارد.

تمرین: روی یک المان عدد ۴۷۳ نوشته شده است با داشتن یک اهم‌سنج، با فرض سالم بودن قطعه، چگونه می‌توان تشخیص داد این المان مقاومت، سلف و یا خازن است و هر کدام که باشد، مقدار آن چقدر خواهد بود؟

چند نکته عملی

- برای تست سالم یا خراب بودن قطعات الکتریکی نباید دو طرف آن‌ها را با دست گرفت و همچنین اگر شک کردیم قطعه‌ای داخل مدار سالم است یا نه یکی از پایه‌ها را از مدار درآورده و بعد تست می‌کنیم.

- همیشه عادت داشته باشیم حتی برای ولتاژها و جریان‌های کم با دست مستقیماً آزمایش نکنیم؛ بلکه با استفاده از گیره سوسماری اتصال دهیم تا برای برق فشارقوی، مشکلی پیش نیاید.

- اتفاق در برق‌گرفتگی، برای یک‌دفعه پیش می‌آید!

- برای بالا بردن توان مقاومت می‌توان دو یا چند مقاومت را با هم موازی کرد؛ البته مقدار اهم مقاومت معادل را باید محاسبه کرد تا مطابق مقدار خواسته‌شده باشد.

- برای افزایش ولتاژ کار خازن می‌توان دو یا چند خازن را با هم سری کرد ولی ظرفیت خازن معادل را باید محاسبه کرد.

- توجه داشته باشیم رمز موفقیت آن است که از بازار به طراحی بیایم نه برعکس آن.

منابع تغذیه

منابع تغذیه به‌طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- منابع تغذیه DC (مستقیم):

این منابع ولتاژ DC متغیر و یا ثابت تولید می‌کنند. معمولاً منابع تغذیه‌ای که امروزه استفاده می‌شوند، دابل هستند. این منابع دارای دو خروجی متغیر می‌باشند که میزان

ولتاژ آن‌ها را می‌توان تغییر داد. همچنین می‌توان جریان خروجی آن را کنترل کرد و ممکن است این منابع دارای خروجی ۵ ولت ثابت نیز باشند. باید توجه داشته باشیم که جریان بیشتر از حد مجاز از آن کشیده نشود و یا اتصال کوتاه نشود.



شکل ۱-۱۴- منبع تغذیه DC

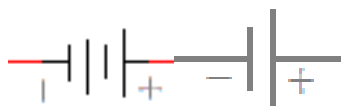
ولوم ولتاژ: این ولوم مربوط به تنظیم مقدار ولتاژ خروجی منبع تغذیه DC است؛ که با تغییر آن مقدار ولتاژ در صفحه‌نمایش منبع، نشان داده می‌شود.

ولوم جریان: این ولوم برای محدود کردن جریان خروجی منبع تغذیه DC است. اگر در آخر تنظیم شده باشد، ماکزیمم جریان را به مدار می‌دهد.

ولوم Fine: این ولوم برای تنظیم دقیق مقدار ولتاژ بکار می‌رود.

کلید st-by: این کلید مربوط به قطع و وصل خروجی منبع به صورت موقت است؛ بدین صورت که اگر چراغ مربوط به آن روشن باشد، خروجی منبع صفر است.

در مدارات الکتریکی از نمادهای زیر برای مشخص کردن محل قرارگیری منبع تغذیه DC استفاده می‌شود.



شکل ۱-۱۵- شکل مداری منبع تغذیه DC

۲- منابع تغذیه AC (متناوب):

این منابع نیز به دودسته تقسیم می‌شوند.

الف- سیگنال ژنراتور: منابعی هستند که تولیدکننده شکل موج‌های سینوسی و مربعی با فرکانس‌ها و دامنه‌های مختلف است که می‌توان دامنه آن‌ها را از چند میلی‌ولت تا حداکثر تولید آن‌ها (معمولاً کمتر از ۲۰ ولت پیک تا پیک) تنظیم کرد.

ب- فانکشن ژنراتور: این دسته از منابع عملکردی مشابه سیگنال ژنراتور دارد با این تفاوت که علاوه بر شکل موج‌های سینوسی و مربعی شکل موج مثلی را نیز تولید می‌کند.



شکل ۱-۱۶- فانکشن ژنراتور

ولوم AMPL: این ولوم مربوط به تنظیم مقدار ولتاژ تولیدشده توسط فانکشن ژنراتور است. این ولوم دوحالته است و حالت دوم آن مربوط به ولتاژهای با دامنه کم است. برای این حالت لازم است ولوم را گرفته و به آرامی به سمت بیرون بکشید.

ولوم Frequency: این ولوم برای تنظیم فرکانس ولتاژ تولید شده است.

ولوم Offset: این ولوم برای تعیین مقدار offset یا به عبارتی برای اضافه کردن ولتاژ DC به شکل موج AC تولید شده است.

کلیدهای Function: این کلیدها برای انتخاب نوع شکل موج تولید شده که شامل سینوسی، مثلی و مربعی (و در برخی دندانه اره‌ای) است.

خروجی فانکشن ژنراتور: این قسمت توسط سیم پروب^۱ ولتاژ تولیدشده را به مدار می‌دهد. در مدارات الکتریکی از نماد زیر برای مشخص کردن محل قرارگیری منبع تغذیه AC استفاده می‌شود.

1 - probe



شکل ۱-۱۷- شکل مداری منبع تغذیه AC

دستگاه اندازه‌گیری مولتی متر

مولتی به معنی ترکیب است و اصطلاح مولتی متر به دستگاه اندازه‌گیری‌ای گفته می‌شود که قابلیت اندازه‌گیری حداقل ۳ پارامتر ولتاژ، جریان و مقاومت را داشته باشد. برای اندازه‌گیری هر کمیتی یکی از سیم‌های آن (به‌طور قرارداد مشکی) را باید به COM (منفی، مشترک) اتصال داد و سیم دیگر (سیم قرمز رنگ) را به محلی که علائم اندازه‌گیری موردنظر نوشته‌شده، اتصال داد.

نکته مهم آن است که برای مولتی مترهایی که رنج آن‌ها اتوماتیک تغییر نمی‌کند، رنج مولتی متر را باید روی اولین رنج بعد از مقدار کمیتی که قرار است، اندازه‌گیری شود قرار داد. چون کمیت ورودی مجهول است، باید رنج دستگاه را از زیاد به کم پله‌پله کم کرد تا در محدوده اولین رنج بعد از مقدار کمیت قرار گیرد تا به دستگاه صدمه‌ای وارد نشود و مقدار کمیت با حساسیت و بازه رنج گسترده و خطای کم اندازه‌گیری شود. همچنین برای اندازه‌گیری کمیت‌های ولتاژ و جریان بسته به نوع آن باید AC و یا DC را از روی مولتی متر انتخاب کرد.



شکل ۱-۱۸- مولتی متر

کلید Power: این کلید برای روشن و خاموش کردن مولتی متر استفاده می‌شود.

کلید AC/DC : این کلید با توجه به AC یا DC بودن کمیت مورد سنجش باید انتخاب شود.

کلید $K\Omega$: این کلید برای اندازه‌گیری مقدار مقاومت، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کلید mH : این کلید برای اندازه‌گیری مقدار سلف، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کلید μF : این کلید برای اندازه‌گیری مقدار خازن، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در مدارات الکتریکی برای نشان دادن محل قرارگیری ولت‌متر و آمپر‌متر از نمادهای زیر استفاده می‌شود.



شکل ۱-۱۹- شکل مداری ولت‌متر و آمپر‌متر

دستگاه‌های اندازه‌گیری چهار سیمه

۱- $\cos \varphi$ متر

در یک مدار کاملاً مقاومتی شکل موج جریان و ولتاژ با هم، هم‌زمان هستند (در یک‌زمان صفر و در یک‌زمان ماکزیمم می‌شوند). حال اگر در مدار بار راکتیوی مانند خازن یا سلف وجود داشته باشد، انرژی ذخیره‌شده در این نوع بارها باعث به وجود آمدن اختلاف فاز بین شکل موج ولتاژ و جریان می‌شود. این انرژی ذخیره‌شده به منبع باز خواهد گشت درحالی‌که تأثیر مثبتی در عملکرد بار نخواهد داشت. به‌این‌ترتیب یک مدار با ضریب توان پایین در مقایسه با یک مدار با ضریب توان بالا نیازمند جریان بیشتری برای ایجاد مقدار ثابتی از توان واقعی است.

ضریب توان یا ضریب قدرت در یک سیستم الکتریکی اصطلاحی است که به زاویه بین ولتاژ و جریان گفته می‌شود و مقداری بین ۰ تا ۱ دارد. مدارهایی که شامل مصرف‌کننده‌های کاملاً مقاومتی هستند (مانند لامپ‌های رشته‌ای، بخاری‌های برقی، اجاق‌های برقی و ...) ضریب توانی برابر ۱ دارند، درحالی‌که در مدارهایی که دارای بارهای راکتیو هستند (مانند خازن‌ها، موتورهای،

ترانسفورماتورها و...) ضریب توان کمتر از یک است. ضریب توان صفر در یک مدار بدین معناست که تمام بار مدار به‌صورت راکتیو است و در هر سیکل انرژی ذخیره‌شده در بار به منبع بازمی‌گردد، درحالی‌که زمانی که ضریب توان ۱ است، تمام انرژی فرستاده‌شده به‌وسیله منبع در بار مصرف می‌شود. ضریب توان یک بار با توجه به جهت زاویه بین جریان و ولتاژ می‌تواند پیش‌فاز یا پس‌فاز باشد. برای نشان دادن جهت این زاویه از علامت منفی یا مثبت استفاده می‌شود.

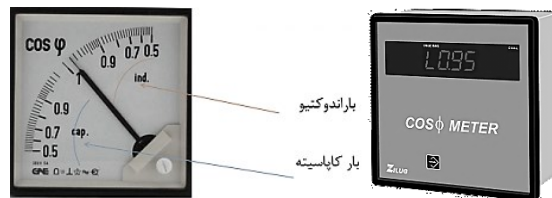
در بارهای القایی مانند موتورهای الکتریکی یا ترانسفورماتورها شکل موج جریان عقب‌تر از ولتاژ است درحالی‌که این مورد در بارهای خازنی مانند بانک‌های خازنی یا کابل‌های زیرزمینی درست برعکس است؛ به‌این‌ترتیب که شکل موج جریان از شکل موج ولتاژ جلوتر است. با این حال هر دو نوع این بارها انرژی را در خود ذخیره می‌کنند با این تفاوت که در بارهای القایی انرژی به‌صورت میدان مغناطیسی و در بارهای خازنی انرژی به‌صورت میدان الکترواستاتیکی، ذخیره می‌شود.

اهمیت میزان ضریب توان در یک مدار به هزینه‌های مربوط به آن باز می‌گردد. در بسیاری از کشورها مصرف‌کننده‌هایی که میزان ضریب توان آن‌ها از میزان استاندارد (این استاندارد برای بیشتر مصرف‌کننده‌ها مقداری بین ۰/۹ تا ۰/۹۵ است) کمتر باشد، جریمه می‌شوند. همچنین در مدارهای پرمصرف ضریب توان پایین موجب افزایش جریان در هادی‌ها شده و هزینه‌های مربوط به انتخاب هادی را افزایش می‌دهد. این جریان اضافی موجب کاهش طول عمر تجهیزات تأمین‌کننده و توزیع‌کننده انرژی الکتریکی نیز می‌شود.

برای اندازه‌گیری ضریب توان، می‌توان از یک دستگاه اندازه‌گیری مستقیم ضریب توان نیز استفاده کرد. نوع آنالوگ این دستگاه از دو قاب گردان الکترودینامیکی تشکیل شده است. این دو قاب گردان به‌صورت موازی به مدار، متصل شده‌اند. اگر این دو قاب را A و B بنامیم، در سر راه قاب A یک مقاومت و در سر راه قاب B یک القاگر، قرار داده شده است. به‌این‌ترتیب جریان در قاب B نسبت به قاب A با تأخیر همراه است. در حالتی که ضریب توان ۱ باشد، جریان در قاب A با جریان مدار هم زاویه است و گشتاور بیشینه در قاب A به وجود

می‌آید و میزان ضریب توان را حداکثر مشخص می‌کند؛ بنابراین ۱ بودن ضریب توان، مشخص خواهد شد. در ضریب توان صفر، جریان جاری در قاب B با جریان مدار هم زاویه است و گشتاور بیشینه در این قاب به وجود خواهد آمد که نشان‌دهنده مینیمم بودن ضریب توان است. در ضریب توان‌های بین این دو مقدار دستگاه اندازه‌گیری با توجه به نسبت گشتاور در دو قاب میزان ضریب توان را مشخص می‌کند.

نوع دیگری از دستگاه‌های اندازه‌گیری مستقیم ضریب توان دستگاه‌های دیجیتالی هستند. این دستگاه‌ها با اندازه‌گیری میزان اختلاف زمانی بین شکل موج جریان و ولتاژ یا اندازه‌گیری میزان توان ظاهری و توان واقعی میزان ضریب توان را مشخص می‌کنند. در روش اول یعنی اندازه‌گیری میزان اختلاف بین جریان و ولتاژ، تنها در صورتی قابل استفاده است که شکل موج جریان و ولتاژ، کاملاً سینوسی باشد.



شکل ۱-۲۰ - $\cos \phi$ متر آنالوگ و دیجیتالی

وات متر

برای اندازه‌گیری میزان توان حقیقی یا توان اکتیو (وات یا W) در مصرف‌کننده‌ها از وسیله اندازه‌گیری به نام وات متر استفاده می‌شود. هر وات متر در قسمت داخلی خود از یک سیم‌پیچ جریان و یک سیم‌پیچ ولتاژ تشکیل شده است که دو سر سیم‌پیچ جریان در آن به صورت سری و سیم‌پیچ ولتاژ آن به صورت موازی با مصرف‌کننده، قرار می‌گیرد. همچنین این دو سیم‌پیچ دو مدار کاملاً مجزا را تشکیل می‌دهند و بر روی بدنه وات متر سرهای این دو سیم‌پیچ با علامت جریان و ولتاژ مشخص شده‌اند. با توجه به این موضوع همواره در موقع نصب وات متر در مدار باید دقت کافی داشت تا اشتباهی از نظر اتصال در مدار

بین این دو سیم‌پیچ پیش نیاید.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

(۶-۱)



شکل ۱-۲۱- وات متر

وارمتر

برای اندازه‌گیری توان غیرحقیقی یا توان راکتیو (وار یا VAR) در مصرف‌کننده‌ها از وسیله اندازه‌گیری به نام وارمتر استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری توان راکتیو از دستگاه اندازه‌گیری الکترودینامیکی استفاده می‌شود که با سیم‌پیچ ولتاژ یک سلف سری شده است. وجود المان سلف باعث ایجاد ۹۰ درجه اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان شده و به این صورت $\cos \varphi$ به $\sin \varphi$ تبدیل می‌شود.

$$P = V \cdot I \cdot \sin \varphi$$

(۷-۱)



شکل ۱-۲۲- وارمتر

کنتور

کنتور وسیله‌ای است که مقدار انرژی الکتریکی را اندازه‌گیری می‌کند و برحسب کیلو وات ساعت (kwh) نشان می‌دهد که برابر است با مقدار انرژی استفاده‌شده توسط یک بار یک کیلو واتی در طی یک ساعت. توان راکتیو نیز با واحد کیلو وار ساعت (kvarh) اندازه‌گیری می‌شود.

انواع کنتور

برای مصارف خانگی دو نوع کنتور تک فاز و سه فاز وجود دارند که در دسته‌بندی کنتورها به نوع اکتیو معروف‌اند؛ اما در مصارف صنعتی می‌توان به کنتورهای راکتیو و کنتورهای دو تعرفه اشاره کرد. از طرف دیگر می‌توان کنتورها را به دودسته مکانیکی و دیجیتالی، تقسیم‌بندی کرد.

کنتورهای مکانیکی

- ۱- کنتورهای تک فاز مکانیکی: این کنتورها با ولتاژ ۲۲۰ ولت کار می‌کنند و تنها از نظر جریان اسمی باهم تفاوت دارند.
- ۲- کنتورهای سه فاز غیر دیماندی مکانیکی: این کنتورها با ولتاژ ۲۲۰/۳۸۰ کار می‌کنند و از نظر جریان اسمی باهم تفاوت دارند.
- ۳- کنتورهای سه فاز دیماندی مکانیکی: این کنتورها با ولتاژ ۲۲۰/۳۸۰ ولت و ۱۰۰/۱۰۰ ولت کار می‌کنند و آمپراژ آن‌ها ۵ آمپر است.

کنتورهای دیجیتالی

- ۱- کنتورهای دیجیتالی تک فاز: این کنتورها با ولتاژ ۲۲۰/۳۲۰ ولت کار می‌کنند و از نظر جریان اسمی که با توجه به نوع کنتور و شرکت سازنده، مابین ۵ تا ۱۰۰ آمپر هستند و به‌صورت پالسی کار می‌کنند.
- ۲- کنتورهای دیجیتالی سه فاز: کنتورهایی هستند که قابلیت سنجش هم‌زمان انرژی‌های مصرفی اکتیو و راکتیو را به‌صورت هشت تعرفه دارند و به دو نوع عادی (غیر دیماندی) و دیماندی است و به‌صورت پالسی کار می‌کنند.

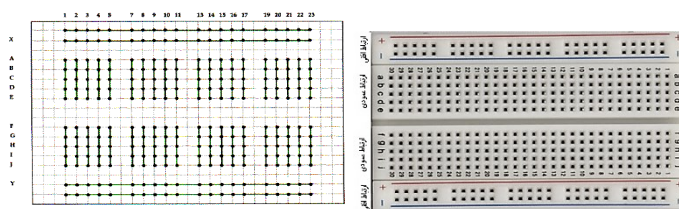


شکل ۱-۲۳- کنتور مکانیکی و دیجیتالی

در دستگاه‌های اندازه‌گیری چهار سیمه ممکن است سر پنجمی هم وجود داشته باشد که مربوط به سیم ارت است.

برد بورده^۱

برای پیاده‌سازی مدار در آزمایشگاه و اتصال سیم‌های ورودی و خروجی از این برد که دارای سوراخ‌های است، استفاده می‌شود. این برد شامل تعدادی سطر و تعدادی ستون است که از داخل برد بدین‌صورت که در شکل زیر مشاهده می‌شود به هم متصل هستند.



شکل ۱-۲۴- برد بورده

آموزش نرم‌افزار پروتئوس^۲

در این قسمت، با نرم‌افزار پروتئوس آشنا می‌شویم و خواهیم دید که تمام مدارات الکترونیکی از جمله مدارات آنالوگ و دیجیتال، مدارهای میکرو کنترلی و غیره را با این نرم‌افزار می‌توان طراحی و شبیه‌سازی کرد. همچنین می‌توان فیبر مدار چاپی مدارات را طراحی کرد. این نرم‌افزار دارای قطعات الکترونیکی و کلیه دستگاه‌های اندازه‌گیری واقعی نظیر اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور، ولت‌متر، آمپر متر و غیره است. برای کسب مهارت پیشرفته‌تر در استفاده از این نرم‌افزار به مراجع بیشتری مراجعه شود.

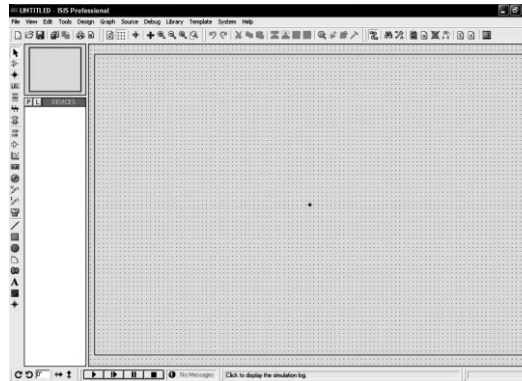
نرم‌افزار پروتئوس به دو بخش isis و areس تقسیم می‌شود. از محیط isis برای کشیدن، شبیه‌سازی و اجرای مدار و از محیط areس برای تهیه نقشه pcb یا فیبر مدار چاپی مدار تست‌شده در isis استفاده می‌شود.

1 - Bread Board

2 - Proteus

آشنایی با محیط نرم افزار پروتئوس

بعد از نصب و اجرای برنامه پروتئوس پنجره زیر باز خواهد شد.



شکل ۱-۲۵- محیط نرم افزار پروتئوس

منوهای این نرم افزار را می توان به ۶ دسته تقسیم کرد. در زیر کار هر یک از منوها را شرح خواهیم داد.

۱- منوهای اصلی



شکل ۱-۲۶- منوهای اصلی

در این منوها، گزینه های برای انجام کارهای اصلی وجود دارد. کلیه گزینه های موجود در منوهای اصلی در تولبارها نیز موجود است.

۲- منوهای کاربردی

Title	Toolbar
File / Print Commands	
Display Commands	
Editing Commands	
Design Tools	

شکل ۱-۲۷- منوهای کاربردی

این ابزار همان ابزار موجود در منوهای اصلی است و برای دسترسی سریع تر، در دسترس قرار داده شده است.

۳- منوهای ابزار و انتخاب

Title	Toolbar
Main Modes	
Gadgets	
2D Graphics	

شکل ۱-۲۸- منوهای ابزار و انتخاب

در این منوها ابزارها و منابعی که در مدارات استفاده می‌شود، وجود دارد. این منوی ابزار، خود شامل سه دسته ابزار ۱- تولید و اندازه‌گیری ولتاژ، ۲- ابزار گرافیکی و ۳- ابزار اصلی است؛ در ادامه با آن‌ها بیشتر آشنا خواهیم شد.

۴- منوهای تعیین موقعیت

Title	Toolbar
Rotation	
Reflection	

شکل ۱-۲۹- منوهای تعیین موقعیت

از این منوها عموماً برای تعیین موقعیت یک قطعه در داخل صفحه، استفاده می‌شود. با انتخاب قطعه و استفاده از این گزینه‌ها می‌توان قطعه را چرخاند یا آن را معکوس کرد.

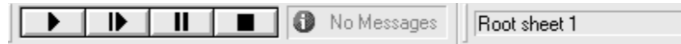
منوی انتخاب قطعات



شکل ۱-۳۰- منوی انتخاب قطعات

با کلیک کردن روی P در این صفحه، وارد پنجره کتابخانه نرم‌افزار پروتئوس می‌شوید، در پنجره کتابخانه می‌توانید قطعه مورد نظر خود را انتخاب کرده و سپس آن را به محیط شماتیک اضافه کنید.

منوی فرمان



شکل ۱-۳۱- منوی فرمان

از این منو برای اجرا یا توقف شبیه‌سازی استفاده می‌شود، در این منو همچنین زمان سپری شده از شروع شبیه‌سازی و پیغام‌های نرم‌افزار، نمایش داده می‌شود.

شبیه‌سازی مدارات آنالوگ

شبیه‌سازی مدار در نرم‌افزار پروتئوس، شامل مراحل زیر است:

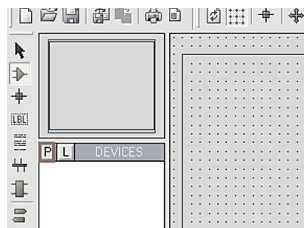
- ۱- انتخاب المان‌ها از کتابخانه و آوردن آن‌ها به صفحه شماتیک.
- ۲- گذاشتن المان‌ها در جای مناسب و انجام سیم‌کشی بین آن‌ها.
- ۳- ایجاد تغییرات مورد نظر در مشخصات المان‌ها (مثلاً ممکن است، مقدار یک مقاومت از ۱ کیلو به ۱/۲ کیلو تغییر کند).

برای این که شبیه‌سازی موفق داشته باشید، نکات زیر را رعایت کنید:

- ۱- کلیه قطعات را شماره‌گذاری کنید.
- ۲- از قطعاتی استفاده کنید که در جلو آن‌ها گزینه Device یا Deactive موجود نباشد.

آوردن قطعات از کتابخانه نرم‌افزار

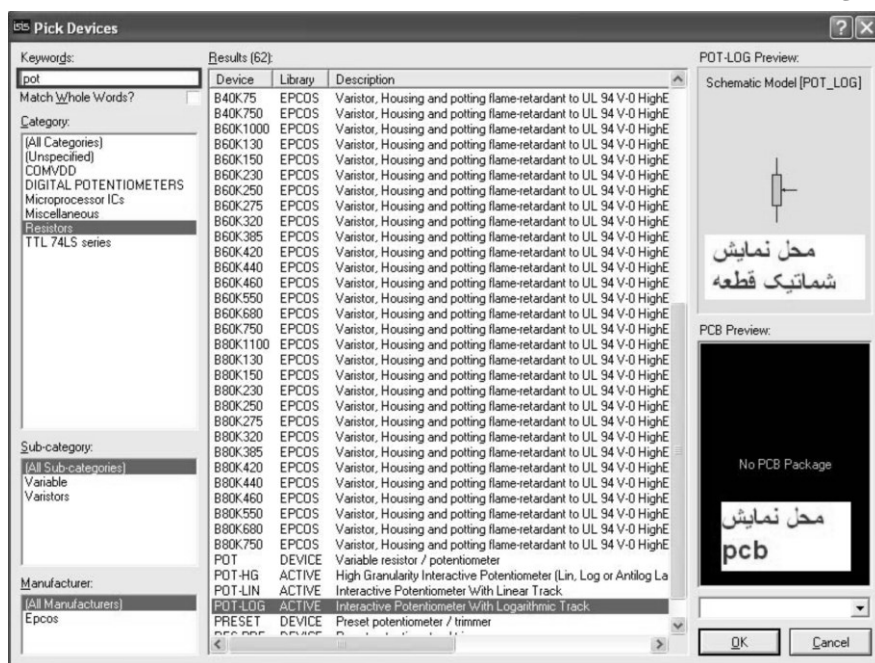
اولین مرحله برای شبیه‌سازی مدار، آوردن قطعات از کتابخانه نرم‌افزار است. برای آوردن قطعات در منوی انتخاب قطعات^۱ بر روی گزینه Pick from libraries کلیک کنید تا وارد کتابخانه نرم‌افزار پروتئوس شوید.



شکل ۱-۳۲- آوردن قطعات از کتابخانه نرم‌افزار

هنگامی که موس را روی گزینه p نگه می‌دارید، در کنار آن عبارت Pick from libraries به نمایش درمی‌آید.

در پنجره کتابخانه و در قسمت Keywords نام قطعه را وارد کنید (در صورتی که نام انگلیسی قطعه‌ای را نمی‌دانید به ضمیمه‌ها مراجعه کنید). از گزینه‌های که در قسمت Device به نمایش درمی‌آید، یک مورد را انتخاب کنید. بر روی آن دو بار کلیک کنید تا نام آن در پنجره Device به نمایش درآید، در پروتئوس یک قطعه در نمونه‌های مختلف (از نظر توان، بسته‌بندی و ...) وجود دارد. این کار را برای تمامی قطعات، انجام دهید و سپس بر روی گزینه‌ی Ok کلیک کنید.



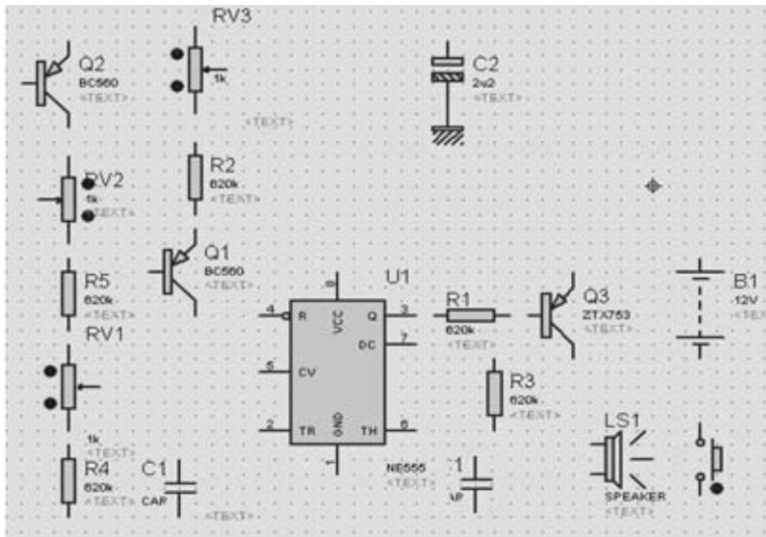
شکل ۱-۳۳- انتخاب قطعات

شکل (۱-۳۳) پنجره Pick Devices را نمایش می‌دهد. این پنجره شامل نام المان، گروه‌ها، زیرگروه‌ها، محل نمایش شماتیک قطعه، محل نمایش PCB و ... است. برای آوردن قطعات به صفحه شماتیک، در قسمت Device بر روی آن‌ها یک‌بار کلیک کنید. دقت کنید گزینه Component mode فعال باشد (👉). سپس در یک

مکان مناسب از صفحه، دوباره کلیک کنید، مشاهده می‌شود قطعه به موس آویزان می‌شود. در هر مکانی که کلیک کنید، قطعه در آنجا گذاشته می‌شود، برای چرخاندن قطعه می‌توانید در قسمت Device آن را انتخاب کنید و از منوهای تعیین موقعیت، استفاده کنید و آن را بچرخانید.



شکل ۱-۳۴- چرخاندن قطعه



شکل ۱-۳۵- المان‌های آورده شده به صفحه

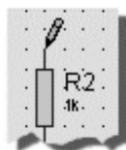
سیم‌کشی بین قطعات

اکنون می‌خواهیم سیم‌کشی بین قطعات را شرح دهیم. برای این کار از منو ابزار که در سمت چپ صفحه قرار دارد، گزینه Selection mode یا Component mode را انتخاب کنید.



شکل ۱-۳۶- انتخاب گزینه Selection mode

موس را بر روی پایه قطعه مورد نظر قرار دهید، همان‌طور که در شکل (۱-۳۷) مشاهده می‌شود، اشاره‌گر موس به شکل مداد تبدیل می‌شود و تا آلمان بعدی ادامه دهید.

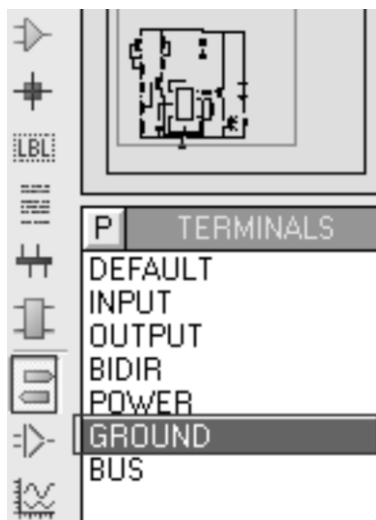


شکل ۱-۳۷- قرار دادن موس بر روی پایه قطعه

هنگامی که به مقصد رسیدید، دوباره بر روی پایه مقصد کلیک کنید. این کار را برای تمامی مسیرها انجام دهید.

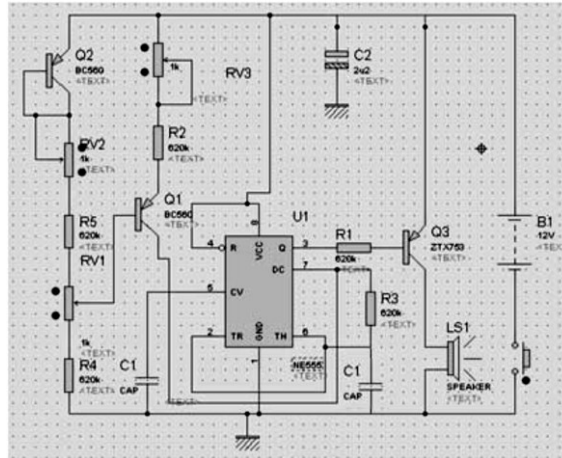
در صورتی که می‌خواهید مسیری را حذف کنید بر روی آن دوبار راست‌کلیک، انجام دهید. همچنین با یک‌بار راست‌کلیک کردن روی یک مسیر می‌توانید آن را به جاهای دیگر بکشید. توجه شود که رد شدن مسیرهای سیم‌کشی از روی یکدیگر اشکالی ندارد.

برای گذاشتن برچسب‌های Ground، در منوی ابزار سمت چپ بر روی Terminals mode کلیک و در آنجا برچسب Ground را انتخاب کنید و آن را در مکان مناسب قرار دهید.



شکل ۱-۳۸- برچسب‌گذاری Ground

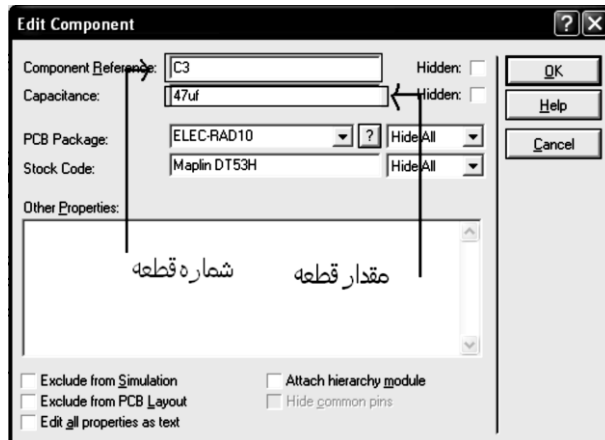
شکل (۱-۳۹) مدار رسم شده در نرم افزار پروتئوس را به طور کامل نشان می دهد.



شکل ۱-۳۹- مدار رسم شده در نرم افزار پروتئوس

روش مقداردهی به قطعات

بعد از آوردن قطعات و سیم کشی بین آن ها نوبت به مقداردهی قطعات می رسد. برای این کار روی قطعات دو بار کلیک کنید و در پنجره باز شده؛ مانند شکل زیر مقادیر مورد نیاز را وارد کنید.



شکل ۱-۴۰- مقداردهی به قطعات

بعد از مقداردهی به قطعات، مدار آماده اجرا کردن است. برای اجرا کردن بر روی play در منوی فرمان کلیک کنید تا شبیه سازی آغاز شود.

بررسی منابع ورودی

در این قسمت به بررسی برخی از منابع پرکاربرد موجود در پانل Generators می‌پردازیم. این منابع شامل منبع DC، منبع سینوسی، منبع پالس و ... می‌شوند و پاسخ مدار نسبت به آن‌ها سنجیده می‌شود. در انتهای این بخش با روش راه‌اندازی و استفاده از این منابع بیشتر آشنا می‌شویم. شکل زیر منابع موجود در پانل Generators را نمایش می‌دهد.

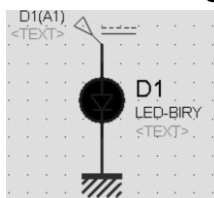


شکل ۱-۴۱- منابع ورودی

اولین منبع در پانل Generators، منبع ولتاژ DC است، این منبع تولید ولتاژ DC می‌کند.

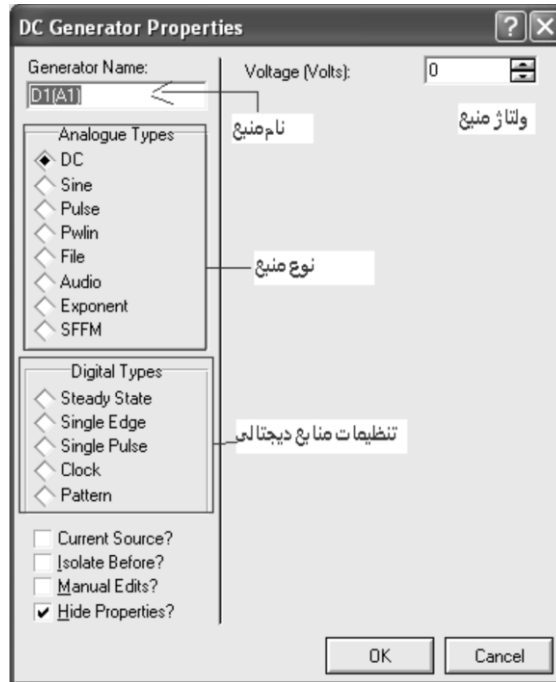
برای استفاده از این منبع در پانل Generators بر روی DC کلیک کنید و سپس در یک مکان از صفحه شماتیک، کلیک کنید. مشاهده می‌شود که منبع به موس آویزان می‌شود، آن را در مکانی مناسب رها کنید.

یک LED را به میز کار اضافه کنید و سپس مثبت آن را به مدار متصل کنید (موس را روی نقطه موردنظر از مدار ببرید. هنگامی که فلش موس به مداد تبدیل شد، بر روی نقطه کلیک کنید و مسیر را تا منبع ادامه دهید).



شکل ۱-۴۲- اضافه کردن LED به میز کار

توجه شود که ولتاژ این منبع نسبت به گراند (زمین) اعمال می‌شود، بنابراین وجود گراند مانند شکل زیر در مدار ضروری است. اکنون بر روی منبع کلیک کنید، پنجره‌ای مانند زیر باز می‌شود، تنظیمات را مطابق شکل اعمال کنید.

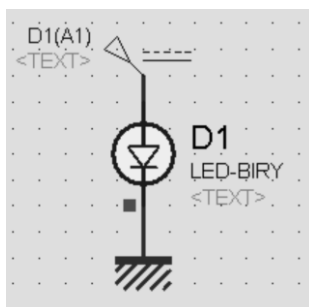


شکل ۱-۴۳- تنظیمات منبع

در قسمت ولتاژ منبع، باید ولتاژ موردنیاز نوشته شود، در این مدار ۳ ولت برای راه‌اندازی LED موجود نیاز داریم؛ بنابراین در این قسمت رقم ۳ را وارد می‌کنیم، برای اعمال ولتاژهای کم در حد میلی یا میکرو از فرم اعشاری استفاده کنید، مثلاً برای ایجاد ۳ میکرو ولت عدد $3/00000$ وارد می‌شود.

در این پنجره امکان تغییر نوع منبع نیز وجود دارد، کافی است در قسمت نوع منبع یا تنظیمات منابع دیجیتالی منبع دلخواه خود را تیک بزنید. قسمت نام منبع نیز شامل نام منبع می‌شود که می‌توانید آن را تغییر دهید. آخرین قسمت موجود نیز شامل امکاناتی برای مخفی کردن خصوصیات منبع و ... می‌شود که می‌توانید آن‌ها را امتحان کنید.

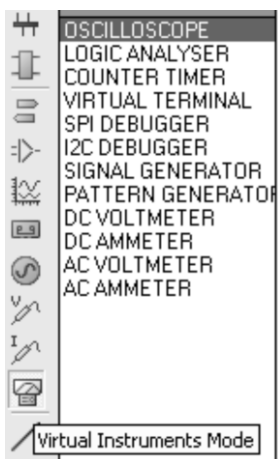
بعد از وارد کردن عدد ۳ بر روی Ok کلیک کنید تا تنظیمات ذخیره شود، اکنون بر روی گزینه Play کلیک کنید تا شبیه‌سازی آغاز شود. مشاهده می‌شود که LED روشن می‌شود.



شکل ۱-۴۴- روشن شدن LED

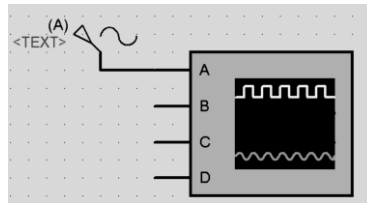
منبع سینوسی

این منبع را از پانل Generators انتخاب کنید و به صفحه اصلی بیاورید، از پانل Virtual instruments mode گزینه Oscilloscope را انتخاب کنید و آن را نیز به صفحه بیاورید. در مورد اسیلوسکوپ در بخش‌های بعدی بیشتر توضیح داده می‌شود، در این قسمت، هدف فقط مشاهده شکل موج سینوسی است.



شکل ۱-۴۵- انتخاب گزینه Oscilloscope

برای آشنایی بیشتر با اسیلوسکوپ مدار شکل (۱-۴۶) را ببینید.



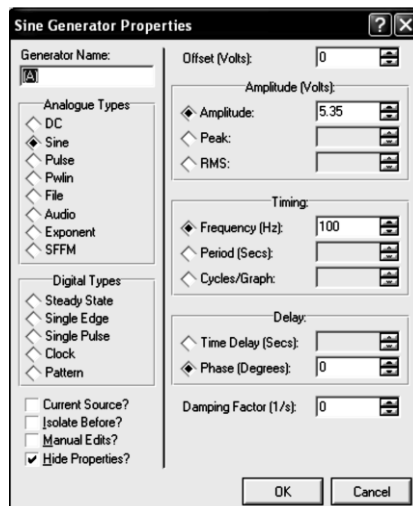
شکل ۱-۴۶- شکل ظاهری اسیلوسکوپ در نرم افزار

بر روی منبع کلیک کنید، پنجره زیر باز می شود.

در قسمت Offset مقدار ولتاژ آفست برحسب ولت نوشته می شود. ولتاژ آفست مقدار ولتاژ DC است که به شکل موج اضافه می شود. در قسمت Amplitude مقدار ولتاژ خروجی منبع مشخص می شود، شما می توانید ولتاژ را برحسب V_p یا V_{p-p} یا V_{rms} وارد کنید.

در قسمت Timing زمان تناوب شکل موج نوشته می شود، در این قسمت می توانید مقدار را برحسب فرکانس یا زمان تناوب وارد کنید. در قسمت Delay مقدار تأخیر شکل موج مشخص می شود، در این قسمت می توانید تأخیر را برحسب زمان یا زاویه وارد کنید.

در قسمت Damping factor مقدار فاکتور دمپ مشخص می شود.

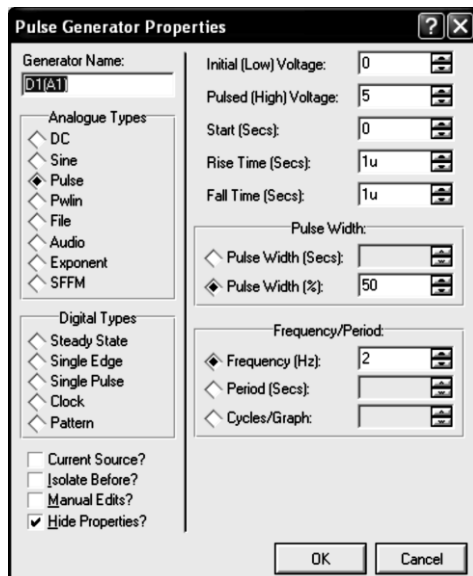


شکل ۱-۴۷- پنجره مربوط به تنظیمات منبع سینوسی

مقادیر موجود در شکل بالا را وارد کنید و شبیه‌سازی را آغاز کنید. مشاهده خواهد شد که شکل موجی با فرکانس ۱۰۰ هرتز و ولتاژ ۵/۳۵ ولت روی اسیلوسکوپ، نمایش داده می‌شود.

منبع پالس

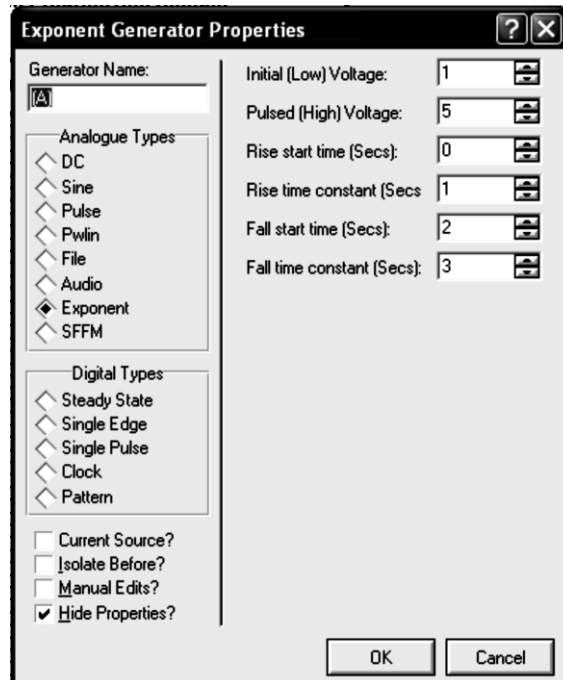
از این منبع معمولاً برای ایجاد پالس ورودی شمارنده‌ها استفاده می‌شود. با استفاده از این منبع می‌توان پالس‌هایی با زمان تناوب دلخواه ایجاد کرد. بر روی منبع دو بار کلیک کنید، پنجره‌ای مانند زیر باز می‌شود. در قسمت Initial voltage مقدار ولتاژ سطح پایین پالس، معین می‌شود. در قسمت Pulsed voltage مقدار ولتاژ سطح بالا پالس، معین می‌شود. در قسمت Start زمان شروع پالس، معین می‌شود. در قسمت rise / fall time زمان نزول و صعود پالس، معین می‌شود (در صورتی که این زمان‌ها را زیاد کنید، پالس مربعی به مثلی نزدیک می‌شود). در قسمت Pulse width پهنای پالس معین می‌شود (این مورد مشخص می‌کند که چه سطحی از پالس ۰ و چه سطحی ۱ باشد). در قسمت Frequency زمان تناوب پالس معین می‌شود. تنظیمات را مطابق شکل زیر انجام دهید و بعد از Ok کردن این پنجره و اجرای شبیه‌سازی، نتیجه را مشاهده کنید.



شکل ۱-۴۸- پنجره مربوط به تنظیمات منبع پالس

منبع توان

این منبع فقط یک پالس با دامنه دلخواه و زمان صعود و نزول دلخواه ایجاد می‌کند. کاربرد این پالس برای ارزیابی سرعت مدار است، در صورتی که روی این منبع دو بار کلیک کنید، پنجره زیر به نمایش درمی‌آید.

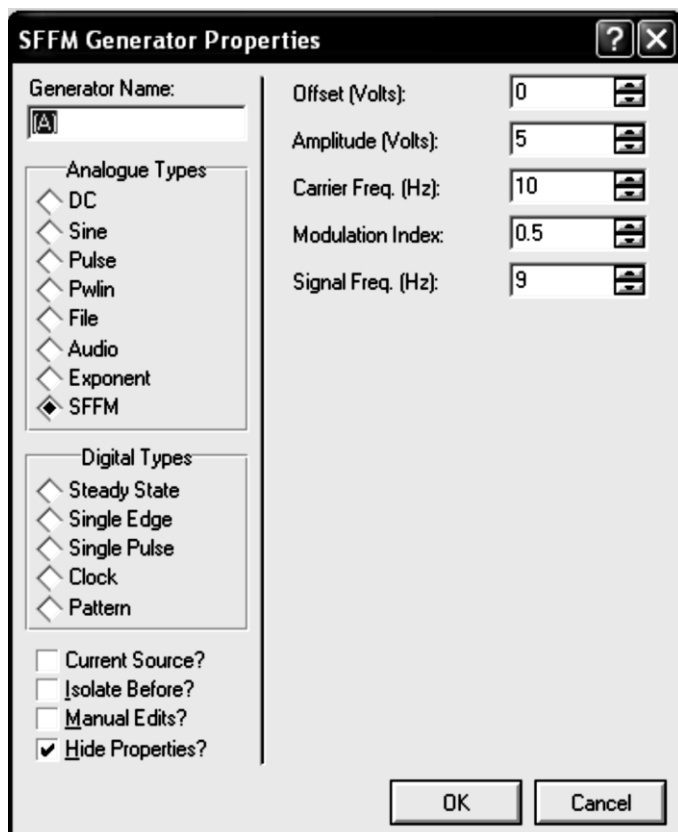


شکل ۱-۴۹- پنجره مربوط به تنظیمات منبع توان

تنظیمات این منبع نیز مانند منابع دیگر است. در قسمت initial و pulsed مقدار حداقل و حداکثر دامنه پالس نوشته می‌شود. در قسمت بعدی زمان نیز شروع و پایان صعود و نزول نوشته می‌شود.

منبع SFFM

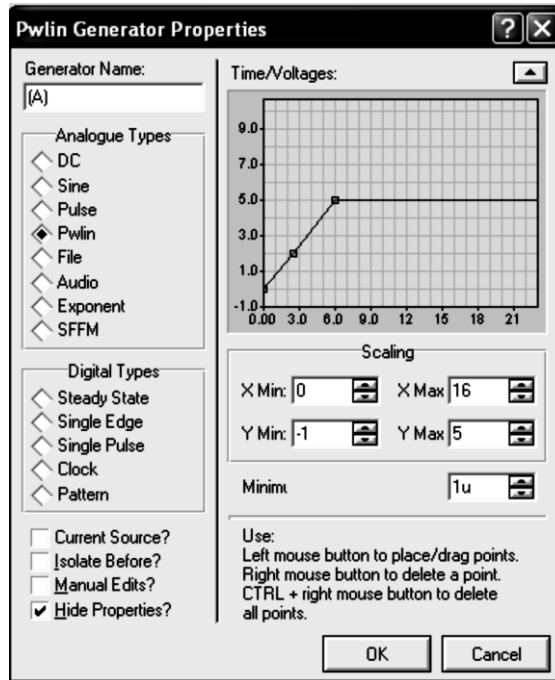
این منبع دو سیگنال را با هم ترکیب می‌کند و به خروجی می‌دهد.



شکل ۱-۵۰- پنجره مربوط به تنظیمات منبع SFFM

منبع Pwlin

توسط این منبع می‌توانید شکل موج خروجی را بدون داشتن اطلاعات فنی لازم توسط کشیدن شکل موج تعیین کرد. برای کشیدن شکل موج موس را به قسمت time/voltages ببرید و در مکان مورد نظر (که قله شکل موج در آنجاست) کلیک کنید، برای دیگر قله‌ها نیز همین کار را انجام دهید.

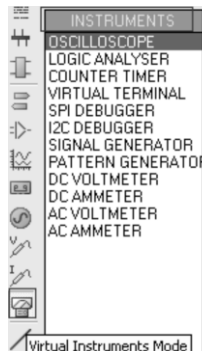


شکل ۱-۵۱- پنجره مربوط به تنظیمات منبع Pwlin

برای دیدن خروجی این منبع نیز مانند منابع قبلی از اسیلوسکوپ استفاده کنید.

دستگاه‌های اندازه‌گیری

در این قسمت با انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری که در پروتئوس موجود است، آشنا می‌شوید. کار با این ابزارها که شامل اسیلوسکوپ، ولت‌متر و... است، به واقعیت بسیار نزدیک است. کلیه این ابزارها در منوی INSTRUMENTS مانند شکل (۱-۵۲) موجود است.



شکل ۱-۵۲- ابزارهای اندازه‌گیری در INSTRUMENTS

اسیلوسکوپ

اولین و مهم‌ترین وسیله‌ای که در این منو موجود است، اسیلوسکوپ می‌باشد. این دستگاه دارای ویژگی‌های زیر است:

رنج ولتاژ از ۰ تا ۲۰ ولت؛

اندازه‌گیری ولتاژ dc و ac؛

فرکانس ورودی تا ۲ مگاهرتز؛

دارای ۴ کانال ورودی مجزا؛

سلکتهای تنظیم مجزا برای هر کانال.

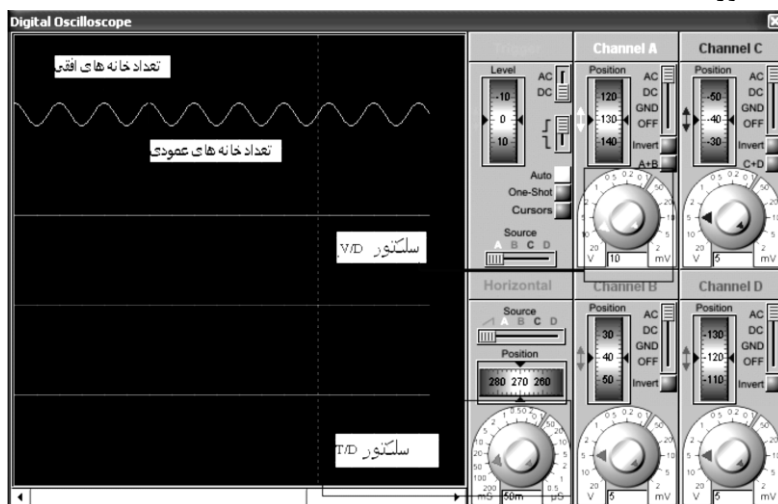
این دستگاه را از منوی virtual instruments mode (ابزار سمت چپ) انتخاب کنید و آن را در گوشه‌ای از صفحه شماتیک قرار دهید.

از پانل Generators یک منبع ولتاژ سینوسی بی‌آورد و آن را به کانال A اسیلوسکوپ متصل کنید.

مقدار فرکانس منبع را روی ۱۰ هرتز و ولتاژ دامنه آن را روی ۵ ولت تنظیم کنید. شبیه‌سازی را آغاز کنید. مشاهده می‌کنید که پانل اسیلوسکوپ شبیه به اسیلوسکوپ واقعی است. مقدار زمان تناوب موج از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

تعداد خانه‌های که بین دو قله از شکل موج قرار گرفته (خانه‌های افقی) $\times$

ضریب سلکتور T/D.

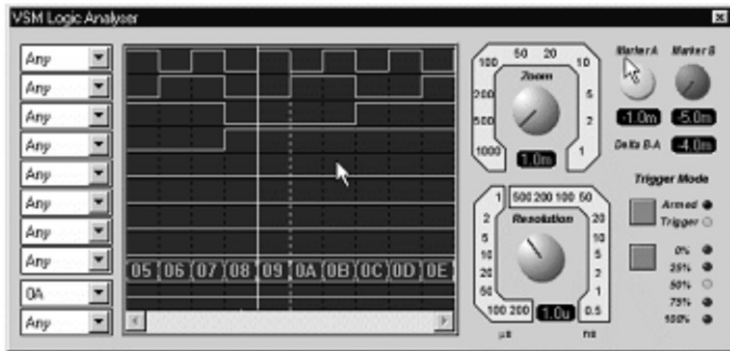


شکل ۱-۵۳- پنجره مربوط به تنظیمات اسیلوسکوپ

با راست کلیک کردن روی صفحه اسیلوسکوپ در قسمت سیاه رنگ، می توان رنگ صفحه را تغییر داد.

Logic Analyser

از این دستگاه برای آنالیز کردن مدارهای دیجیتالی و منطقی استفاده می شود، بدین صورت که خطوط داده به ورودی های A0 تا A15 متصل می شوند.



شکل ۱-۵۴- پنجره مربوط به تنظیمات Logic Analyser

Counter Timer

از این دستگاه برای شمارش زمان استفاده می شود.



شکل ۱-۵۵- ابزار شمارنده زمان

پایه CLK کلاک شمارنده و پایه CE پایه کنترل و پایه RST پایه ریست شمارنده است. با اعمال پالس مثبت به پایه CE شمارش شروع شده و با اعمال صفر شمارش متوقف می شود، با اعمال پالس مثبت به پایه ریست شمارنده پاک می شود.

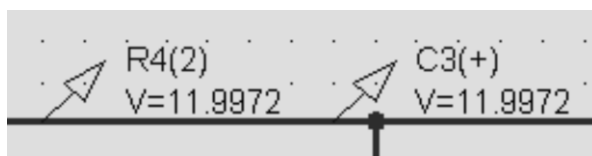
سیگنال ژنراتور و پترن ژنراتور

این دو دستگاه برای تولید انواع شکل موجها استفاده می شود. کار با این دو دستگاه در پروتئوس بسیار شبیه به واقعیت است.

ولت‌متر و آمپر‌متر AC و DC

از این دستگاه‌ها برای اندازه‌گیری ولتاژ و جریان AC یا DC استفاده می‌شود، توجه داشته باشید که ولت‌متر در مدار به‌صورت موازی و آمپر‌متر به‌صورت سری به کار می‌رود.

در نوار ابزار سمت چپ یک نوع ولت‌متر و آمپر‌متر دیگر نیز موجود است. از این دو دستگاه که به اصطلاح به آن‌ها پروب ولتاژ و جریان گفته می‌شود، برای اندازه‌گیری ولتاژ و جریان عبوری از یک خط استفاده می‌شود. برای استفاده از این دستگاه کافی است آن را به سیم مورد نظر مانند شکل زیر اتصال دهید.

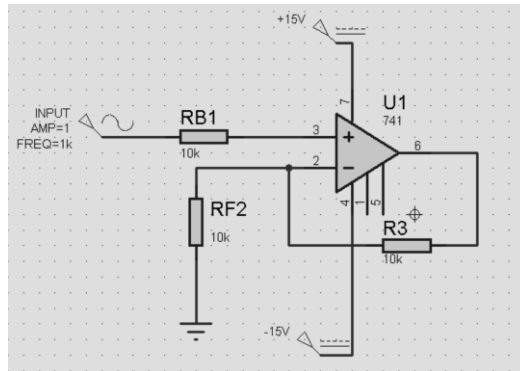


شکل ۱-۵۶- پروب اندازه‌گیری ولتاژ و جریان

تحلیل مدار توسط پروتئوس

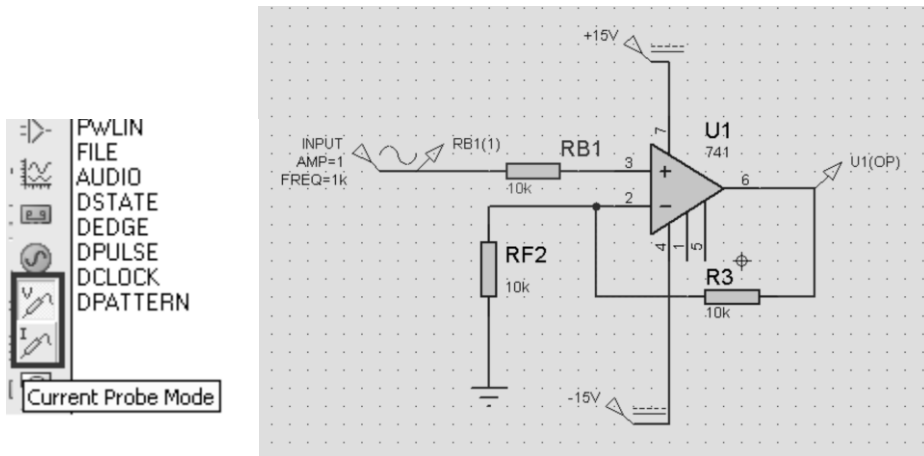
در پروتئوس مانند نرم‌افزار اسپایس می‌توان مدار را از نظر DC، AC، فرکانس و... تحلیل و آنالیز کرد. در اینجا با استفاده از ابزار موجود در منوی GRAPHS به تحلیل مدار می‌پردازیم.

برای شروع به عنوان مثال مدار زیر را رسم کنید.



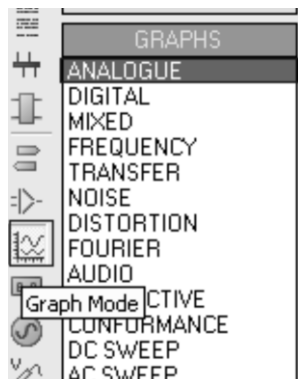
شکل ۱-۵۷- یک نمونه مدار طراحی شده در پروتئوس

می توانید توسط اسیلوسکوپ مقادیر ولتاژ ورودی و خروجی را مشاهده کنید، مقدار ولتاژ ورودی ۱ ولت با فرکانس ۱ کیلوهرتز است. همچنین ولتاژ تغذیه مثبت ۱۵ ولت و ولتاژ تغذیه منفی ۱۵- ولت است، با این حساب ولتاژ خروجی برابر ۲ ولت خواهد شد. از ابزار سمت چپ دو عدد پروب ولتاژ بیاورید و آن‌ها را مانند شکل زیر در ورودی و خروجی مدار قرار دهید.



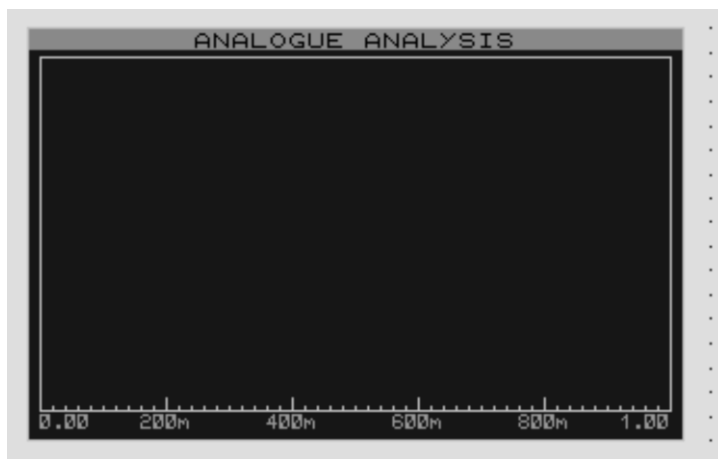
شکل ۱-۵۸- اضافه کردن پروب ولتاژ به ورودی و خروجی مدار

اکنون از منوی GRAPHS گزینه ANALOGUE را انتخاب نمایید.



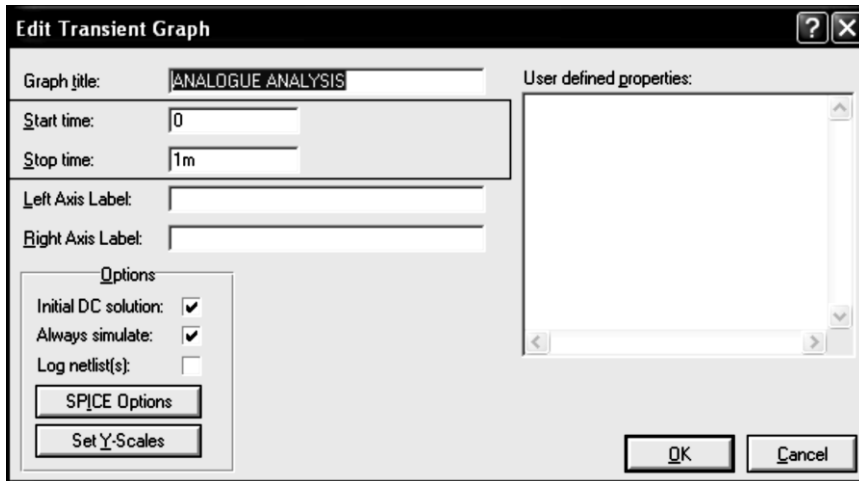
شکل ۱-۵۹- انتخاب گزینه ANALOGUE

در مکانی مناسب در صفحه شماتیک کلیک کنید و شروع به کشیدن به اندازه دلخواه کنید، وقتی به اندازه مناسب رسیدید، دوباره کلیک کنید تا ابزار آنالیز در آنجا گذاشته شود.



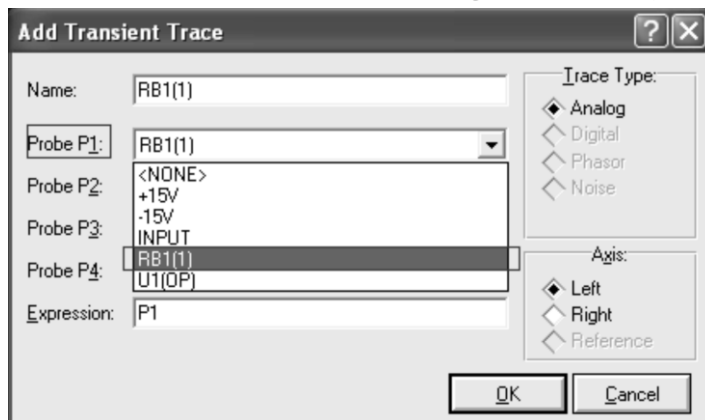
شکل ۱-۶۰- ابزار آنالیز آنالوگ

در بالای پنجره شکل (۱-۶۰) دو بار کلیک کنید، پس از کلیک کردن به محیط شبیه‌سازی آنالوگ وارد می‌شوید. در این پنجره از منوی Graph گزینه Edit graph را انتخاب کنید و تنظیمات آن را مطابق شکل (۱-۶۱) انجام دهید.



شکل ۱-۶۱- پنجره تنظیمات مربوط به زمان شروع و خاتمه

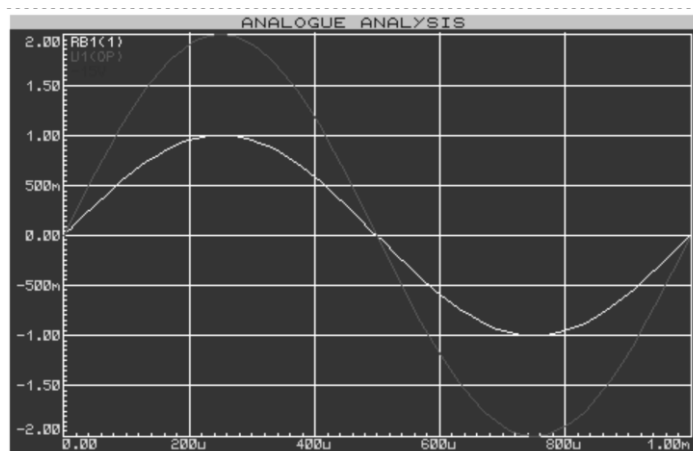
در این پنجره زمان شروع و اتمام نمونه برداری مشخص می شود از منوی Graph گزینه ADD Trace را انتخاب کنید. در پنجره باز شده و در جلو Probe p1 گزینه RB1(1) را انتخاب کنید (این نام، نام پراپ ولتاژ متصل به ورودی است و دقت کنید، ممکن است با نام دلخواه شما یکی نباشد).



شکل ۱-۶۲- اضافه کردن پروب به مدار

از منوی Graph گزینه simulate graph را انتخاب کنید. مشاهده می شود که شکل موج ورودی به نمایش درمی آید، در صورتی که مایل به نمایش شکل موج های دیگر در کنار این شکل موج هستید، از منوی Graph گزینه ADD Trace را انتخاب کنید و

شکل موج دیگری را نیز اضافه کنید. توجه داشته باشید که پس از اعمال هر شکل موج باید بر روی گزینه‌ی ok کلیک کنید و گزینه simulate graph را کلیک کنید تا شکل موج به نمایش درآید. در صورتی که این پنجره را ببندید، شکل موج‌ها در داخل پنجره اصلی به نمایش درمی‌آیند.



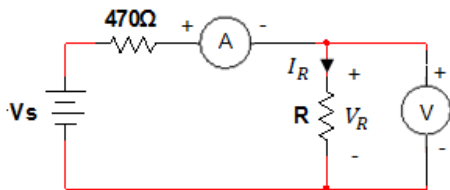
شکل ۱-۶۳- نمایش شکل موج‌ها

آزمایش شماره یک: تحقیق قضیه اهم

تعریف: اگر به دو سر یک مقاومت الکتریکی ثابت، ولتاژ الکتریکی اعمال شود، جریانی که از مقاومت عبور می‌کند، متناسب است با مقدار ولتاژ اعمال شده به آن که از رابطه $V = R.I$ به دست می‌آید؛ که به قانون اهم معروف است.

۱-۱- شرح آزمایش

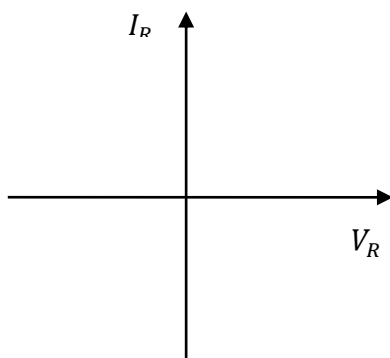
مداری مطابق شکل (۱-۱) روی برد ببنیدید. توجه داشته باشید که آمپر متر به صورت سری و ولت متر به صورت موازی در مدار قرار می گیرد. مقدار $R = 1K\Omega$ را قرار داده و با تغییر ولتاژ منبع تغذیه مقادیر ولتاژ و جریان مقاومت R را به طور مجزا اندازه گرفته و در جدول (۱-۱) یادداشت کنید. همچنین مقدار مقاومت را از رابطه قانون اهم محاسبه کنید و با توجه به اعداد اندازه گیری شده، منحنی تغییرات جریان را بر حسب ولتاژ رسم کنید.



شکل ۱-۱ مدار بررسی قضیه اهم

جدول ۱-۱- مقدار ولتاژ و جریان مقاومت R

[illegible]



شکل ۱-۲- نمودار جریان بر حسب ولتاژ مقاومت خروجی

ولتاژ منبع تغذیه را روی ۱۰ ولت تنظیم کرده و مقاومت R را طبق جدول (۱-۲) تغییر داده، جریان و ولتاژ مدار را اندازه‌گیری کرده و در آن یادداشت کنید. قانون اهم را نیز در این مرحله از آزمایش بررسی کنید.

جدول ۱-۲- ولتاژ و جریان مقاومت R با ولتاژ ورودی ۱۰ ولت

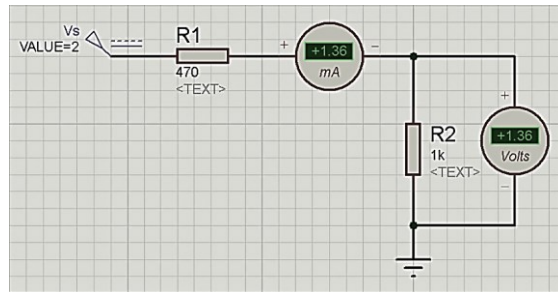
R	۵۶۰Ω	$۱/۲ K\Omega$	$۱/۵ K\Omega$	$۲/۲ K\Omega$	$۳/۳ K\Omega$
V_R					
I_R					
$R = \frac{V_R}{I_R}$					

۲-۱- شبیه‌سازی مدار شکل (۱-۱) در نرم‌افزار پروتئوس

شکل (۱-۳) مدار رسم شده شکل فوق را در نرم‌افزار پروتئوس نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد برای رسم این مدار باید دو مقاومت، منبع DC، آمپرمتر، ولت‌متر و Ground به میز کار اضافه شود. سپس آن‌ها را در جای مناسب خود قرار داده و سیم‌کشی بین آن‌ها را انجام دهید. بعد از سیم‌کشی مقدار مقاومت‌ها را باید وارد کنید. برای این کار با دابل کلیک کردن روی آن‌ها پنجره‌ای باز می‌شود و در قسمت Resistance می‌توان مقدار مقاومت موردنظر را تایپ کرد. حال می‌توان مدار کشیده شده را اجرا کرد. بدین منظور در پایین صفحه سمت چپ روی گزینه Play کلیک کنید تا مقادیر مربوط به ولت‌متر و آمپرمتر نمایش داده شود.

توجه شود که در این نرم افزار به طور پیش فرض ولت متر روی ولت و آمپر متر روی آمپر تنظیم شده است. برای تغییر رنج آن ها کافی است روی آن ها دابل کلیک کنید و در پنجره باز شده در قسمت Display Range گزینه های دیگر که مربوط به میلی آمپر و میکرو آمپر است را انتخاب کنید.

برای به دست آوردن سایر ولتاژها و جریان ها کافی است ابتدا دکمه pause (کنار دکمه play) را کلیک کنید تا مدار از حالت اجرا متوقف شود و بعد روی منبع یا مقاومت دابل کلیک کرده و مقدار آن ها را تغییر داده و سپس دکمه play را کلیک کنید.



شکل ۱-۳- مدار بررسی قضیه اهم در پروتئوس

$$R = \frac{V_R}{I_R} = \frac{1/36}{1/36 \times 10^{-3}} = 1 \text{ K}\Omega \quad (1-1)$$

سؤال

۱- شیب منحنی I_R نسبت به V_R نشان دهنده چیست و چه رابطه ای با مقدار مقاومت دارد؟

۲- در شبیه سازی مدار فوق بدون قطعه Ground مدار اجرا نمی شود، علت چیست؟

آزمایش شماره دو:

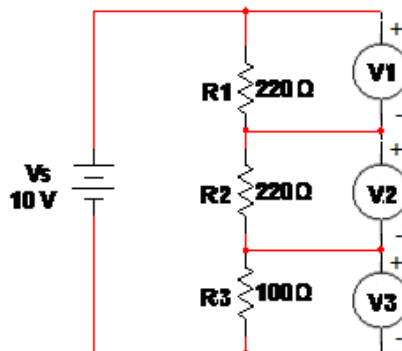
تحقیق قضیه KVL، تقسیم ولتاژ، قضیه KCL و تقسیم جریان

۱-۲- قضیه KVL (قانون ولتاژ کیرشهف)

تعریف: در هر حلقه از مدارهای الکتریکی جمع جبری ولتاژهای دو سر المان‌های آن حلقه، برابر صفر است.

شرح آزمایش

مدار شکل (۱-۲) را روی برد بورد ببندید و منبع تغذیه را روی ۱۰ ولت تنظیم کنید. ولتاژهای خواسته‌شده را اندازه‌گیری و در جدول (۱-۲) یادداشت کنید.



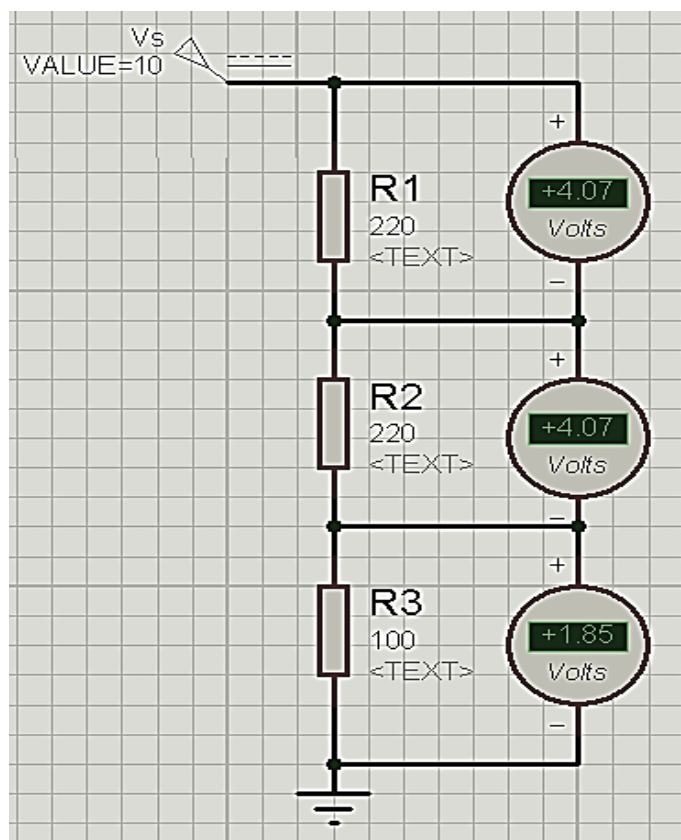
شکل ۱-۲- مدار بررسی قضیه KVL

جدول ۱-۲- اندازه‌گیری ولتاژهای V_s , V_1 , V_2 , V_3

V_1	V_2	V_3	V_s	$V_s = V_1 + V_2 + V_3$

سؤال

- ۱- چه رابطه‌ای بین حاصل جمع V_1 ، V_2 و V_3 با V_s وجود دارد؟
- شکل (۲-۲) مدار شکل (۱-۲) را در نرم‌افزار پروتئوس نشان می‌دهد. طبق روابط خواهیم داشت:



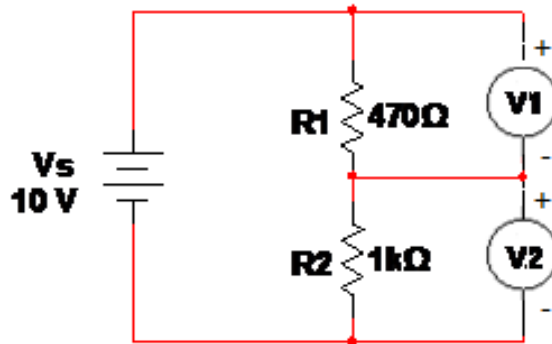
شکل ۲-۲- مدار بررسی قضیه KVL در پروتئوس

$$V_s = V_1 + V_2 + V_3 = 4.07 + 4.07 + 1.85 \approx 10 \text{ V} \quad (1-2)$$

۲-۲- تقسیم ولتاژ

مدار شکل (۳-۲) را روی برد مورد ببندید. ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌ها را اندازه‌گیری و در جدول (۲-۲) یادداشت کنید. حال ولتاژهای V_1 و V_2 را نیز

با توجه به روابط زیر به دست آورید و با مقدار اندازه گیری شده، مقایسه کنید.



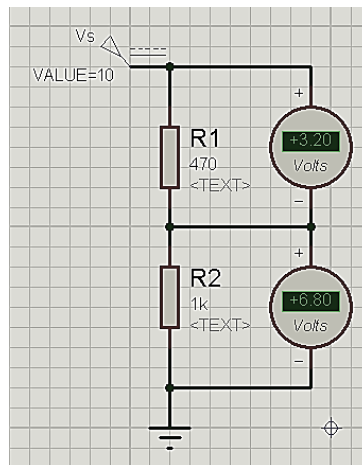
شکل ۲-۳- مدار بررسی تقسیم ولتاژ

جدول ۲-۲- اندازه گیری V_1 , V_2

V_1	V_2

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_S \quad (2-2)$$

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_S \quad (3-2)$$



شکل ۲-۴- مدار بررسی تقسیم ولتاژ در پروتئوس

با توجه به نتایج شبیه‌سازی و طبق روابط (۲-۲) و (۳-۲) خواهیم داشت:

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_p} V_S = \frac{470}{470 + 1000} \times 10 = 3.19 \text{ V} \quad (4-2)$$

$$V_p = \frac{R_p}{R_1 + R_p} V_S = \frac{1000}{470 + 1000} \times 10 = 6.80 \text{ V} \quad (5-2)$$

سؤال

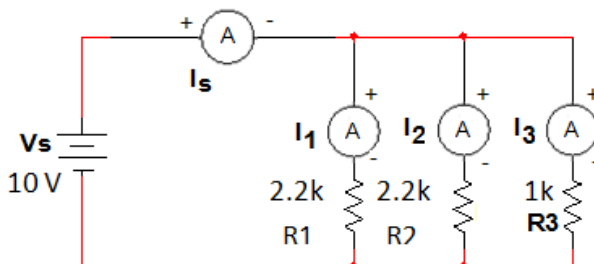
۱- چه رابطه‌ای بین هر یک از مقادیر V_1 ، V_p و V_S وجود دارد؟

۲- چه نسبتی بین مقادیر V_1 و V_p وجود دارد؟

روابط (۲-۲) و (۳-۲) را اثبات کنید.

۳-۲- قضیه KCL (قانون جریان کیرشهف)

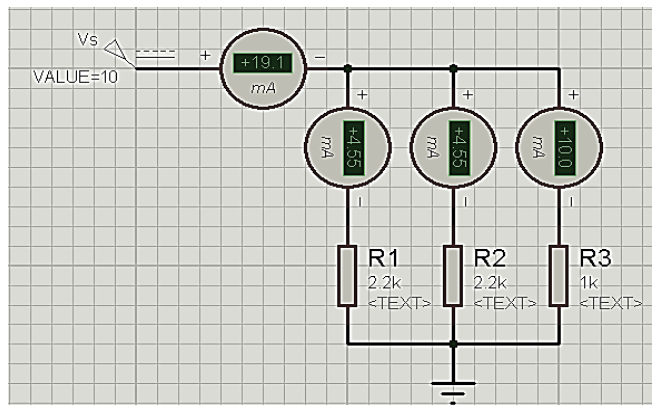
تعریف: در هر گره از مدار الکتریکی جمع جبری جریان‌های واردشده و خارج‌شده از گره برابر صفر است. مطابق شکل (۵-۲) مدار را ببندید و جریان هر شاخه را اندازه‌گیری و جدول (۳-۲) را کامل کنید.



شکل ۵-۲- مدار بررسی قضیه KCL

جدول ۳-۲- اندازه‌گیری جریان‌های I_1 ، I_2 ، I_p ، I_S

I_S	I_1	I_p	I_2	$I_S = I_1 + I_p + I_2$



شکل ۲-۶- مدار بررسی قضیه KCL در پروتئوس

$$I_s = I_1 + I_2 + I_3 = 4.55 + 4.55 + 10 = 19.1 \text{ mA} \quad (۶-۲)$$

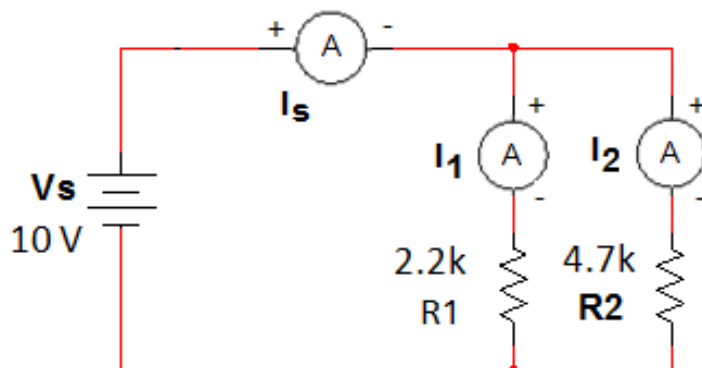
سؤال

۱- چه رابطه‌ای بین مجموع I_1 ، I_2 ، I_3 و I_s وجود دارد؟

۲- چه رابطه‌ای بین I_2 و I_3 وجود دارد؟

۴-۲- تقسیم جریان

مدار شکل زیر را روی برد مورد ببندید و جدول زیر را کامل کنید. همچنین با توجه به روابط زیر I_1 و I_2 را محاسبه و با مقدار اندازه‌گیری شده، مقایسه کنید.



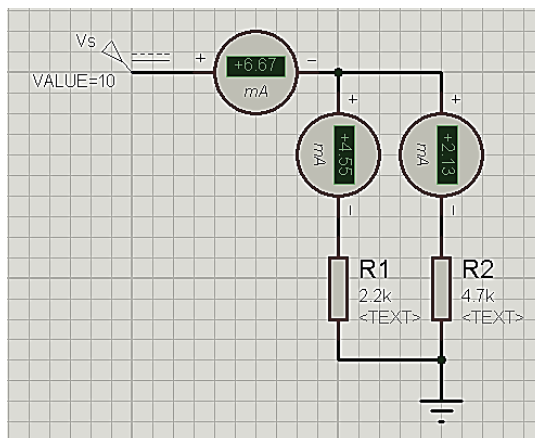
شکل ۲-۷- مدار بررسی تقسیم جریان

جدول ۲-۴- اندازه‌گیری جریان‌های I_1 ، I_2

I_1	I_2	I_s

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I_s \quad (7-2)$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I_s \quad (8-2)$$



شکل ۲-۸- مدار بررسی تقسیم جریان در پروتئوس

با توجه به نتایج شبیه‌سازی و طبق روابط (۷-۲) و (۸-۲) خواهیم داشت:

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I_s = \frac{4700}{2200 + 4700} \times 6.67 \times 10^{-3} = 4.54 \text{ mA} \quad (9-2)$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I_s = \frac{2200}{2200 + 4700} \times 6.67 \times 10^{-3} = 2.12 \text{ mA} \quad (10-2)$$

سؤال

چه رابطه‌ای بین I_1 و I_2 وجود دارد؟

۱- روابط (۷-۲) و (۸-۲) را اثبات کنید.

آزمایش شماره سه:

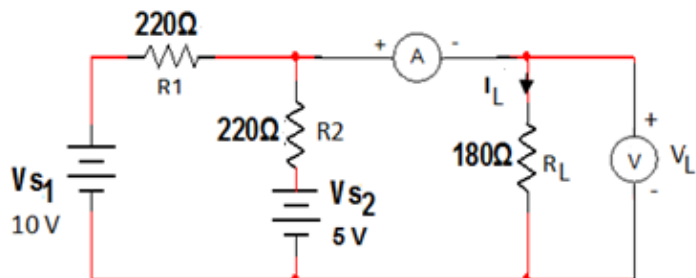
تحقیق قضیه جمع آثار

تعریف: برای محاسبه هر متغیری از مدار می‌توان از جمع جبری اثر تک‌تک منابع استفاده کرد، در صورتی که در محاسبه اثر هر منبع اثر سایر منابع خنثی شده باشد.

شرح آزمایش

مدار شکل (۱-۳) را روی برد بورد ببندید و ولتاژ و جریان مشخص شده را اندازه‌گیری کنید. سپس ابتدا منبع اول را خنثی و ولتاژ و جریان خروجی را اندازه‌گیری کنید. بعد از آن منبع اول را بجای خود گذاشته و منبع دوم را خنثی و ولتاژ و جریان خروجی را در جدول (۱-۳) یادداشت کنید. (در عمل برای خنثی کردن منبع ولتاژ دو سر سیم متصل به خروجی منبع را بیرون آورده و به هم اتصال می‌دهیم).

توجه داشته باشید برای خنثی کردن منابع، منبع ولتاژ را اتصال کوتاه و منبع جریان را اتصال باز کنید.

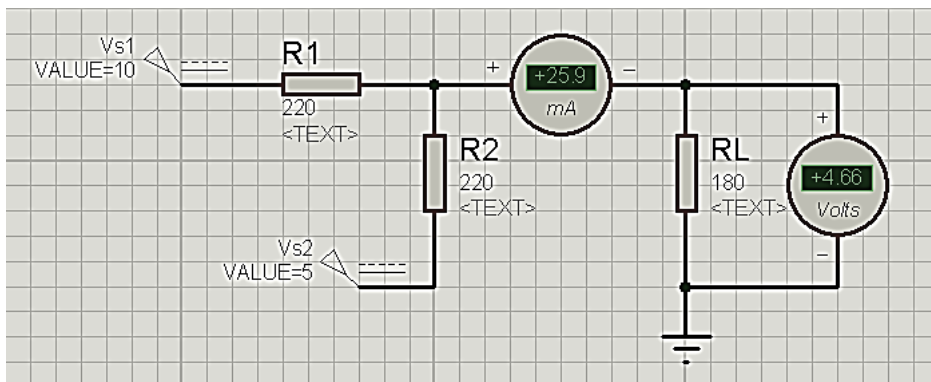


شکل ۱-۳- مدار بررسی قضیه جمع آثار

جدول ۱-۳- ولتاژها و جریان های قضیه جمع آثار

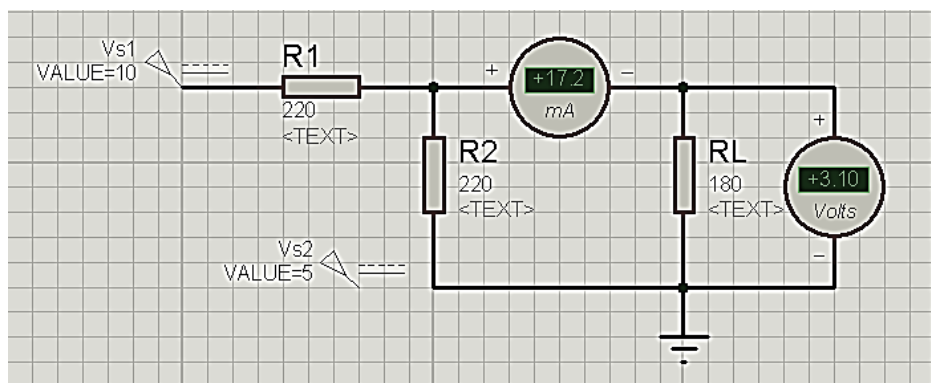
V_L	I_L	V_{L1}	I_{L1}	V_{L2}	I_{L2}

شکل (۳-۲) شبیه‌سازی مدار شکل (۱-۳) را نشان می‌دهد درحالی‌که هر دو منبع در مدار وجود دارند و اثر هر دو منبع در خروجی مشاهده می‌شود.

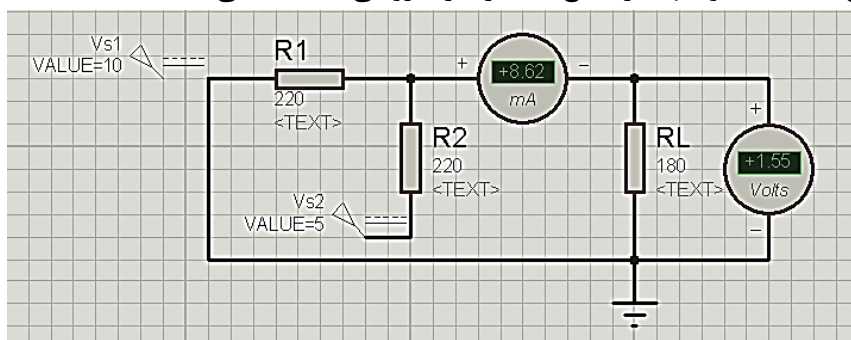


شکل ۳-۲- مدار بررسی قضیه جمع آثار در پروتئوس

شکل (۳-۳) شبیه‌سازی مدار شکل (۱-۳) را نشان می‌دهد درحالی‌که منبع V_{s2} خنثی شده است و تنها اثر منبع V_{s1} را در خروجی مشاهده می‌کنید.

شکل ۳-۳- مدار شکل (۲-۳) در حالی‌که منبع V_{s2} خنثی شده

شکل (۳-۴) شبیه‌سازی مدار شکل (۳-۱) را نشان می‌دهد در حالی منبع V_{S1} خنثی شده است و تنها اثر منبع V_{S2} را در خروجی مشاهده می‌کنید.



شکل ۳-۴- مدار شکل (۳-۲) در حالی که منبع V_{S1} خنثی شده

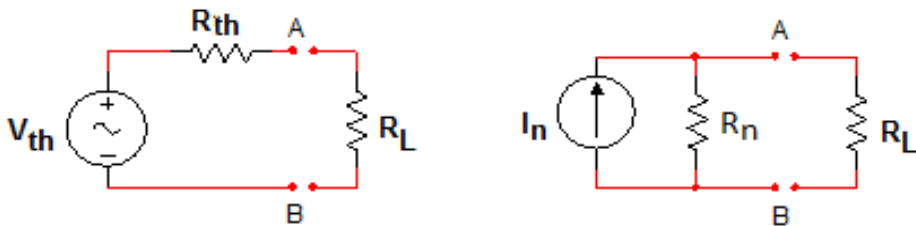
سؤال

- ۱- چه رابطه‌ای بین V_{L1} , V_{L2} و V_L وجود دارد؟
- ۲- چه رابطه‌ای بین I_{L1} , I_{L2} و I_L وجود دارد؟
- ۳- آیا منابع تغذیه زیاد در یک مدار می‌توانند اثرات یکدیگر را تضعیف کنند؟
- ۴- مقادیر ولتاژ و جریان را به صورت تئوری محاسبه و با مقدار اندازه‌گیری شده، مقایسه کنید؟
- ۵- مزیت استفاده از قضیه جمع آثار در حل مدارات چیست؟

آزمایش شماره چهار:

تحقیق قضایای تونن و نورتن

تعریف: طبق نظریه‌های تونن و نورتن شبکه‌های خطی را می‌توان معادل یک منبع ولتاژ سری با یک مقاومت (معادل تونن) و یا یک منبع جریان موازی با یک مقاومت (معادل نورتن) قرار داد.

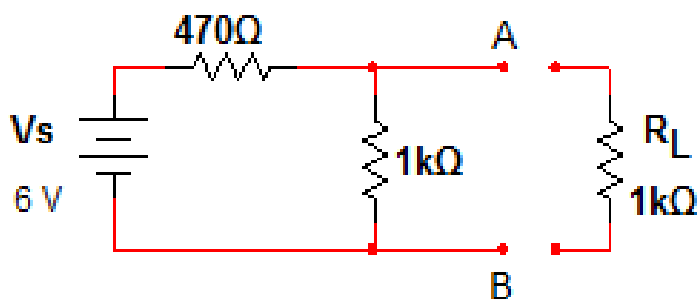


شکل ۴-۱- مدار معادل نورتن و تونن

مقدار ولتاژ V_{th} برابر است با ولتاژ مدار باز مشاهده‌شده در نقاط A و B. مقدار I_n برابر است با جریانی که از اتصال کوتاه کردن دو سر A و B می‌گذرد. مقاومت تونن (R_{th}) و مقاومت نورتن (R_n) که با هم مساوی هستند، برابر است با مقاومت دیده شده از دو سر باز A و B درحالی‌که اثر منابع خنثی شده باشند.

۴-۱- شرح آزمایش:

مدار شکل (۴-۲) را روی برد مورد ببندید و جدول (۴-۱) را کامل کنید. توجه داشته باشید برای محاسبه V_{th} ، I_n و R_{th} مقاومت بار (R_L) نباید در مدار قرار بگیرد و برای اندازه‌گیری R_{th} منبع ولتاژ باید خنثی شود.

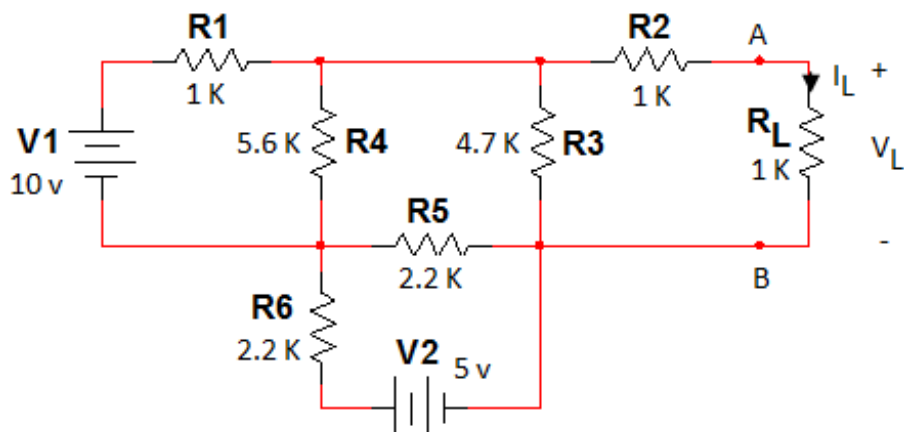


شکل ۴-۲- مدار بررسی معادل تونن

جدول ۴-۱- اندازه‌گیری R_{th} و I_n و V_{th}

$V_{AB}=V_{th}$	$I_{AB}=I_n$	$R_n=R_{th}$

۴-۲- مدار شکل (۴-۳) را روی برد مورد ببندید و قضیه جمع آثار را در مورد این مدار بررسی کنید. همچنین V_{th} ، I_n و R_{th} دیده شده از دو سر باز A و B را اندازه‌گیری و جدول (۴-۲) را کامل کنید.

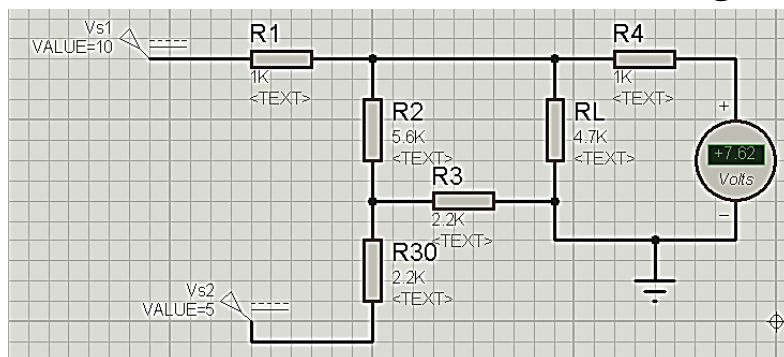


شکل ۴-۳- مدار بررسی قضیه آثار و معادل تونن

جدول ۴-۲- اندازه‌گیری مقادیر قضیه جمع آثار و معادل تونن شکل (۴-۳)

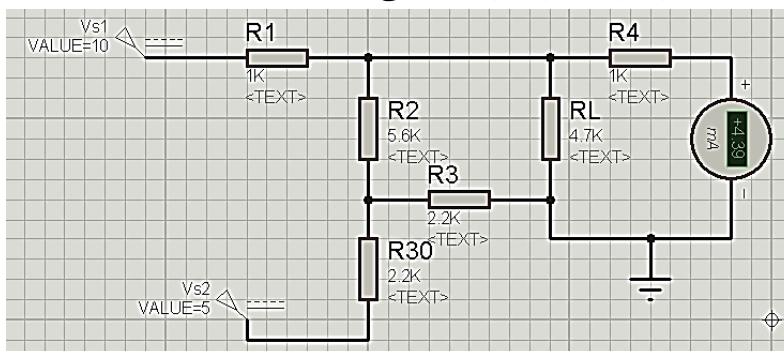
V_{L1}	V_{L2}	V_L	I_{L1}	I_{L2}	I_L	V_{th}	I_n	R_{th}

شکل (۴-۴) مقدار ولتاژ تونن را درحالی که توسط نرم افزار پروتئوس شبیه سازی شده است، نشان می دهد.



شکل ۴-۴- مدار بررسی معادل تونن در پروتئوس

شکل ۴-۵ مقدار جریان نورتن را نشان می دهد.



شکل ۴-۵- مدار بررسی معادل نورتن در پروتئوس

سؤال

۱- در مدار شکل (۴-۲) معادل تونن و نورتن را از دو سر A و B به صورت تئوری محاسبه و با مقادیر اندازه گیری شده، مقایسه کنید.

آزمایش شماره پنج:

تحقیق قضیه انتقال ماکزیمم توان و قضیه تقابل هم پاسخی

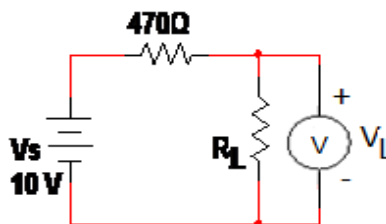
۵-۱- قضیه انتقال ماکزیمم توان

تعریف: یک منبع ولتاژ هنگامی ماکزیمم توان خود را به مصرف کننده می دهد که مقاومت مصرف کننده برابر مقاومت داخلی منبع ولتاژ یا منبع جریان باشد.

شرح آزمایش

مدار شکل (۵-۱) را روی برد بورد ببندید و مقادیر V_L را اندازه گیری و با توجه به

رابطه $P_L = \frac{V_L^2}{R_L}$ توان را محاسبه کنید و در جدول (۵-۱) یادداشت کنید.



شکل ۵-۱- مدار بررسی قضیه انتقال ماکزیمم توان

جدول ۵-۱- اندازه گیری ولتاژ و محاسبه توان خروجی

$R_L(\Omega)$	۱۰۰	۱۸۰	۲۲۰	۳۳۰	۴۷۰	۶۸۰	۸۲۰
V_L							
$P_L = \frac{V_L^2}{R_L}$							

حال با توجه به توان‌های محاسبه‌شده، منحنی تغییرات P_L را برحسب R_L رسم کنید.



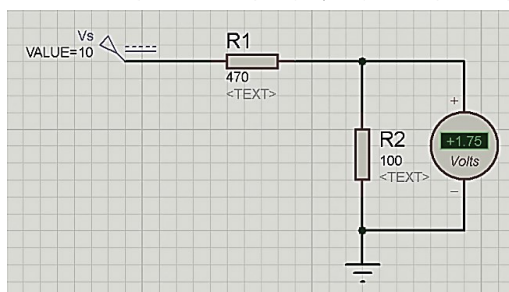
شکل ۵-۲- منحنی تغییرات P_L برحسب R_L

سؤال

۱- به ازای چه مقدار R_L توان حداکثر می‌شود؟ چرا؟

۲- قضیه انتقال ماکزیمم توان را اثبات کنید.

شکل (۵-۳) مدار فوق در نرم‌افزار پروتئوس است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقاومت $470\ \Omega$ اهم با مقاومت $100\ \Omega$ اهم سری شده و ولتاژ خروجی $1/75$ ولت را نمایش می‌دهد. برای به دست آوردن سایر ولتاژهای خروجی کافی است؛ ابتدا گزینه pause را کلیک کنید تا مدار از حالت اجرا متوقف شود و بعد روی مقاومت $100\ \Omega$ اهم دابل کلیک کرده و مقدار مقاومت را تغییر داده و سپس گزینه play را کلیک کنید.



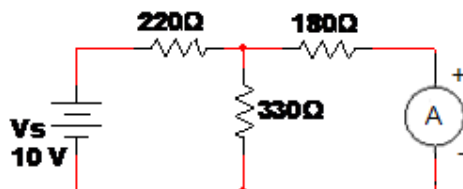
شکل ۵-۳- مدار بررسی قضیه انتقال ماکزیمم توان در پروتئوس

۵-۲- قضیه تقابل هم پاسخی

تعریف: هرگاه در یک مدار با ورودی دلخواه، خروجی محاسبه شود و سپس جای ورودی و خروجی عوض شود، در این حالت اگر خروجی نیز محاسبه شود و پاسخ جدید با پاسخ قبلی یکسان شود، مدار را هم پاسخ گویند.

شرح آزمایش

مداری مطابق شکل (۴-۵) را روی برد ببندید و جریان آمپر متر را اندازه گیری کنید. سپس جای منبع و آمپر متر را عوض کرده و دوباره مقدار جریان آمپر متر را در جدول (۲-۵) یادداشت کنید.

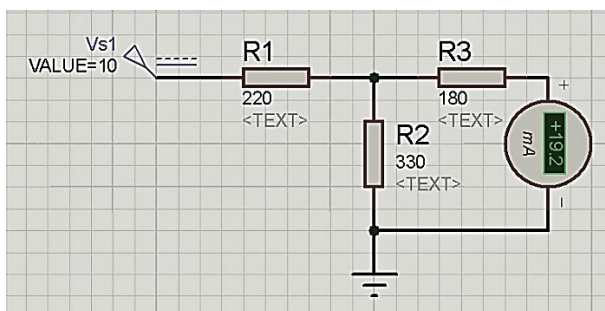


شکل ۴-۵- مدار بررسی قضیه تقابل هم پاسخی

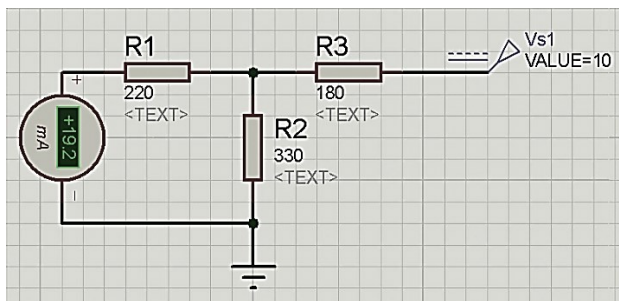
جدول ۲-۵- اندازه گیری I_1 و I_2

I_1	I_2

شکل های (۵-۵) و (۶-۵) مدارات رسم شده توسط نرم افزار پروتئوس است. همان طور که ملاحظه می شود با عوض کردن جای ورودی و خروجی، مقادیر یکسانی به دست می آید.



شکل ۵-۵- مدار بررسی قضیه تقابل هم پاسخی در پروتئوس



شکل ۵-۶- مدار بررسی قضیه تقابل هم پاسخی در پروتئوس

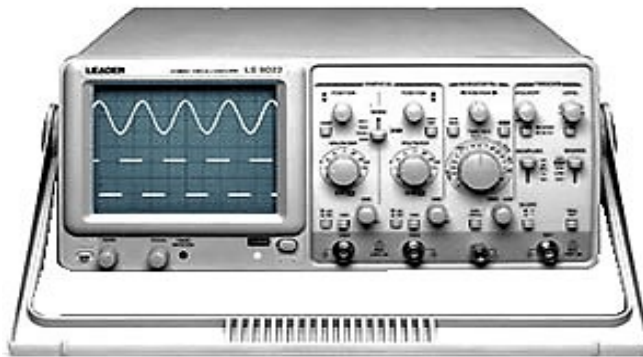
سؤال

- ۱- جریان I_p و I_1 چه نسبتی با یکدیگر دارند؟ نتیجه را شرح دهید.
- ۲- آیا قضیه تقابل هم پاسخی در مورد مداراتی چون RC، RL و ... نیز صادق است؟

آزمایش شماره شش:

اندازه‌گیری ولتاژ، زمان تناوب و فرکانس با استفاده از اسیلوسکوپ

یکی از مهم‌ترین و انعطاف‌پذیرترین وسایل اندازه‌گیری اسیلوسکوپ است که برای اندازه‌گیری و نمایش شکل موج‌های ولتاژ، جریان، فرکانس، اختلاف فاز و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. اسیلوسکوپ دارای یک صفحه‌نمایش است که محور عمودی آن برحسب ولتاژ و محور افقی آن برحسب زمان است. در ادامه کارکرد بعضی از کلیدها و ولوم‌های اسیلوسکوپ، نوشته شده است.



شکل ۶-۱- دستگاه اندازه‌گیری اسیلوسکوپ

کلید Power: برای روشن و خاموش کردن اسیلوسکوپ به کار می‌رود.
ولوم Focus: برای تغییر ضخامت شکل موج‌ها به کار می‌رود. معمولاً آن را در حالت وسط قرار می‌دهند تا با نازک‌ترین خط شکل موج را نشان دهد.
ولوم Inten: برای تنظیم شدت نور شکل موج مورد استفاده قرار می‌گیرد.
کلید ۴ حالت mode

- ۱- CH1 و CH2 : برای مشخص کردن کانالی که مورد استفاده قرار می‌گیرد.
 - ۲- Add : در این حالت شکل موج دو کانال با هم جمع می‌شود.
 - ۳- Dual : در این وضعیت هر دو شکل موج هم‌زمان نمایش داده می‌شود.
- کلید AC : فقط قسمت AC شکل موج را نمایش می‌دهد و مقدار DC شکل موج را حذف می‌کند.
- کلید DC : در این حالت قسمت AC و DC شکل موج نمایش داده می‌شود.
- کلید GND : با زدن این کلید هیچ سیگنالی نمایش داده نمی‌شود و کاربرد آن برای تنظیم خط صفر است.
- ولوم Vertical : تغییر مکان عمودی شکل موج روی صفحه اسیلوسکوپ و ولوم Horizontal (افقی) برای تغییر مکان افقی شکل موج است.
- کلید Auto/Norm : اگر این کلید در حالت Auto باشد؛ چنانچه شکل موج ورودی نداشته باشیم خط صفر نمایش می‌دهد و زمانی که شکل موج به ورودی اعمال شود، آن را نشان می‌دهد. اگر در حالت Norm باشد فقط زمانی که شکل موج به ورودی اعمال شود آن را نشان می‌دهد و اگر ورودی نداشته باشیم، هیچ چیز نشان نمی‌دهد. این کلید معمولاً در حالت Auto قرار بگیرد، بهتر است.
- ولوم Level : برای ثابت نگه‌داشتن شکل موج، زمانی که حرکت می‌کند درحالی‌که بقیه کلیدها و ولوم‌ها تنظیم شده باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- سلکتور Volt/DIV : مقیاس ولتاژ را تغییر می‌دهد و برای اینکه شکل موج در صفحه واضح نمایش داده شود و دامنه آن قابل اندازه‌گیری باشد، استفاده می‌شود.
- سلکتور Time/DIV : مقیاس زمان را تغییر می‌دهد و باید در حالتی باشد که حداقل یک پریود (دوره) شکل موج کامل دیده شود و از چند پریود نیز بیشتر نباشد.
- کلید Chop : هنگام کار با فرکانس‌های پایین، اسیلوسکوپ در این وضعیت قرار می‌گیرد (حدود ۱ کیلوهرتز به پایین) و برای فرکانس‌های بالا در حالت Alt.
- کلید INV : با زدن این کلید شکل موج آن کانال ۱۸۰ درجه، اختلاف فاز پیدا می‌کند.

پروب

پروب سیمی است که یک طرف آن فیش BNC وصل شده است، برای اتصال به خروجی فانکشن ژنراتور و ورودی‌های اسیلوسکوپ، طرف دیگر پروب دو سر مثبت و منفی (سیم مشکی‌رنگ) وجود دارد برای اتصال به مدار.



شکل ۶-۲- پروب

- برای شروع آزمایش پروبی را به کانال ۱ اسیلوسکوپ وصل کرده و پروب دیگری را به خروجی فانکشن ژنراتور متصل نمایید و مراحل زیر را انجام دهید:

۱-۶- اندازه‌گیری دامنه شکل موج

برای اندازه‌گیری دامنه شکل موج یا ولتاژ پیک تا پیک (V_{p-p}) تعداد خانه‌های عمودی اشغال‌شده از پیک منفی تا پیک مثبت را شمرده و در عدد Volt/DIV ضرب کنید. توجه داشته باشید، تعداد خانه‌های عمودی اسیلوسکوپ ۸ عدد است که هرکدام از این خانه‌ها روی محور اصلی، خود به ۵ قسمت، تقسیم شده است.

۲-۶- اندازه‌گیری فرکانس شکل موج

برای اندازه‌گیری فرکانس شکل موج، تعداد خانه‌های یک دوره (پریود) از شکل موج را شمرده و در عدد Time/DIV ضرب کنید. سپس با توجه به رابطه $F = \frac{1}{T}$ فرکانس شکل موج را محاسبه کنید. توجه داشته باشید، محور افقی به ۱۰ خانه تقسیم شده و هر خانه روی محور اصلی به ۵ قسمت، تقسیم شده است.

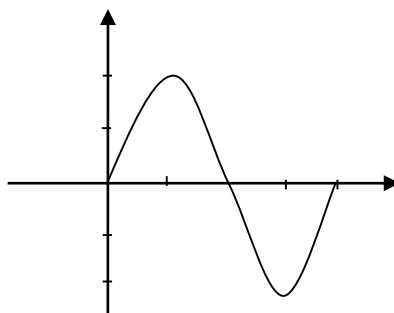
۳-۶- کالیبره کردن اسیلوسکوپ

هدف از کالیبره کردن اسیلوسکوپ تشخیص سالم یا خراب بودن پروب و همچنین خود اسیلوسکوپ و تنظیمات آن است. بدین صورت انجام می‌شود که پروب را به یکی از کانال‌ها متصل کرده و سرسیم مثبت آن را به محل CALL روی اسیلوسکوپ متصل کنید. شکل موج حاصل، مربعی با دامنه‌ای که روی اسیلوسکوپ نوشته شده و فرکانس ۱ کیلوهرتز نشان داده می‌شود اگر غیر از این بود ابتدا تنظیمات اسیلوسکوپ را چک کرده و اگر همه ولوم‌ها و کلید در حالت خود قرار داشت، ممکن است پروب و یا اسیلوسکوپ خراب باشند.

* برای دامنه‌های خیلی کم در حد چند ده میلی ولت باید ولوم مربوط به تنظیم دامنه در فانکشن ژنراتور بیرون کشیده شود، توجه داشته باشید این ولوم دو حالت است؛ بیرون مربوط به دامنه‌های خیلی کم و داخل مربوط به دامنه‌های بیشتر است.

تمرین ۱: یک شکل موج سینوسی با دامنه $15 V_{p-p}$ و فرکانس ۱۰ کیلوهرتز را روی اسیلوسکوپ نمایش دهید. همچنین یک شکل موج مربعی با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز با دامنه $0.8 V_{p-p}$ را نمایش دهید.

تمرین ۲: اگر روی صفحه اسیلوسکوپ شکل موج زیر نمایش داده شود، مقدار فرکانس و دامنه آن را محاسبه کنید.



Time/DIV = $5 \mu s$

Volt/DIV = $50 mV$

تمرین ۳: یک شکل موج سینوسی با دامنه ۱۰ ولت پیک تا پیک و با فرکانس ۱ کیلوهرتز تنظیم کنید. حال ولتمتر را در حالت AC قرار داده و ولتاژ دو سر پروب فانکشن ژنراتور را اندازه‌گیری کنید. ولتمتر چه عددی را نشان می‌دهد علت آن چیست؟
* ولتمتر مقدار مؤثر ولتاژ را اندازه‌گیری می‌کند؛ اما اسیلوسکوپ ولتاژ پیک تا پیک را نمایش می‌دهد و رابطه آن بدین صورت است:

$$V_{rms} = \frac{V_{P-P}}{2\sqrt{2}} \quad (۱-۶)$$

تمرین ۴: با استفاده از منبع DC ولتاژهای ۱۰، ۱۵، ۵- و ۳۰- ولت را روی اسیلوسکوپ مشاهده نمایید.

* برای کار کردن با اسیلوسکوپ لازم است ابتدا قبل از اعمال ورودی، کانال‌های آن را کالیبره نموده سپس عمل اندازه‌گیری را انجام دهید.

آزمایش شماره هفت:

اندازه‌گیری جریان و اختلاف فاز توسط اسیلوسکوپ

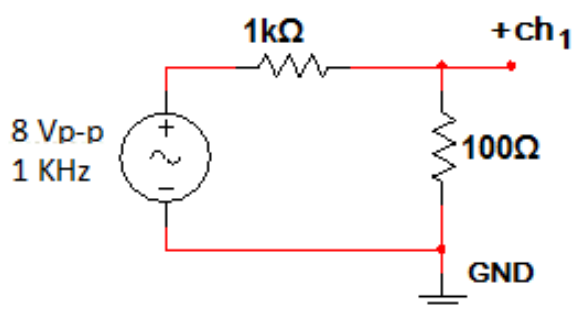
۷-۱- مشاهده شکل موج جریان روی صفحه اسیلوسکوپ

اسیلوسکوپ دستگاه اندازه‌گیری ولتاژ است ولی با اضافه کردن یک مقاومت می‌توان شکل موج جریان را نیز مشاهده کرد. برای مشاهده شکل موج جریان یک مقاومت با مدار سری کرده و شکل موج ولتاژ دو سر آن را با اسیلوسکوپ اندازه‌گیری می‌نماییم. حال با توجه به قانون اهم ($I = \frac{V}{R}$) اگر ولتاژ حاصل را به مقاومت سری شده تقسیم نماییم مقدار جریان به دست می‌آید. توجه داشته باشید که شکل موج دوسر هر مقاومت با شکل موج جریان آن از نظر نوع و فرکانس یکسان است و فقط دامنه آن باید به مقاومت تقسیم شود.

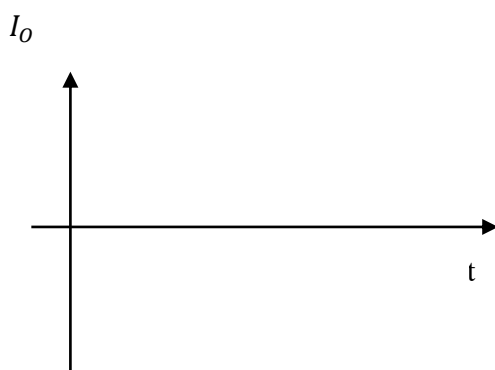
شرح آزمایش

مدار شکل (۷-۱) را روی برد مورد ببندید و شکل موج جریان دو سر مقاومت $R = 100 \Omega$ را رسم نمایید و مقدار جریان پیک تا پیک را برحسب واحدی از آمپر به دست آورید.

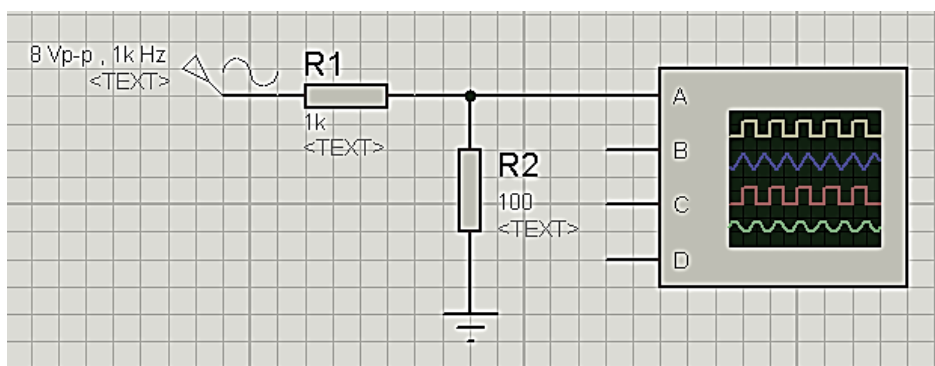
نکته: برای رسم تمامی شکل موج‌ها لازم است یک پریود کامل آن به‌طور دقیق رسم شده و رنج ولتاژ و رنج زمان نیز نوشته شود.



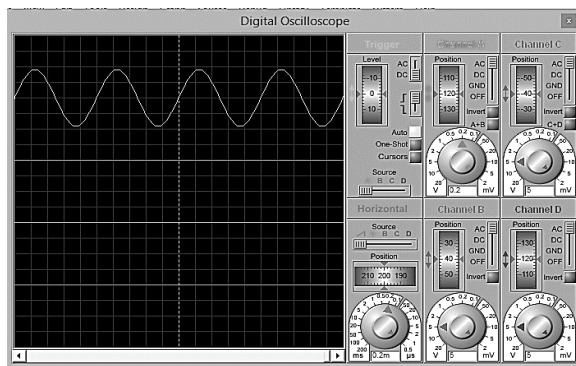
شکل ۷-۱- اندازه‌گیری جریان توسط اسیلوسکوپ



شکل ۷-۲- نمودار جریان خروجی بر حسب زمان



شکل ۷-۳- اندازه‌گیری جریان توسط اسیلوسکوپ در پروتئوس



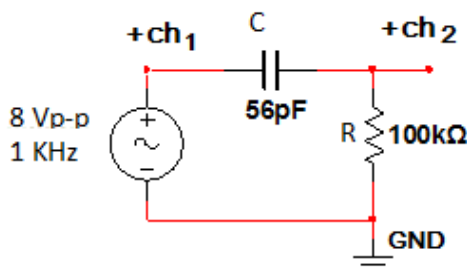
شکل ۷-۴- شکل موج اسیلوسکوپ

شکل (۷-۴) ولتاژ دو سر مقاومت ۱۰۰ اهم را نشان می‌دهد. برای مشاهده شکل موج جریان مدار، باید ولتاژ را به مقدار مقاومت تقسیم کنیم. شکل موج دوسر مقاومت ۱۰۰ اهم با شکل موج جریان آن از نظر نوع و فرکانس یکسان است و مقدار پیک تا پیک جریان برابر است با:

$$I_{p-p} = \frac{V_{p-p}}{R} = \frac{4 \times 0.2}{100} = 8 \text{ mA} \quad (7-1)$$

۷-۲- اندازه‌گیری اختلاف فاز

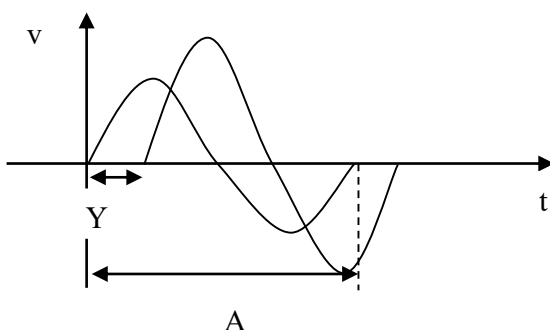
اندازه‌گیری اختلاف فاز را به دو روش می‌توان انجام داد. برای اندازه‌گیری اختلاف فاز حتماً باید دو شکل موج به‌طور هم‌زمان به اسیلوسکوپ داده شود. ابتدا مدار شکل (۷-۵) را روی برد مورد ببندید. کانال اول و کانال دوم را مطابق شکل زیر متصل کنید. توجه شود اسیلوسکوپ می‌تواند دو شکل موج را به‌طور هم‌زمان نمایش دهد، ولی زمین هر دو کانال یکی است.



شکل ۷-۵- مدار بررسی اندازه‌گیری اختلاف فاز

۷-۲-۱- روش اول اندازه‌گیری اختلاف فاز، روش هم‌زمانی دو شکل موج

بدین منظور ابتدا خط صفر هر دو کانال را در وسط صفحه تنظیم می‌کنیم. سپس دو کانال را در حالت AC قرار داده و هنگامی که هر دو سیگنال در حال نمایش هستند، تعداد خانه‌های اشغال‌شده توسط یک موج را شمرده و آن را A می‌نامیم سپس تعداد خانه‌های بین دو شکل موج را شمرده، آن را Y نامیده و در نهایت طبق رابطه (۷-۲) اختلاف فاز را برحسب درجه محاسبه و در جدول (۷-۱) یادداشت کنید.

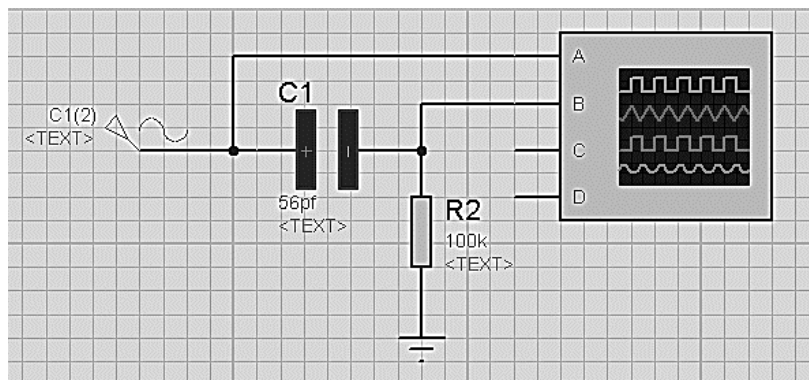


شکل ۷-۶- اختلاف فاز به روش هم‌زمانی دو شکل موج

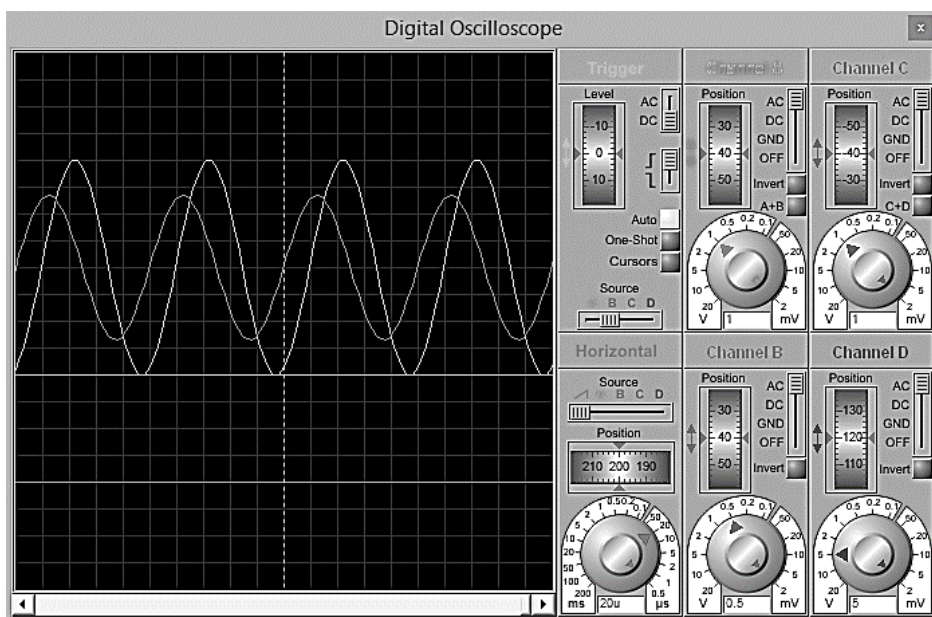
$$\frac{A}{Y} = \frac{360}{\phi} \rightarrow \phi = 360 \times \frac{Y}{A} \quad (۷-۲)$$

جدول ۷-۱- اندازه‌گیری اختلاف فاز به روش هم‌زمانی دو شکل موج

فرکانس	اختلاف فاز
۱۰ KHz	
۲۰ KHz	
۳۰ KHz	



شکل ۷-۷- مدار بررسی اندازه‌گیری اختلاف فاز در پروتئوس



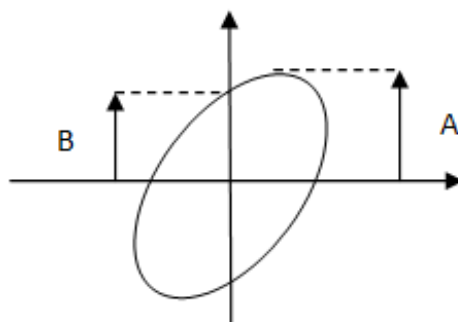
شکل ۷-۸- شکل موج نمایش داده شده توسط اسیلوسکوپ

با توجه به شکل موج اسیلوسکوپ مدار شکل (۷-۷)، اختلاف فاز به روش هم‌زمانی بدین صورت محاسبه می‌شود:

$$\varphi = 360^\circ \times \frac{Y}{A} \rightarrow \varphi = 360^\circ \times \frac{1}{5} = 72^\circ \quad (۷-۳)$$

۷-۲-۲- روش دوم اندازه‌گیری اختلاف فاز با استفاده از منحنی لیسازر

در این روش قبل از اتصال کانال‌ها کلیدهای مربوط را روی حالت X-Y قرار می‌دهیم، سپس هر دو کانال را روی وضعیت GND قرار می‌دهیم و نقطه نورانی حاصل را با استفاده از ولوم‌های Hor-Pos و Ver-Pos در مرکز صفحه تنظیم می‌کنیم (در این حالت چون الکترون‌ها در یک نقطه متمرکز شده‌اند نباید شدت نور اسیلوسکوپ زیاد باشد چون به پوششش فسفرسنت پشت صفحه آسیب وارد می‌شود). سپس هر دو کانال را در حالت AC قرار داده تا شکل موج (۷-۹) روی اسیلوسکوپ ظاهر شود. با توجه به رابطه زیر اختلاف فاز را محاسبه و در جدول (۷-۲) یادداشت کنید.

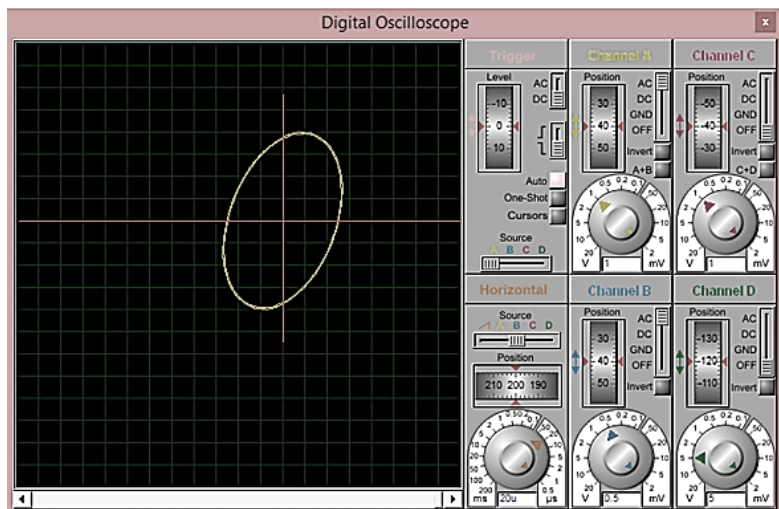


شکل ۷-۹- اختلاف فاز به روش هم‌زمانی دو شکل موج

$$\varphi = \sin^{-1} \frac{B}{A} \quad (۷-۴)$$

جدول ۷-۲- اندازه‌گیری اختلاف فاز به روش منحنی لیسازر

فرکانس	اختلاف فاز
۱۰ KHz	
۲۰ KHz	
۳۰ KHz	



شکل ۷-۱۰- منحنی لیسائر

با توجه به شکل موج اسیلوسکوپ مدار شکل (۷-۷)، اختلاف فاز با استفاده از منحنی لیسائر بدین صورت محاسبه می‌شود:

$$\varphi = \sin^{-1} \frac{B}{A} \rightarrow \varphi = \sin^{-1} \frac{4/8}{5} = 73^\circ \quad (5-7)$$

* حالت‌های خاص منحنی لیسائر بدین صورت است:



شکل ۷-۱۱- حالت‌های مختلف منحنی لیسائر

سؤال

- ۱- در صورتی که منحنی لیسائر به صورت یک منحنی در ربع دوم و چهارم باشد اختلاف فاز از چه رابطه‌ای محاسبه می‌شود؟
- ۲- اگر منحنی لیسائر به صورت یک خط در ربع اول و سوم و یا در ربع دوم و چهارم باشد اختلاف فاز از چه رابطه‌ای محاسبه می‌شود؟

آزمایش شماره هشت:

بررسی پاسخ پله مدارات مرتبه اول RC، RL و اندازه‌گیری ثابت زمانی

نحوه اندازه‌گیری ثابت زمانی به صورت تئوری

الف) مدار RC

در این مدارات از رابطه $\tau = R_T \cdot C$ ثابت زمانی محاسبه می‌شود که مقدار R_T مقاومت معادل دیده‌شده از دو سر خازن زمانی که تمام منابع مدار خنثی است.

ب) مدار RL

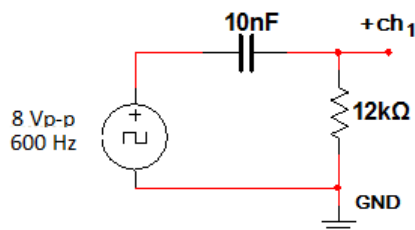
در این مدارات ثابت زمانی از رابطه $\tau = \frac{L}{R_T}$ به دست می‌آید که مقدار R_T مقاومت معادل دیده‌شده از دو سر سلف وقتی تمام منابع مدار خنثی است.

نحوه اندازه‌گیری ثابت زمانی به صورت عملی

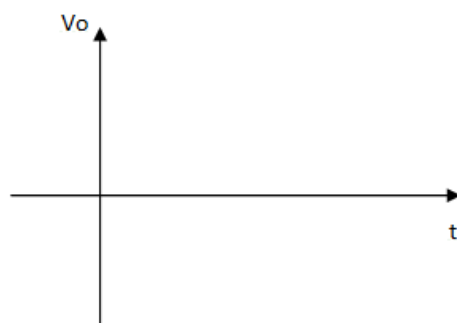
در مدارات مشتق‌گیر مدت زمانی که طول می‌کشد تا دامنه شکل موج از مقدار ماکزیمم (V_m) به $0.37 V_m$ تقلیل یابد برابر ثابت زمانی است و در مدارات انتگرال‌گیر مدت زمانی که طول می‌کشد تا دامنه شکل موج از صفر به $0.63 V_m$ برسد برابر ثابت زمانی است.

۸-۱- مدار RC سری

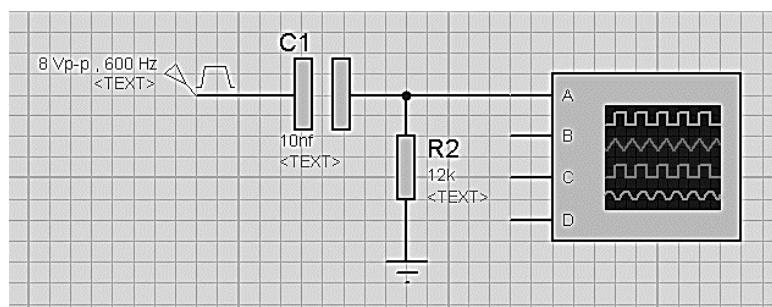
مدار شکل (۸-۱) را روی برد ببندید و شکل موج خروجی را مشاهده و یک پریود کامل آن را به‌طور دقیق رسم کنید. ثابت زمانی را از روی شکل موج به دست آورده و یادداشت کنید. همچنین ثابت زمانی را از روش تئوری نیز محاسبه و با مقدار عملی مقایسه کنید.



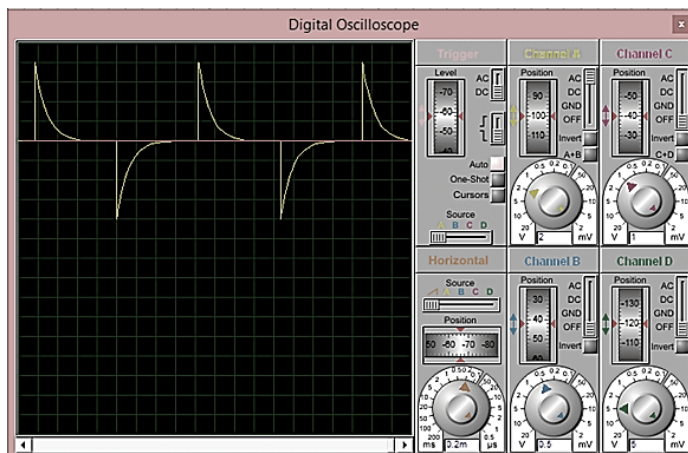
شکل ۸-۱- مدار RC سری



شکل ۸-۲- شکل موج خروجی مدار RC سری



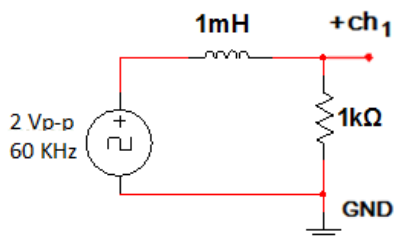
شکل ۸-۳- مدار RC سری در پروتئوس



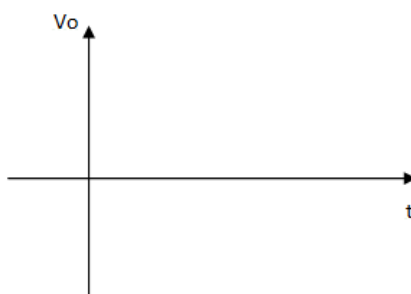
شکل ۸-۴- شکل موج خروجی مدار RC سری

۸-۲- مدار RL سری

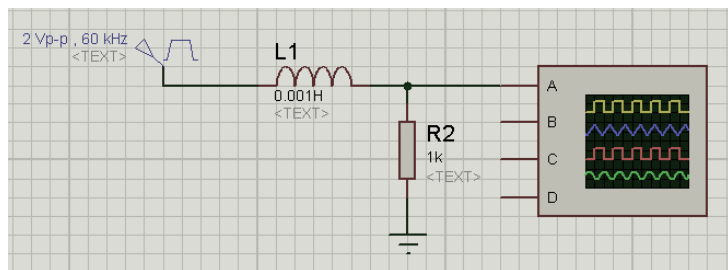
مدار شکل (۸-۵) را روی برد بورد ببندید و شکل موج خروجی را برای یک پریود کامل آن رسم کنید. ثابت زمانی را از روی شکل موج و نیز با استفاده از فرمول محاسبه و با یکدیگر مقایسه کنید.



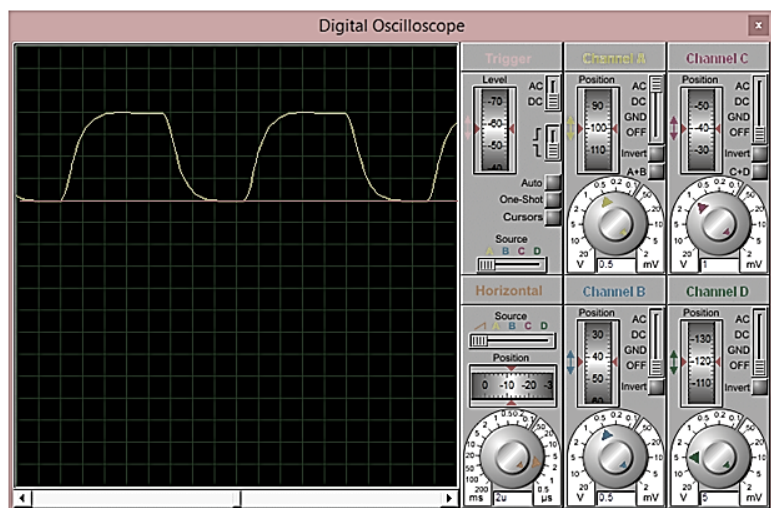
شکل ۸-۵- مدار RL سری



شکل ۸-۶- شکل موج خروجی مدار RL سری



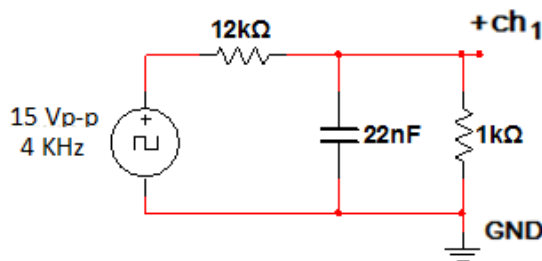
شکل ۸-۷- مدار RL سری در پروتئوس



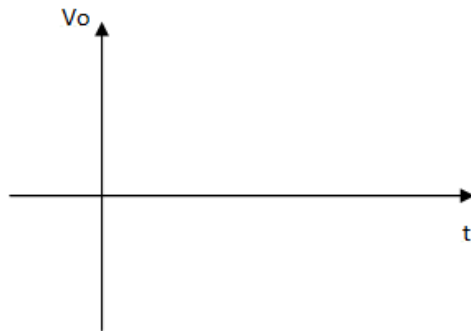
شکل ۸-۸- شکل موج خروجی مدار RL سری

۸-۳- مدار RC موازی

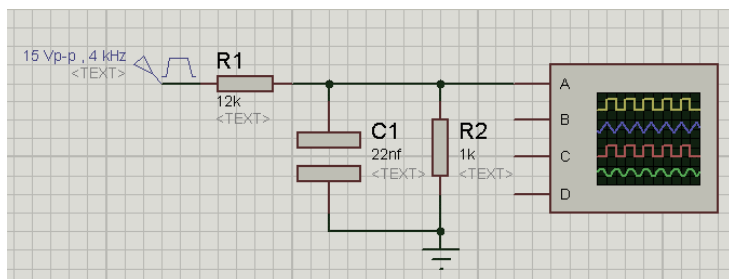
مدار شکل (۸-۹) را روی برد بورد ببندید و شکل موج خروجی را رسم و ثابت زمانی را هم از روی شکل موج و هم به صورت تئوری محاسبه کنید.



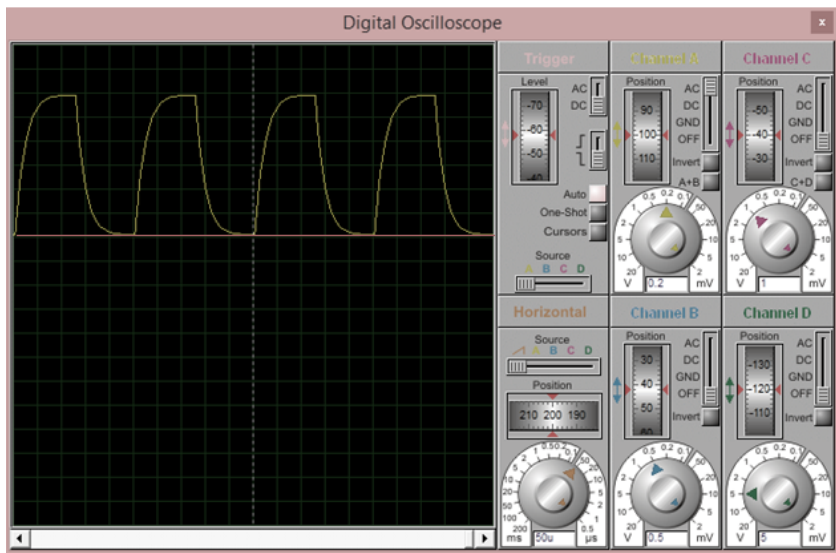
شکل ۸-۹- مدار RC موازی



شکل ۸-۱۰- شکل موج خروجی مدار RC موازی



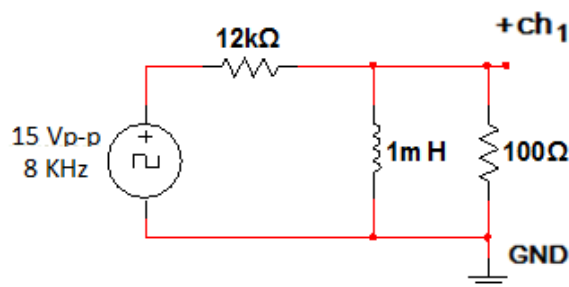
شکل ۸-۱۱- مدار RC موازی در پروتئوس



شکل ۸-۱۲- شکل موج خروجی مدار RC موازی در پروتئوس

۸-۴- مدار RL موازی

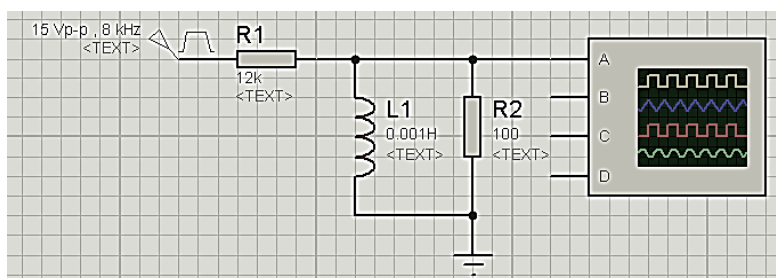
مدار شکل (۸-۱۲) را روی برد بورد ببندید و شکل موج خروجی را رسم و ثابت زمانی را هم از روی شکل موج و هم از رابطه تئوری به دست آورید.



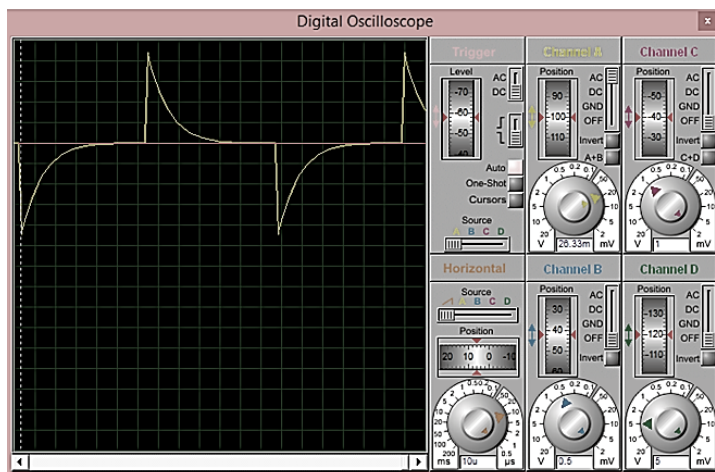
شکل ۸-۱۳- مدار RL موازی



شکل ۸-۱۴- شکل موج خروجی مدار RL موازی



شکل ۸-۱۵- مدار RL موازی در پروتئوس



شکل ۸-۱۶- شکل موج خروجی مدار RL موازی در پروتئوس

سؤال

۱- معادله هر یک از مدارات را با فرض ورودی سینوسی به دست آورید.

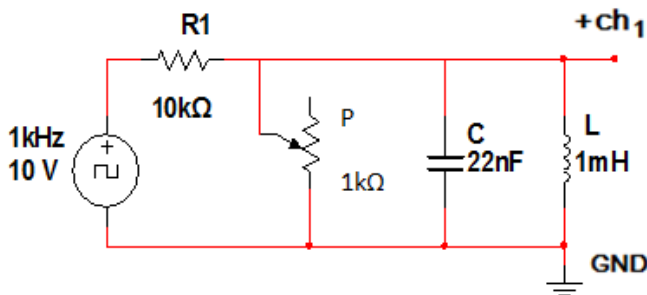
آزمایش شماره نه:

بررسی پاسخ پله مدارات مرتبه دوم RLC و اندازه‌گیری پارامترهای آن

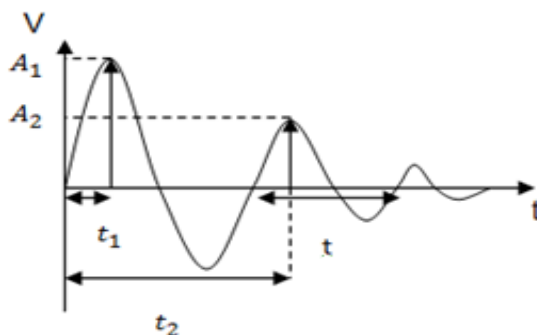
در مداراتی که بیش از یک المان ذخیره‌کننده انرژی وجود داشته باشد، بررسی مدار مشکل‌تر از حالتی است که تنها یک المان ذخیره‌کننده انرژی در مدار موجود باشد؛ زیرا در هر مدار RLC با تغییر L و C نسبت به یکدیگر ممکن است پاسخ مدار به کلی تغییر کند و خروجی‌ها هیچ شباهتی با هم نداشته باشند.

۱-۹- شرح آزمایش

مدار شکل (۱-۹) یک مدار RLC موازی است آن را روی برد برد ببندید. شکل موج خروجی آن را مشاهده و رسم کنید. با توجه به شکل موج، مقادیر A_1 ، A_2 ، t_1 و t_2 را اندازه‌گیری و ضریب تضعیف (α) را محاسبه کنید.



شکل ۱-۹- مدار RLC موازی



شکل ۹-۲- شکل موج خروجی مدار RLC موازی

$$\alpha = \frac{\ln \frac{A_1}{A_2}}{t_2 - t_1} \quad (۹-۱)$$

۹-۲- فرکانس نوسان (F_c)

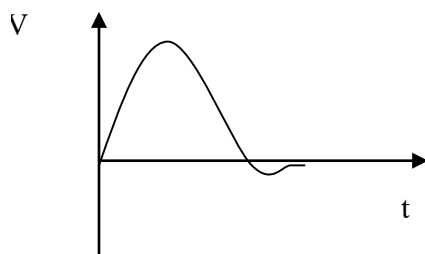
فرکانس نوسان را در حالت نوسانی شکل موج خروجی، به صورت عملی و تئوری با توجه به روابط (۹-۲) و (۹-۳) محاسبه می‌شود.

$$F_c = \frac{1}{t} \text{ عملی} \quad (۹-۲)$$

$$F_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ تئوری} \quad (۹-۳)$$

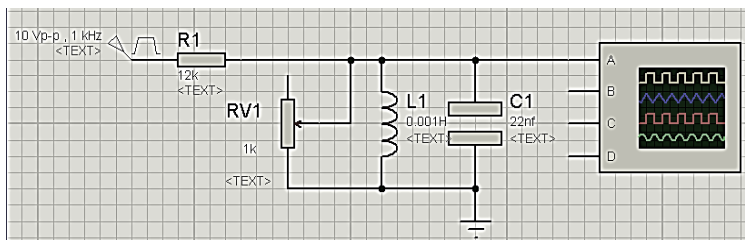
۹-۳- مقاومت بحرانی (R_a)

برای محاسبه مقاومت بحرانی، ولوم را در مدار تغییر داده تا شکل موج خروجی از حالت نوسانی خارج شود و مانند شکل (۹-۳) شود. در این حالت ولوم را از مدار خارج و با اهم‌متر، اهم آن را اندازه‌گیری کنید.

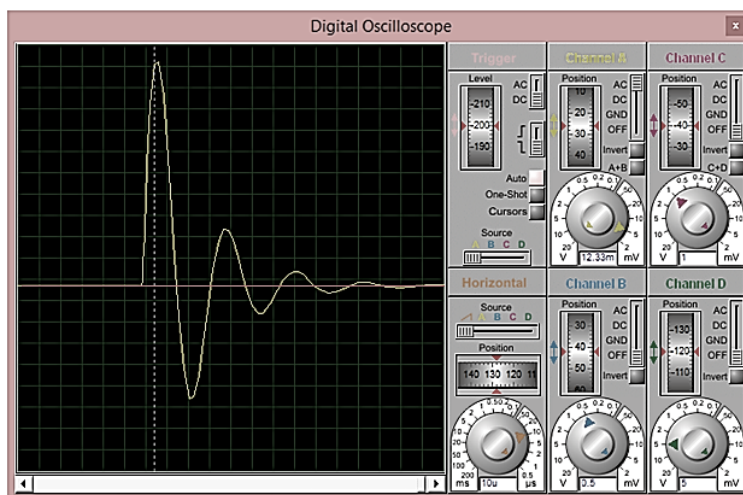


شکل ۹-۳- شکل موج خروجی برای محاسبه مقاومت بحرانی

$$R_a =$$



شکل ۹-۴- مدار موازی در پروتئوس



شکل ۹-۵- شکل موج خروجی مدار موازی در پروتئوس

با توجه به شکل موج مدار فوق ضریب تضعیف بدین صورت محاسبه می شود

$$\alpha = \frac{\ln \frac{A_1}{A_2}}{t_2 - t_1} = \frac{\ln \frac{1}{2}}{(3/5 - 0/5) \times 10^{-6}} = 53647 \quad (4-9)$$

سؤال

- ۱- رابطه حاکم بر مدارات RLC را در حالت سینوسی به دست آورید؛ سپس پاسخ معادله را نیز به صورت پارامتری به دست آورید.

آزمایش شماره ده:

بررسی فیلترهای بالاگذر، پایین گذر و میان گذر

در این آزمایش از دو مدار RC به عنوان فیلتر پایین گذر و بالاگذر و یک مدار RLC سری به عنوان فیلتر میان گذر استفاده می شود.

در مدارات RC فرکانس قطع از رابطه $F_C = \frac{1}{2\pi RC}$ به دست می آید.

در مدارات RLC که به عنوان فیلتر میان گذر استفاده می شود، فرکانس تشدید از رابطه (۱۰-۱) به دست آید.

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{LC}} \rightarrow F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1-10)$$

نکته: با توجه به فرمول بالا و استفاده از مدار RLC صفحه بعد (مدار تشدید) می توان مقادیر سلف یا خازن مجهول را به دست آورد.

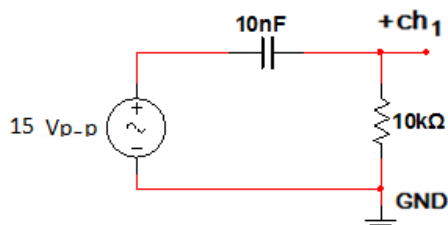
همچنین فرکانس قطع (نصف قدرت) به صورت زیر تعریف می شود:

$$V_0 = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (2-10)$$

۱-۱۰- مدار RC به عنوان فیلتر بالا گذر

مدار شکل (۱-۱۰) را روی برد مورد ببینید و با اعمال ولتاژ سینوسی با دامنه ۱۵ ولت پیک تا پیک (برای هر سه قسمت آزمایش) به عنوان ورودی مدار، فرکانس آن را از ۵۰ Hz تا ۲۰۰ KHz تغییر دهید (فرکانس را به گونه ای افزایش دهید تا ولتاژ خروجی بیشتر از نیم ولت تغییر نیابد). مقدار ولتاژ خروجی (V_0) را اندازه گیری و در جدول (۱-۱۰) یادداشت کنید. منحنی

تغییرات V_o را نسبت به فرکانس رسم کنید. همچنین فرکانس قطع را اندازه‌گیری کنید.



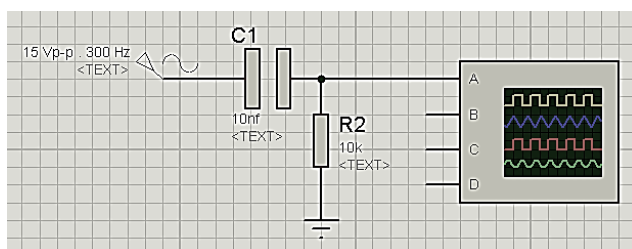
شکل ۱۰-۱- مدار RC به‌عنوان فیلتر بالا گذر

جدول ۱۰-۱- اندازه‌گیری ولتاژ خروجی با تغییر فرکانس

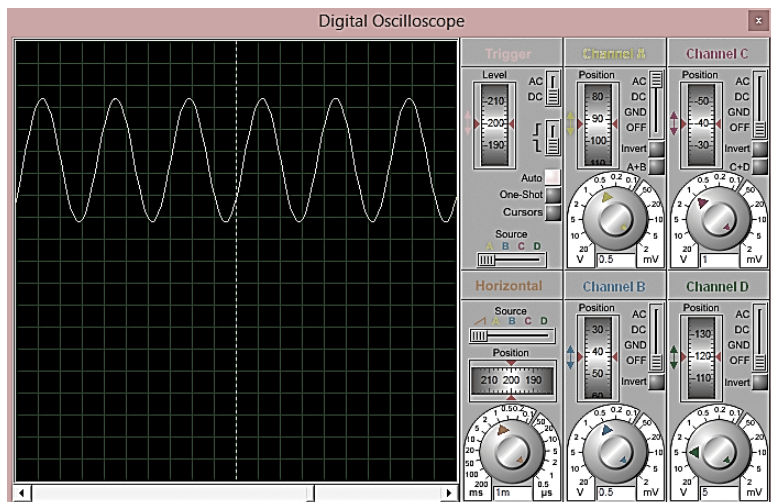
فرکانس	
V_o	



شکل ۱۰-۲- رسم شکل موج خروجی



شکل ۱۰-۳- مدار RC به‌عنوان فیلتر بالا گذر در پروتئوس

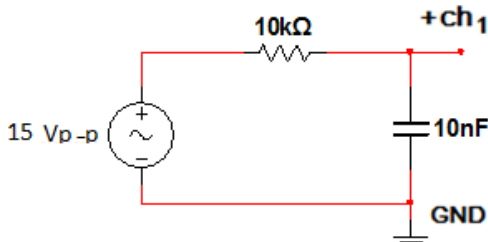


شکل ۱۰-۴- شکل موج خروجی مدار RC به عنوان فیلتر بالا گذر

همان طور که از شکل موج خروجی مدار (۱۰-۳) مشاهده می شود در فرکانس ۳۰۰ هرتز، دامنه شکل موج خروجی فیلتر بالا گذر برابر است با $2/7$ ولت پیک تا پیک. با افزایش فرکانس ورودی، دامنه ولتاژ خروجی نیز افزایش می یابد. در اینجا برای خلاصه کردن مطلب فقط یک نمونه از سایر فرکانس ها، شبیه سازی شده است.

۱۰-۲- مدار RC به عنوان فیلتر پایین گذر

مدار شکل (۱۰-۵) را روی برد بورد ببندید و مانند قبل فرکانس را از ۵۰ Hz تا ۲۰۰ KHz تغییر دهید (فرکانس را به گونه ای تغییر دهید تا ولتاژ خروجی بیشتر از نیم ولت تغییر نکند). ولتاژ خروجی را اندازه گیری و در جدول (۱۰-۲) یادداشت کنید. منحنی تغییرات ولتاژ خروجی را نسبت به ورودی رسم کنید. همچنین فرکانس قطع را اندازه گیری کنید.



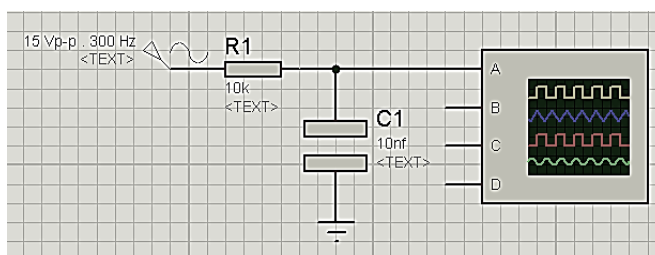
شکل ۱۰-۵- مدار RC به عنوان فیلتر پایین گذر

جدول ۱۰-۲- اندازه‌گیری ولتاژ خروجی با تغییر فرکانس

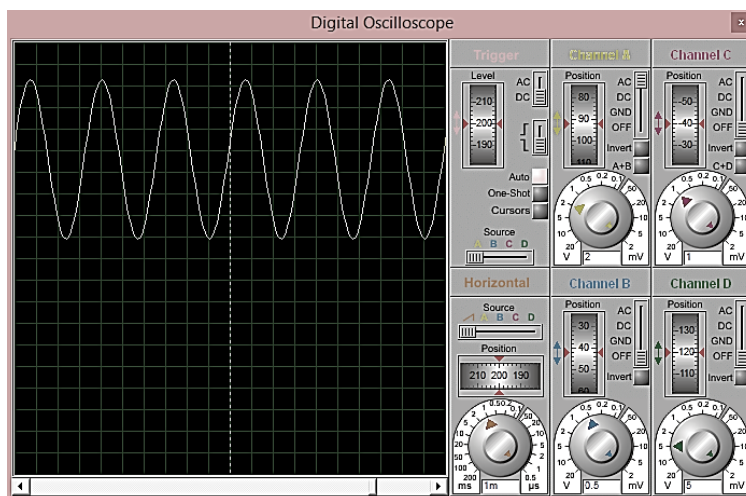
فرکانس	
V_o	



شکل ۱۰-۶- رسم شکل موج خروجی



شکل ۱۰-۷- مدار RC به‌عنوان فیلتر پایین‌گذر در پروتئوس

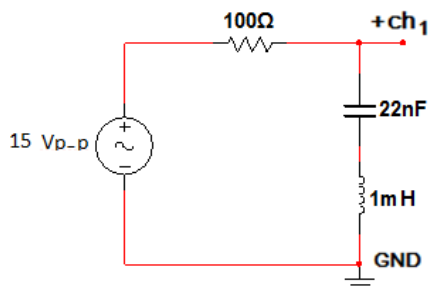


شکل ۱۰-۸- شکل موج خروجی مدار RC به‌عنوان فیلتر پایین‌گذر

همان‌طور که از شکل موج خروجی مدار (۷-۱۰) مشاهده می‌شود در فرکانس ۳۰۰ هرتز، دامنه شکل موج خروجی فیلتر پایین‌گذر برابر است با ۱۴/۴ ولت پیک تا پیک. با افزایش فرکانس ورودی، دامنه ولتاژ خروجی کاهش می‌یابد. در اینجا برای خلاصه‌کردن مطلب فقط یک نمونه از سایر فرکانس‌ها، شبیه‌سازی شده است.

۳-۱۰- مدار RLC به‌عنوان فیلتر میان‌گذر

مدار شکل (۹-۱۰) را روی برد بورد ببندید و با اعمال ورودی و تغییر فرکانس از ۵۰ Hz تا ۲۰۰ KHz ولتاژ خروجی را اندازه‌گیری و در جدول (۳-۱۰) یادداشت کنید. منحنی تغییرات V_o را برحسب فرکانس رسم کنید. همچنین فرکانس تشدید مدار، فرکانس قطع پایین و فرکانس قطع بالا را اندازه‌گیری و همچنین مقدار تئوری آن را محاسبه کنید.



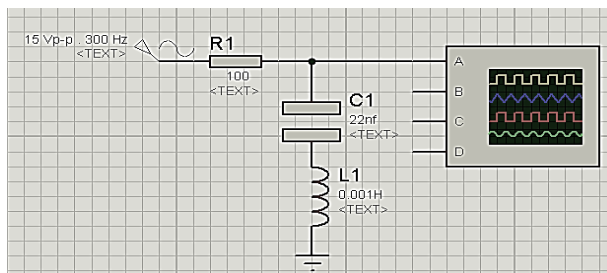
شکل ۹-۱۰- مدار RLC به‌عنوان فیلتر میان‌گذر

جدول ۳-۱۰- اندازه‌گیری ولتاژ خروجی با تغییر فرکانس

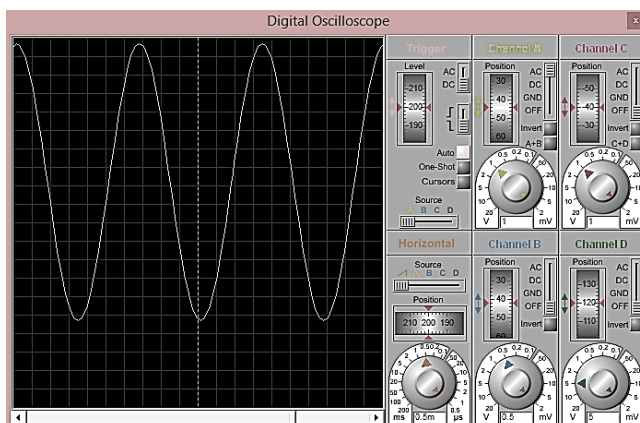
فرکانس	
V_o	



شکل ۱۰-۱۰- رسم شکل موج خروجی



شکل ۱۰-۱۱- مدار RLC به‌عنوان فیلتر میان‌گذر در پروتئوس



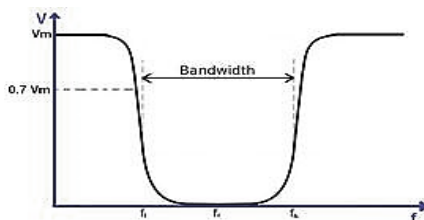
شکل ۱۰-۱۲- شکل موج خروجی مدار RLC به‌عنوان فیلتر میان‌گذر

همان‌طور که از شکل موج خروجی مدار (۱۰-۱۱) مشاهده می‌شود، در فرکانس ۳۰۰ هرتز، دامنه شکل موج خروجی فیلتر میان‌گذر برابر است با $14/8$ ولت پیک تا پیک. با افزایش فرکانس ورودی، دامنه ولتاژ خروجی شروع به کم شدن می‌کند تا جایی که در فرکانس تشدید به مینیمم مقدار خود برسد، سپس با افزایش فرکانس مقدار دامنه ولتاژ شروع به افزایش می‌کند. در اینجا برای خلاصه کردن مطلب فقط یک نمونه از سایر فرکانس‌ها، شبیه‌سازی شده است.

۱۰-۴- محاسبه سلف یا خازن مجهول از روش فیلتر میان‌گذر

از فیلتر میان‌گذر در فرکانس تشدید برای محاسبه سلف یا خازن مجهول می‌توان استفاده کرد. البته برای اندازه‌گیری سلف یا خازن مجهول دستگاه اندازه‌گیری LCR متر نیز وجود دارد. ولی زمانی که دسترسی به دستگاه اندازه‌گیری

LCR متر نداریم برای اندازه گیری سلف یا خازن مجهول محاسبه از طریق فرکانس تشدید، مؤثر و کاربردی است.



شکل ۱۰-۱۳- نمودار ولتاژ خروجی مدار فیلتر میان گذر

شکل (۱۰-۱۳) نمودار ولتاژ خروجی مدار فیلتر میان گذر برحسب فرکانس است در فرکانس تشدید (F_C) رابطه زیر برقرار است و می توان مقدار سلف و خازن مجهول را از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$X_L = X_C \rightarrow L\omega_L = \frac{1}{C\omega_C}, \omega_C = \omega_L \rightarrow LC\omega_C^2 = 1 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} L_X = \frac{1}{C(2\pi f_C)^2} \\ C_X = \frac{1}{L(2\pi f_C)^2} \end{array} \right. \quad (3-10)$$

سؤال

- ۱- چند مورد از کاربردهای فیلتر را نام ببرید.
- ۲- به جز فیلترهای بررسی شده در این آزمایش چه فیلترهای دیگری می شناسید؟ روش کار آنها را توضیح دهید.

آزمایش شماره یازده:

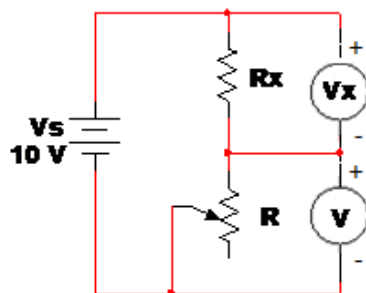
اندازه‌گیری مقاومت (امپدانس) مجهول با روش‌های مقایسه ولتاژ و پل وتسون

۱-۱۱- اندازه‌گیری مقاومت (امپدانس) مجهول با روش مقایسه ولتاژ

مدار شکل (۱-۱۱) را روی برد ببندید و ولوم را تغییر دهید تا مقدار ولتاژ نشان داده‌شده توسط ولت‌مترها یکی شود، حال ولوم را از مدار خارج و با اهم‌متر، مقدار اهم آن را اندازه‌گیری کنید. آنگاه $R = R_x$ است و در صورتی که ولتاژها با هم برابر نباشند، مقاومت مجهول از رابطه (۱-۱۱) محاسبه می‌شود:

$$R_x = \left(\frac{V_x}{V} \right) \cdot R \quad (1-11)$$

با استفاده از مدار (۱-۱۱) مقاومت‌های داخل جدول را به روش مقایسه ولتاژ اندازه‌گیری و در جدول (۱-۱۱) یادداشت کنید.

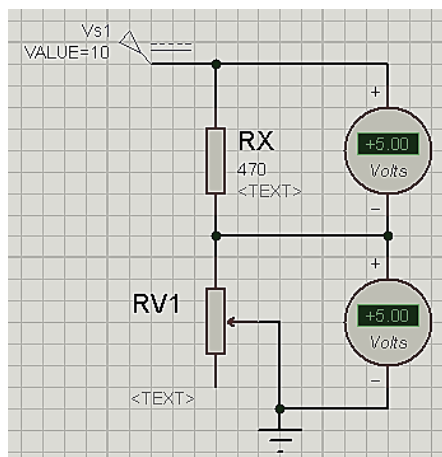


شکل ۱-۱۱- مدار بررسی اندازه‌گیری مقاومت مجهول

جدول ۱۱-۱- اندازه‌گیری V و V_x و محاسبه R_x

R	470Ω	$1K\Omega$	$10K\Omega$	$47K\Omega$
V				
V_x				
R_x				

نکته: از این آزمایش می‌توان برای محاسبه مقاومت ورودی و خروجی مدارات مختلف مانند تقویت‌کننده‌ها استفاده کرد.



شکل ۱۱-۲- مدار بررسی اندازه‌گیری مقاومت مجهول در پروتئوس

در شبیه‌سازی مدار شکل (۱۱-۲) چون هر دو ولت‌متر ۵ ولت را نشان می‌دهند، پس مقاومت مجهول برابر است با مقدار ولوم که توسط اهم‌متر اندازه‌گیری شده است. مقدار مقاومت ولوم اندازه‌گیری شده توسط اهم‌متر برابر است با 470Ω اهم، بنابراین مقدار مقاومت مجهول برابر است با:

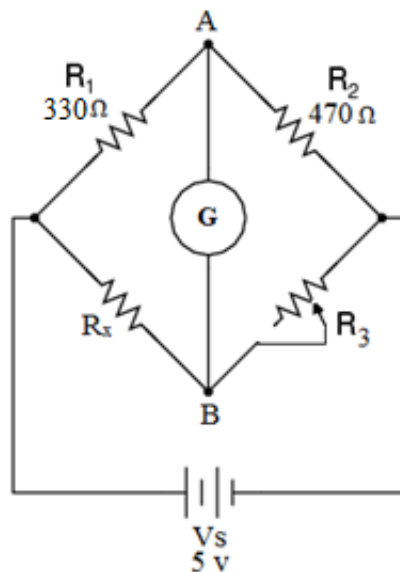
$$R_x = 470\Omega \quad (11-2)$$

۱۱-۲- اندازه‌گیری مقاومت (امپدانس) مجهول با روش پل وتسون

پل وتسون طرحی است که نخستین بار توسط چالز وتسون برای تعیین مقاومت‌های مجهول پیشنهاد شد. طبق این طرح، دو مقاومت معلوم و ثابت R_1 و R_2 و یک مقاومت متغیر R_3 و یک مقاومت مجهول R_x مطابق شکل (۱۱-۳)

به هم اتصال داده می‌شود. این چهار مقاومت دوبه‌دو به‌طور سری با یکدیگر بسته شده‌اند. بین دو نقطه A و B گالوانومتری قرار دارد که شدت جریان را در این شاخه از مدار نشان می‌دهد.

در عمل مقاومت متغیر R_3 را آن‌قدر تغییر می‌دهیم تا عقربه گالوانومتر روی صفر قرار بگیرد. در این صورت بین دو نقطه A و B اختلاف پتانسیل الکتریکی وجود ندارد و این دو نقطه هم‌پتانسیل می‌شوند. در این صورت، شدت جریان در مقاومت‌های R_1 و R_2 و نیز در مقاومت‌های R_x و R_3 یکسان است.



شکل ۱۱-۳- پل وتسون

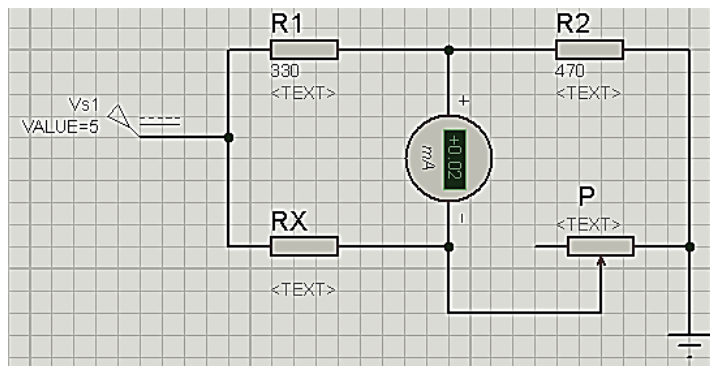
$$R_3 I_3 = R_2 I_2 \quad (3-11)$$

$$R_1 I_1 = I_x R_x \quad (4-11)$$

از تقسیم این دو رابطه (۳-۱۱) و (۴-۱۱) به هم نتیجه می‌شود:

$$R_3 R_1 = R_x R_2 \quad (5-11)$$

چون مقاومت R_1 ، R_2 و R_3 معلوم هستند، می‌توانیم با استفاده از این رابطه مقدار R_x را محاسبه کنیم.



شکل ۴-۱۱- پل وتسون در پروتئوس

همان‌طور که در مدار شکل (۴-۱۱) مشاهده می‌شود، گالوانومتر عدد صفر را نشان می‌دهد؛ بنابراین طبق رابطه (۵-۱۱) می‌توان مقاومت مجهول را محاسبه کرد:

$$R_p R_1 = R_x R_p \rightarrow R_x = \frac{R_p \times P}{R_p} = \frac{330 \times 150}{470} \approx 100 \, \Omega \quad (۶-۱۱)$$

سؤال

۱- رابطه R_x را در روش مقایسه ولتاژ اثبات کنید.

آزمایش شماره دوازده:

اندازه‌گیری ظرفیت سلف و خازن مجهول با استفاده از اندازه‌گیری جریان و ولتاژ

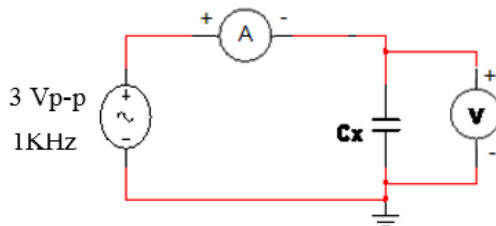
۱-۱۲- اندازه‌گیری ظرفیت خازن مجهول به روش ولت‌متر و آمپر‌متر

زمانی که تلفات دی‌الکتریک خازن ناچیز باشد بهترین روش برای اندازه‌گیری ظرفیت خازن، روش ولت‌متر و آمپر‌متر است. در این صورت با استفاده از مدار (۱-۱۲) و با توجه به رابطه داده‌شده، می‌توان ظرفیت خازن را محاسبه کرد.

$$C_x = \frac{I}{2\pi fV} \quad (1-12)$$

شرح آزمایش

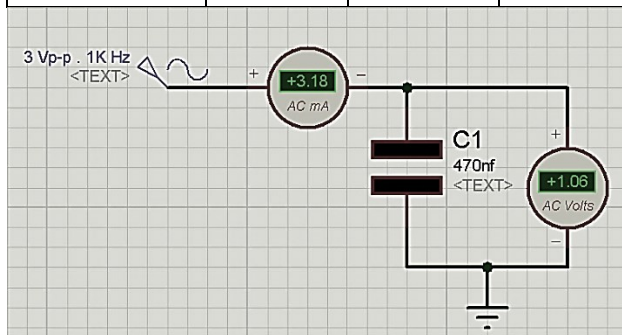
مدار شکل (۱-۱۲) را روی برد مورد ببندید. مقادیر جریان و ولتاژ خازن را اندازه‌گیری و در جدول (۱-۱۲) یادداشت کنید و با استفاده از رابطه (۱-۱۲) ظرفیت خازن را نیز محاسبه کنید.



شکل ۱-۱۲- مدار اندازه‌گیری ظرفیت خازن مجهول به روش ولت‌متر و آمپر‌متر

جدول ۱۲-۱- اندازه‌گیری V و I و محاسبه Cx

	V	I	Cx
$C_1 = 470 \text{ nf}$			
$C_x = 820 \text{ nf}$			



شکل ۱۲-۲- مدار اندازه‌گیری ظرفیت خازن مجهول

به روش ولت‌متر و آمپر متر در پروتئوس

شکل (۱۲-۲) شبیه‌سازی مدار خازن مجهول است. بعد از اجرای مدار مقدار جریان عبوری از خازن و ولتاژ دو سر آن را می‌توان مشاهده کرد. با توجه به فرمول محاسبه مقدار خازن مجهول داریم:

$$C_x = \frac{I}{2\pi fV} = \frac{3.18 \times 10^{-3}}{2 \times 3.14 \times 10^3 \times 1.06} \approx 477 \times 10^{-9} \text{ F} \quad (12-2)$$

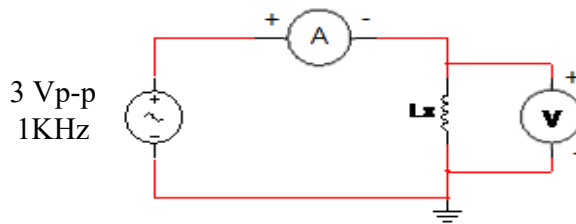
۱۲-۲- اندازه‌گیری مقدار سلف مجهول به روش ولت‌متر و آمپر متر

مدار شکل (۱۲-۳) را ببینید. ولتاژ و جریان مدار را اندازه‌گیری کنید و با توجه به رابطه (۱۲-۳) مقدار سلف مجهول را محاسبه و جدول (۱۲-۲) را کامل کنید.

$$L_x = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (12-3)$$

Z: مقاومت ظاهری سلف است و برابر است با $\frac{V}{I}$.

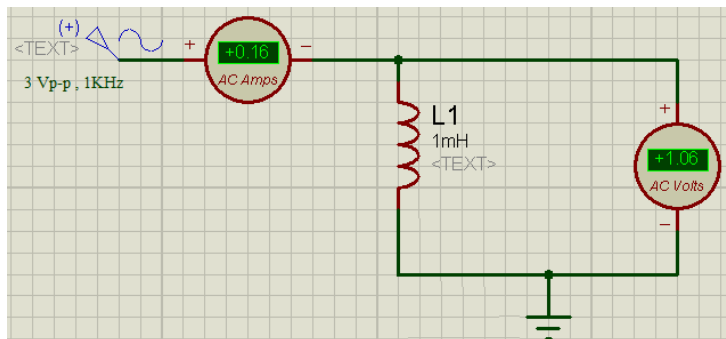
R: مقاومت اهمی سلف که توسط اهم‌متر اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۱۲-۳- مدار اندازه‌گیری مقدار سلف مجهول به روش ولت‌متر و آمپر‌متر

جدول ۱۲-۲- اندازه‌گیری R و V و I و محاسبه L_x

	I	V	R	L_x
$L_1 = 1 \text{ mH}$				
$L_2 = 4/7 \text{ mH}$				



شکل ۱۲-۴- مدار اندازه‌گیری مقدار سلف مجهول به روش ولت‌متر و آمپر‌متر در پروتئوس

شکل (۱۲-۴) شبیه‌سازی مدار سلف مجهول است. با توجه به مقادیر ولت‌متر و آمپر‌متر و روابط (۱۲-۳) خواهیم داشت:

$$L_x = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{Z^2 - R^2} = \frac{1}{2\pi \times 10^3} \sqrt{\left(\frac{1.06}{0.16}\right)^2 - (1)^2} = 0.00104 \text{ H} \quad (12-4)$$

منابع

- اصول و کاربرد دستگاه‌های اندازه‌گیری الکتریکی و الکترونیکی / نویسنده: کاظمی.
اندازه‌گیری الکتریکی / نویسنده: ساونی.
تحلیل مهندسی مدار / نویسنده: ویلیام هیت.
نظریه اساسی مدارها و شبکه‌ها / ترجمه و تکمیل: پرویز جبه‌دار.
آموزش پیشرفته پروتئوس / نویسنده: میلاد شیری.