

II	.....	مقدمه
		فصل اول - تئوری
۱	.....	یاد آوری مدار
۸	.....	مقاومت
۱۴	.....	خازن
۱۹	.....	اسیلوسکوپ
۲۵	.....	لحیم کاری
		فصل دوم - آزمایش
۳۲	.....	اهم
۳۴	.....	KCL , KVL
۳۶	.....	تقسیم ولتاژ و جریان
۴۰	.....	اصل جمع آثار
۴۲	.....	تونن و نرتن
۴۶	.....	مدارهای جریان متناوب
۴۹	.....	فیلتر پایین گذر
۵۴	.....	فیلتر بالا گذر
۵۶	.....	فیلتر میان گذر
۵۹	.....	تشدید
۶۵	.....	RC انتگرال گیر
۶۶	.....	RC مشتق گیر
۶۸	.....	انرژی الکتریکی (کنتور)
۶۹	.....	توان اکتیو در مدارهای تک فاز

مقدمه

آزمایشگاه اندازه گیری و مدار را شاید بتوان یکی از پایه‌های مهم آزمایشگاه‌های رشته برق دانست. موفقیت در این آزمایشگاه راه را برای پیشرفت‌های بعدی هموار می‌کند. برای رسیدن به این هدف یکی از عوامل لازم وجود دستور کارهای مناسب است. بنحوی که دانشجو بتواند با استفاده از آن علاوه بر آموزش وسایل و دستگاههای اندازه گیری و یادگیری مطالب تئوری با جنبه‌های عملی کار نیز آشنا شود و درستی مطالب تئوری را در عمل نیز مشاهده نماید.

رمز موفقیت در این آزمایشگاه آمادگی قبل از آزمایش است. به این ترتیب که لازم است دانشجو قبل از هر جلسه دستور کار آزمایش مربوطه را دقیقاً مطالعه کرده و روابط و پارامترهای خواسته شده را محاسبه نماید و به سؤالات قبل از آزمایش نیز پاسخ گوید. در این صورت بازده آزمایشگاه بمراتب بیشتر خواهد شد.

محمدصادق ملکی

۱۳۸۴

قانون اهم

برای بوجود آوردن جریان در یک مقاومت ، باید یک ولتاژ را در سرتاسر مقاومت ایجاد کنیم . قانون اهم وابستگی بین ولتاژ ، جریان و مقاومت را بیان میکند که به ۳ روش مختلف بیان می شود.

$$V = I \times R \quad \text{یا} \quad I = \frac{V}{R} \quad \text{یا} \quad R = \frac{V}{I}$$

در فرمولهای بالا واحد ولتاژ (ولت V) واحد جریان (آمپر I) و واحد مقاومت (اهم) می باشد .

در اکثر مدارهای الکتریکی معمولاً مقدار آمپر بسیار بالا و برعکس مقدار مقاومت معمولاً پائین در نظر گرفته شده است . لذا جریان با میلی آمپر و اهم با کیلو اهم اندازه گیری می شود .

محاسبات قانون اهم

از متد زیر استفاده کنید تا در مسیر محاسبات شما را هدایت کند

- ابتدا مقادیر را بنویسید و واحد ها را هم اگر ضروری است ذکر کنید.
- معادله ای را که احتیاج دارید انتخاب کنید.
- اعداد را داخل معادله قرار دهید و جواب را محاسبه کنید.

مثال : بر روی یک مقاومت ۶ اهم ، ۳ ولت ولتاژ وجود دارد ، اینک مقدار جریان چقدر است ؟

مقادیر :

$$I = ? \quad V = 3 \text{ V} \quad R = 6$$

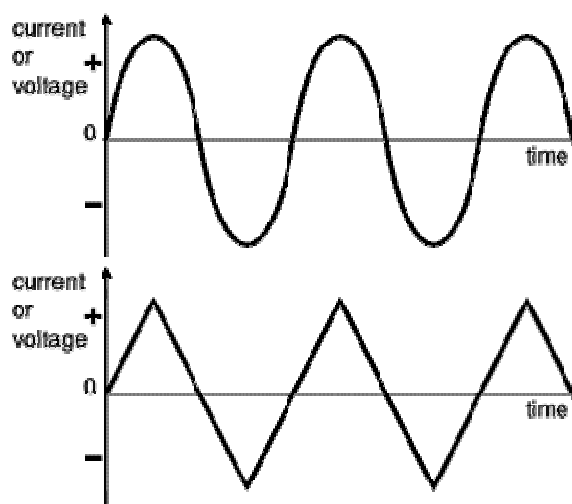
$$I = V/R \text{ فرمول انتخابی:}$$

$$I = 3/6 = 0.5 \text{ A پاسخ:}$$

سیگنالهای AC , DC

AC به معنی جریان متناوب و DC به معنی جریان مستقیم می باشد . این دو مولفه گاهی به سیگنالهای الکتریکی (مثلاً ولتاژ) هم که جریان نیستند اطلاق می شود . بنابراین سیگنالهای الکتریکی جریان یا ولتاژی هستند که منتقل کننده اطلاعات (که معمولاً ولتاژ میباشد) هستند .

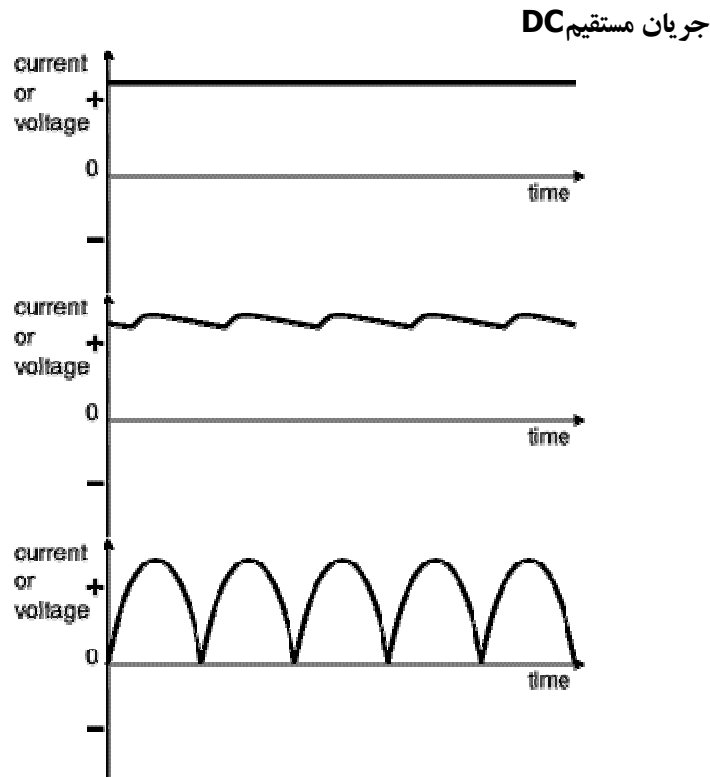
جریان متناوب AC



سیگنالهای متناوب در یک مسیر منتشر میشوند و سپس تغییر مسیر می دهند و این عمل دائماً تکرار می شود . یعنی ابتدا یک سیکل مثبت و بعد یک سیکل منفی و به همین ترتیب تکرار می شوند. یک ولتاژ متناوب دائماً بین مثبت و منفی تغییر میکند و بصورت موجی تکرار میشود. به هر تغییرات بین مثبت و منفی ، یک سیکل گفته می شود و واحد آن هرتز می باشد . در ایران وسایل الکتریکی با فرکانس ۵۰ هرتز کار می کنند .

شکل بالا شکل موج یک منبع تغذیه متناوب است که به آن موج سینوسی اطلاق می شود و به شکل پائین از آنجا که مستقیماً بین مثبت و منفی تغییر می کند ، شکل موج مثلثی اطلاق می شود . سیگنالهای متناوب برای راه اندازی وسائلی از

قبیل لامپ ها و گرم کننده ها بکار می روند ولی اکثر مدارهای الکتریکی برای کار نیاز به یک ولتاژ مستقیم دارند که در زیر به آن اشاره شده است.



جریان مستقیم همیشه در یک مسیر جاری می شود (همیشه مثبت و یا همیشه منفی است) ولی ممکن است میزان آن کاهش یا افزایش پیدا کند .

باتری ها و رگولاتورها ولتاژ مستقیم می دهند و این ولتاژ برای مدارهای الکترونیکی مناسب است . اکثر منابع تغذیه شامل یک تبدیل کننده ترانسفورماتوری هستند که جریان اصلی غیر مستقیم را به یک جریان غیر مستقیم کم و بی خطر تبدیل می کنند .

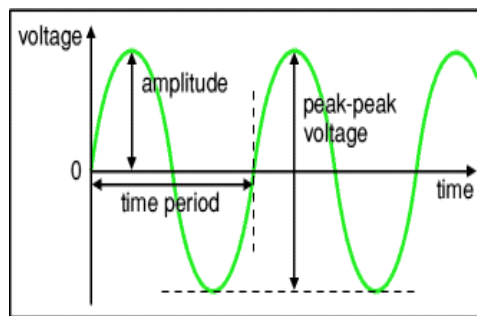
سپس این جریان کم و بی خطر توسط مدارات یکسو کننده جریان از غیر مستقیم به مستقیم تبدیل می شود . البته این ولتاژ مستقیم یک ولتاژ متغیر می باشد و

برای مدارهای الکترونیکی مناسب نیست و لذا برای صاف کردن سطح ولتاژ مستقیم از یک خازن استفاده می شود تا ولتاژ مستقیم برای مدارات الکترونیکی حساس قابل استفاده شود.

در شکل قبل ، بالا شکل موج یک ولتاژ مستقیم ثابت و یکنواخت که از طریق باتری تامین میشود نشان داده شده است.

شکل وسط یک ولتاژ مستقیم با صاف کننده سطح ولتاژ (خازن) است که مناسب بعضی از مدارهای الکترونیکی می باشد . و شکل پائین یک ولتاژ مستقیم بدون استفاده از خازن را نشان می دهد.

مشخصات سیگنال های الکتریکی



همانطور که بیان شد ، سیگنالهای الکتریکی ولتاژ یا جریانی هستند که انتقال دهنده اطلاعات (که معمولا ولتاژ است) هستند.

در نمودار مقابل مشخصات مختلفی از سیگنال الکتریکی نشان داده شده است . یکی از این مشخصات فرکانس است که به تعداد سیکل ها در ثانیه اطلاق می شود.

Amplitude ماکزیمم ولتاژی است که سیگنال دارد و **Peak voltage** نام دیگری برای **Amplitude** است .

پیک تو پیک (**Peak-peak voltage**) دو برابر مقدار پیک ولتاژ می باشد

دوره تناوب (**Time period**) زمانی است که برای طی شدن یک سیکل کامل نیاز است . این زمان بر حسب ثانیه اندازه گیری می شود و در زمانهای خیلی کوتاه از واحد های میکروثانیه هم استفاده می شود .

فرکانس (**Frequency**) به تعداد سیکل ها در هر ثانیه اطلاق می شود و واحد آن هرتز است . در اندازه گیری فرکانس های بالا از واحد های کیلوهرتز و مگاهرتز نیز استفاده می شود .

در ایران فرکانس شبکه برق ۵۰ هرتز است بنابراین دوره تناوب برابر است با ۲۰ میکروثانی .

$$1/50 = 0.02s = 20ms.$$

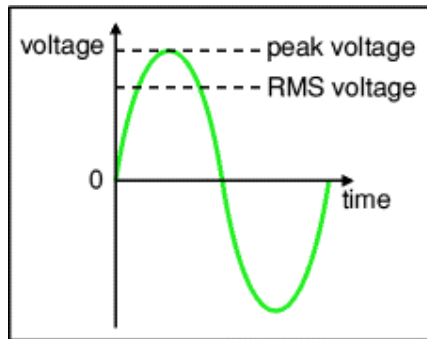
هر کیلو هرتز برابر با هزار هرتز و هر مگاهرتز برابر با یک میلیون هرتز است .

$$1kHz = 1000Hz \quad \text{و} \quad 1MHz = 1000000Hz.$$

فرکانس = دوره تناوب / ۱

دوره تناوب = فرکانس / ۱

(ولتاژ مؤثر) **RMS** ارزش و مقدار



در ولتاژ غیر مستقیم ، ولتاژ از صفر شروع و به پیک مثبت می رسد و دوباره به صفر رسیده و سپس به پیک منفی می رسد و لذا در بیشتر اوقات ، ولتاژ از مقدار پیک

ولتاژ کمتر است . لذا از یک مقدار موثر استفاده می کنیم که همان RMS است . مقدار ولتاژ RMS برابر است با 0.7 ولتاژ پیک

$$V_{RMS} = 0.7 \times V_{peak} \quad \text{and} \quad V_{peak} = 1.4 \times V_{RMS}$$

ارزش یا معیار RMS یک ارزش موثر ولتاژ یا جریان متغیر می باشد ، بدین معنی که این ولتاژ تاثیر اصلیش در مدار معادل آن مقدار است . بعنوان مثال یک لامپ که به ولتاژ ۶ ولت RMS متصل شده ، همان مقدار روشنایی را دارد که اگر به یک ولتاژ ۶ ولت مستقیم متصل می شد . به هر حال نور لامپی که با ولتاژ ۶ ولت RMS روشن شود ، کمتر است از نور لامپی که با ۶ ولت مستقیم روشن شود . چون ولتاژ موثر ۶ ولت غیر مستقیم برابر است با ۴/۲ ولت یعنی برابر با ۴/۲ ولت مستقیم نور می دهد .

بحث ولتاژ مؤثر این فکر را بوجود می آورد که مقدار RMS نوع دیگری از میانگین است ولی بخاطر داشته باشید که این مقدار قطعاً میانگین نیست . در واقع ولتاژ یا جریان میانگین غیر مستقیم ، صفر خواهد بود . چون بخش های مثبت و منفی سیگنال هم را خنثی می کنند و وقتی میانگین می گیریم ، میانگین برابر با صفر خواهد بود . بنابراین ولتاژ RMS قطعاً یک ولتاژ میانگین نیست .

اینک این سوال پیش می آید که یک ولت متر AC چه مقداری را نشان می دهد ، مقدار مؤثر یا مقدار پیک ولتاژ ؟

پاسخ این است که ولت مترهای AC مقدار موثر ولتاژ یا جریان را نشان می دهند در ولتاژهای مستقیم هم مقدار مؤثر DC نشان داده می شود .

سؤال دیگری که مطرح است این است که بطور مثال ۶ ولت مستقیم دقیقاً چه معنایی دارد ، مقدار مؤثر یا مقدار پیک ولتاژ معنی دارد ؟

در این موارد اگر منظور پیک ولتاژ باشد معمولاً قید می شود و در غیر اینصورت منظور مقدار مؤثر خواهد بود . برای مثال وقتی می گوئیم ۶ ولت AC به معنی ۶ ولت مؤثر است که پیک ولتاژ آن ۶/۸ ولت است .

در ایران ولتاژ ۲۲۰ ولت برای مصارف عمده الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرد ،
این به معنی ۲۲۰ ولت موثر بوده و پیک آن حدود ۳۲۰ ولت است .

مقاومت

مقاومت قطعه ای است که از جنس کربن ساخته می شود و برای محدود کردن جریان و ایجاد افت ولتاژ مورد استفاده قرار می گیرد. انواع مقاومتها عبارتند از :

۱- مقاومت ثابت

۲- مقاومت متغییر

۳- مقاومت وابسته (به حرارت ، نور ، ولتاژ و ...)

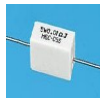
مقاومت های ثابت با توان بیشتر از ۲ وات مثل مقاومت های آجری و سیمی که

جنس این مقاومت ها معمولاً از کرم نیکل است و

دارای یک روکش گچی یا آجری می باشند و به همین دلیل به مقاومت های گچی یا آجری نیز معروف هستند.

ظرفیت اهمی و توان این مقاومتها بصورت عدد بر روی

آنها چاپ می شود



مقاومت های ثابت با توان کمتر از ۲ وات مثل مقاومت های کربنی که این مقاومتها در رنج ۱ و ۱/۲ و ۱/۴ و ۱/۸ و ۱/۱۶ و ۱/۳۲ وات موجود می باشد.

تصویر یک مقاومت:



ولومها یا پتانسیومترها که برای تنظیم ولتاژ به کار می روند جزء مقاومت های متغییر می باشند. رنوستا نیز مقاومت متغییر است که برای تنظیم جریان بکار می رود.

مقاومت های وابسته که مقدار آن وابسته به یک پارامتر خاص مثل نور، ولتاژ و حرارت می باشد نیز در مدارهای الکترونیکی کاربرد دارد.

مثل چشم الکترونیکی یا سلول فوتوالکتریک که در مدارهایی مانند دزدگیر ، دوربین عکاسی ، آسانسورها و ... مورد استفاده قرار می گیرد و L.D.R که با تابش نور مقاومت آن کم می شود.

مقاومت‌های حرارتی مانند P.T.R با افزایش حرارت مقاومت آنها زیاد می شود و N.P.R که با افزایش حرارت مقدار آن کم می شود. مقاومت‌های وابسته به ولتاژ ولتاژ لحظه ای زیادی را در خود ذخیره می کند مانند تلفن ها. زمانی که ولتاژ کم است مقاومت سریع کاهش یافته و زمانی که ولتاژ زیاد است مقاومت کاهش کمتری خواهد داشت. از مهمترین مشخصه های مقاومت می توان مقدار اهمی مقاومت و توان آن را نام برد. (مقدار مقاومت بر حسب اهم (Ω) و توان بر حسب وات بیان می شود.)

محاسبه مقدار اهمی یک مقاومت

در مقاومت‌های با وات پائین معمولاً مقدار اهمی مقاومت بصورت کدهای رنگی و بر روی بدنه آن چاپ می شود ولی در مقاومت‌های با وات بالا تر مثلاً ۲ وات یا بیشتر ، مقدار اهمی مقاومت بصورت عدد بر روی آن نوشته می شود.

کد رنگی مقاومتها	
رنگ	شماره
سیاه	0
قهوه ای	1
قرمز	2
نارنجی	3
زرد	4
سبز	5
آبی	6
بنفش	7
خاکستری	8
سفید	9

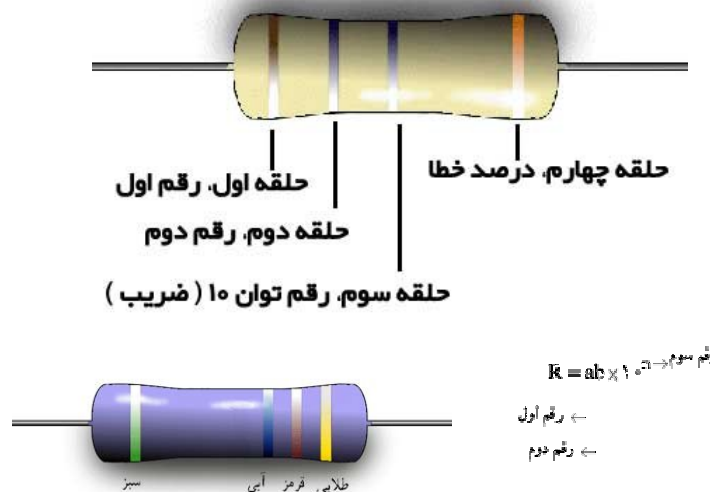
محاسبه مقدار اهم مقاومت های رنگی بر اساس جدول رمز مقاومتها ، بسیار ساده انجام می شود . بر روی بدنه مقاومت معمولاً ۴ رنگ وجود دارد . برای محاسبه از نوار رنگی نزدیک به کناره شروع می کنیم و ابتدا شماره دو رنگ اول را نوشته و سپس به میزان عدد رنگ سوم در مقابل دو عدد قبلی صفر قرار می دهیم و مقدار مقاومت بر حسب اهم بدست می آید.

درصد خطای یک مقاومت

رنگ چهارم درصد خطای مقاومت (تolerانس) را نشان می دهد . در زیر میزان خطا برای رنگ های قهوه ای ، قرمز ، طلایی و نقره ای نشان داده شده است .

قهوه ای	قرمز	طلایی	نقره ای
$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$

اگر رنگ چهارم وجود نداشته باشد مقدار تolerانس برابر $\pm 20\%$ می باشد.



$$R = ab \times 10^c \rightarrow \text{رقم سوم}$$

← رقم اول

← رقم دوم

$$R = 56 \times 10^2 = 5600 \Omega$$

سبز طلایی قرمز آبی

در مثال بالا رنگ چهارم طلایی است و لذا خطای مقاومت فوق مثبت و منفی ۵ درصد است.

نکته ۱: هید وقت رنگ مشکی و رنگهای طلایی و نقره ای به عنوان رنگ اول استفاده نمی شود.

نکته ۲: چنانچه در نوار دوم از رنگ مشکی استفاده شده باشد خود صفر را قرار می دهیم و اگر در نوار سوم استفاده شود هیچ صفری منظور نمی شود.

نکته ۳: اگر رنگ سوم نقره ای باشد اعداد مربوط به حلقه اول و دوم تقسیم بر ۱۰۰ می شود.

نکته ۴: اگر رنگ سوم طلایی باشد اعداد مربوط به حلقه اول و دوم تقسیم بر ۱۰ می شود.

نکته ۵: جهت مشخص کردن مقدار مقاومتهای دقیق از ۵ نوار رنگی استفاده می شود. عدد معادل سه نوار اول را نوشته و نوار چهارم معادل تعداد صفر جلوی این ۳ رقم می باشد. رنگ پنجم به عنوان تولرانس استفاده می شود.

رنگهای تولورانس جهت مقاومتهای دقیق به شرح ذیل می باشد:

قهوه ای معادل 1%	قرمز معادل 2%	سبز معادل 0.5%
آبی معادل 0.25%	بنفش معادل 0.1%	خاکستری معادل 0.05%

مختصر نویسی مقدار مقاومتها

گاهی اوقات مقدار مقاومت را بر روی آن می نویسند اما به دلیل محدودیت جا از بعضی از حروف برای نشان دادن ضرایب و تولرانس بعنوان رمز عددی استفاده می کنند. در این روش حروف اول ضریب و حروف دوم تولرانس را مشخص می کند و چنانچه مقدار مقاومت دارای اعشار باشد از همان حروف ضرایب جهت نشان دادن نقطه اعشار استفاده می شود.

در جدول زیر معنی حروف بعنوان ضریب آمده است:

حروف	E یا R	K	M
ضریب	1	3	6

در جدول زیر معنی حروف بعنوان تولرانس آمده است :

حروف	B	C	D	F	G	H	J	K	M
تولرانس	0.1%	0.25 %	0.5 %	1%	2%	3%	5%	10%	20 %

در نقشه ها معمولاً بمنظور تند نویسی و مختصر نویسی ممکن است از عبارات مخففی نظیر R استفاده شود . در زیر مثالهایی برای اطلاع علاقمندان آورده شده است .

560R means 560 Ω
 2K7 means 2.7 k Ω = 2700 Ω
 39K means 39 k Ω
 1M0 means 1.0 M Ω = 1000 k Ω

مقادیر انتخاب شده برای مقاومتها دارای استانداردهای خاصی می باشد که معمولترین این استانداردها سری اروپایی می باشد که به حرف E مشخص می شود.

در جدول زیر چند سری مقاومت استاندارد را می بینیم:

E24	E12	E6
1	1	1
1.1		
1.2		
1.3	1.2	1.5
1.5		
1.6		
1.8	1.8	2.2
2		
2.2		
2.4	2.2	3.3
2.7		
3		
3.3	3.3	4.7
3.6		
3.9		
4.3	3.9	6.8
4.7		
5.1		
5.6	4.7	8.2
6.2		
6.8		
7.5	5.6	9.1
8.2		
9.1		

- سری E6 دارای تolerانس 20% می باشد.
- سری E12 دارای تolerانس 10% می باشد.
- سری E24 دارای تolerانس 5% می باشد.
- مقاومتها در این سری ها با مضرب ۱۰ وجود دارند.

خازن

خازن ها انرژی الکتریکی را نگهداری می کنند و به همراه مقاومت ها ، در مدارات تایمینگ استفاده می شوند . همچنین از خازن ها برای صاف کردن سطح تغییرات ولتاژ مستقیم استفاده می شود . از خازن ها در مدارات بعنوان فیلتر هم استفاده می شود . زیرا خازن ها به راحتی سیگنالهای غیر مستقیم AC را عبور می دهند ولی مانع عبور سیگنالهای مستقیم DC می شوند .

ظرفیت

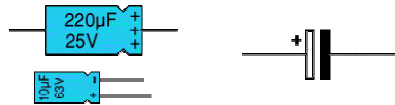
ظرفیت معیاری برای اندازه گیری توانائی نگهداری انرژی الکتریکی است . ظرفیت زیاد بدین معنی است که خازن قادر به نگهداری انرژی الکتریکی بیشتری است . واحد اندازه گیری ظرفیت فاراد است . ۱ فاراد واحد بزرگی است و مشخص کننده ظرفیت بالا می باشد . بنابراین استفاده از واحدهای کوچکتر نیز در خازنها مرسوم است . میکروفاراد μF ، نانوفاراد nF و پیکوفاراد pF واحدهای کوچکتر فاراد هستند . انواع مختلفی از خازن ها وجود دارند که میتوان از دو نوع اصلی آنها ، با پلاریته (قطب دار) و بدون پلاریته (بدون قطب) نام برد .

خازنهای قطب دار

الف - خازن های الکترولیت

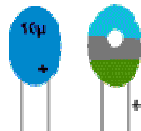
در خازنهای الکترولیت قطب مثبت و منفی بر روی بدنه آنها مشخص شده و بر اساس قطب ها در مدارات مورد استفاده قرار می گیرند . دو نوع طراحی برای شکل این خازن ها وجود دارد . یکی شکل آکسیل که در این نوع پایه های یکی در طرف راست و دیگری در طرف چپ قرار دارد و دیگری رادیال که در این نوع هر دو پایه خازن در یک طرف آن قرار دارد .

در شکل نمونه ای از خازن اکسیل و رادیال نشان داده شده است .



در خازن های الکترولیت ظرفیت آنها بصورت یک عدد بر روی بدنه شان نوشته شده است . همچنین ولتاژ تحمل خازن ها نیز بر روی بدنه آنها نوشته شده و هنگام انتخاب یک خازن باید این ولتاژ مد نظر قرار گیرد . این خازن ها آسیبی نمی بینند مگر اینکه با هوپه داغ شوند و یا با پلاریته معکوس استفاده شوند.

ب - خازن های تانتالیوم



خازن های تانتالیوم هم از نوع قطب دار هستند و مانند خازنهای الکترولیت معمولاً ولتاژ کمی دارند .

این خازن ها معمولاً در سایز های کوچک و البته گران تهیه می شوند و بنابراین یک ظرفیت بالا در سایزی کوچک را ارائه می دهند .

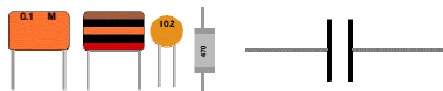
در خازنهای تانتالیوم جدید ، ولتاژ و ظرفیت بر روی بدنه آنها نوشته شده ولی در انواع قدیمی از یک نوار رنگی استفاده می شود که مثلاً دو خط دارد (برای دو رقم) و یک نقطه رنگی برای تعداد صفرها وجود دارد که ظرفیت بر حست میکروفاراد را مشخص می کنند . برای دو رقم اول کدهای استاندارد رنگی استفاده می شود ولی برای تعداد صفرها و محل رنگی ، رنگ خاکستری به معنی ۰/۰۱ و رنگ سفید به معنی ۰/۱ است . نوار رنگی سوم نزدیک به انتها ، ولتاژ را مشخص می کند بطوری که اگر این خط زرد باشد ۶/۳ ولت ، مشکی ۱۰ ولت ، سبز ۱۶ ولت ، آبی ۲۰ ولت ، خاکستری ۲۵ ولت و سفید ۳۰ ولت را نشان می دهد .

برای مثال رنگهای آبی - خاکستری و نقطه سیاه به معنی ۶۸ میکروفاراد است .

آبی - خاکستری و نقطه سفید به معنی ۶/۸ میکروفاراد است .

خازنهای بدون قطب

خازن های بدون قطب معمولا خازنهای با ظرفیت کم هستند و میتوان آنها را از هر طرف در مدارات مورد استفاده قرار داد . این خازنها در برابر گرما تحمل بیشتری دارند و در ولتاژهای بالاتر مثلا ۵۰ ولت ، ۲۵۰ ولت و ... عرضه می شوند .



پیدا کردن ظرفیت این خازنها کمی مشکل است چون انواع زیادی از این نوع خازنها وجود دارد و سیستم های کد گذاری مختلفی برای آنها وجود دارد . در بسیاری از خازن ها با ظرفیت کم ، ظرفیت بر روی خازن نوشته شده ولی هیچ واحد یا مضربی برای آن چاپ نشده و برای دانستن واحد باید به دانش خودتان رجوع کنید . برای مثال ۰/۱ به معنی $0.1 \mu F$ یا ۱۰۰ نانوفاراد است . گاهی اوقات بر روی این خازنها چنین نوشته می شود ($4n7$) به معنی ۴/۷ نانوفاراد . در خازن های کوچک چنانچه نوشتن بر روی آنها مشکل باشد از شماره های کد دار بر روی خازن ها استفاده می شود . در این موارد عدد اول و دوم را نوشته و سپس به تعداد عدد سوم در مقابل آن صفر قرار دهید تا ظرفیت بر حسب پیکوفاراد بدست آید . بطور مثال اگر بر روی خازنی عدد ۱۰۲ چاپ شده باشد ، ظرفیت برابر خواهد بود با ۱۰۰۰ پیکوفاراد یا ۱ نانوفاراد .

بطور کلی اگر روی یک خازن عدد ۳ رقمی نوشته شده باشد دو رقم اول را نگه میداریم و رقم سوم تعداد صفری که جلوی این دو رقم قرار می گیرد ، می باشد و واحد خازن پیکوفاراد می باشد مانند: ۳۳۳ معادل 33×1000 پیکوفاراد یا ۳۳ نانوفاراد

اگر روی خازن عدد دو رقمی و یا عدد دو رقمی با نقطه اعشار بین دو رقم نوشته شده باشد همان عدد با واحد پیکو فاراد می باشد مانند: 22 معادل 22 پیکو فاراد و 1.2 معادل 1.2 پیکو فاراد اگر عدد روی خازن با نقطه اعشار شروع شود همان عدد با واحد میکروفاراد می باشد مانند: 0.33 معادل 0.33 میکرو فاراد یا 33 نانو فاراد

کد رنگی خازن ها

خازنهای کد رنگی	
شماره	رنگ
0	سیاه
1	قهوه ای
2	قرمز
3	نارنجی
4	زرد
5	سبز
6	آبی
7	بنفش
8	خاکستری
9	سفید



در خازن های پلیستر برای سالهای زیادی از کدهای رنگی بر روی بدنه آنها استفاده می شد . در این کد ها سه رنگ اول ظرفیت را نشان می دهند و رنگ چهارم تولرانس را نشان می دهد.

برای مثال قهوه ای - مشکی - نارنجی به معنی ۱۰۰۰۰ پیکوفاراد یا 10 نانوفاراد است خازنهای پلیستر امروزه به وفور در مدارات الکترونیک مورد استفاده قرار می گیرند . این خازنهای در برابر حرارت زیاد معیوب

می شوند و بنابراین هنگام لحیمکاری باید به این نکته توجه داشت.

خازن ها با هر ظرفیتی وجود ندارند . بطور مثال خازن های ۲۲ میکروفاراد یا ۴۷ میکروفاراد وجود دارند ولی خازن های ۲۵ میکروفاراد یا ۱۱۷ میکروفاراد وجود ندارند .

دلیل اینکار چنین است :

فرض کنیم بخواهیم خازن ها را با اختلاف ظرفیت ده تا ده تا بسازیم . مثلاً ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ و ... به همین ترتیب . در ابتدا خوب بنظر می رسد ولی وقتی که به ظرفیت مثلاً ۱۰۰۰ برسیم چه رخ می دهد ؟

مثلاً ۱۰۰۰ و ۱۰۱۰ و ۱۰۲۰ و ... که در اینصورت اختلاف بین خازن ۱۰۰۰ میکروفاراد با ۱۰۱۰ میکروفاراد بسیار کم است و فرقی با هم ندارند پس این مسئله معقول بنظر نمی رسد. برای ساختن یک رنج محسوس از ارزش خازن ها ، میتوان برای اندازه ظرفیت از مضارب استاندارد ۱۰ استفاده نمود . مثلاً $4/7 - 47 - 470 \dots$ و یا $2/2 - 220 - 2200 \dots$

خازن های متغیر



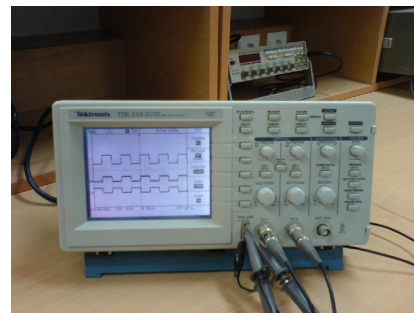
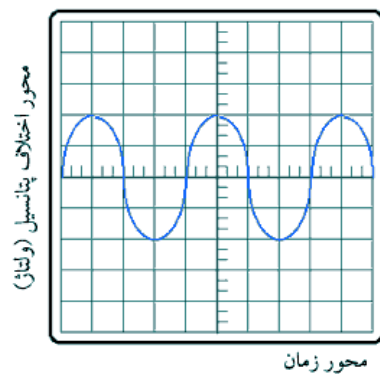
در مدارات تیونینگ رادیویی از این خازن ها استفاده می شود و به همین دلیل به این خازن ها گاهی خازن تیونینگ هم اطلاق می شود . ظرفیت این خازن ها خیلی کم و در حدود ۱۰۰ تا ۵۰۰ پیکوفاراد است و بدلیل ظرفیت پائین در مدارات تایمینگ مورد استفاده قرار نمی گیرند . در مدارات تایمینگ از خازن های ثابت استفاده می شود و اگر نیاز باشد دوره تناوب را تغییر دهیم ، این عمل بکمک مقاومت انجام می شود.

خازن های تریمر

خازن های تریمر خازن های متغیر کوچک و با ظرفیت بسیار پائین هستند . ظرفیت این خازن ها از حدود ۱ تا ۱۰۰ پیکوفاراد است و بیشتر در تیونرهای مدارات با فرکانس بالا مورد استفاده قرار می گیرند.

اسیلوسکوپ (oscilloscope)

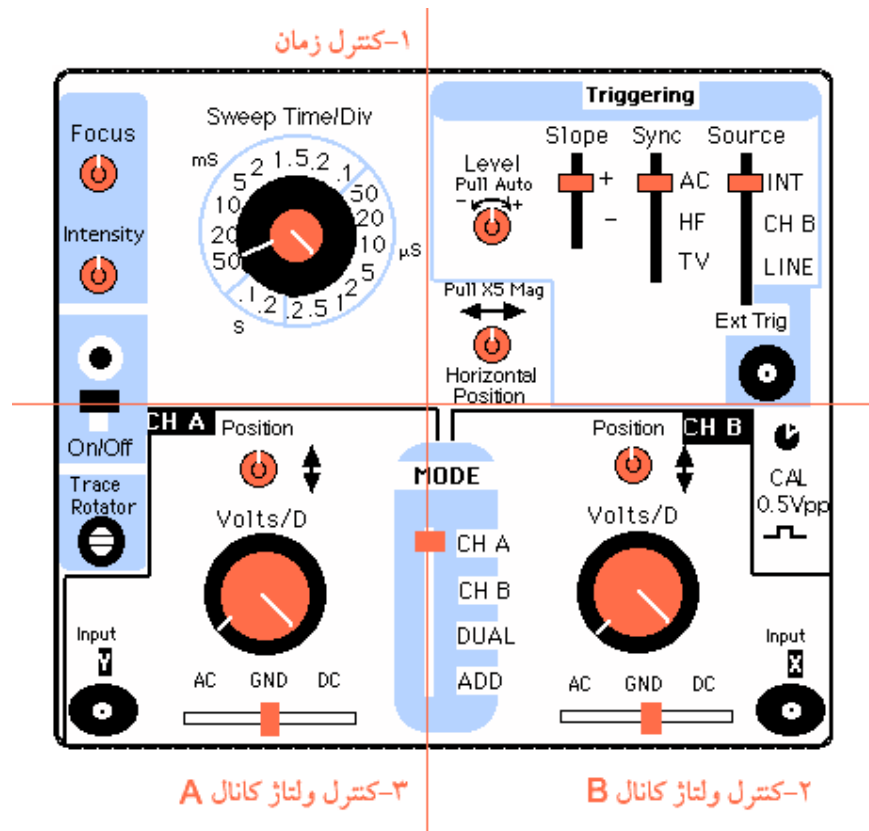
اصولا کلمه oscilloscope به معنی نوسان نما یا نوسان سنج است و این وسیله برای نمایش دوبعدی سیگنال های متغیر با زمان می باشد که محور افقی نمایش زمان و محور عمودی محور اختلاف ولتاژ بین دو نقطه از مدار را نشان می دهد. بنابراین اسیلوسکوپ فقط توانایی نمایش ولتاژ را دارد و وسیله ای صرفا برای اندازه گیری است و یک اسکوپ ایده آل نباید هیچ تاثیری بر روی سیگنال ورودی داشته باشد و فقط آنرا نمایش می دهد.



۱- تنظیمات پایه

اگرچه کلیدهای کنترلی اسکوپ های مختلف می با هم فرق می کند ولی در مجموع در اسکوپ های آنالوگ یک سری کلید های اساسی وجود دارد که هر چند در ظاهر تفاوت هایی وجود دارد ولی در نهایت وظیفه آنها در مدل های مختلف یکی می باشد. در شکل های دو مدل را می بینید.





a. انتخاب و وضعیت عمودی (کلید **MODE Vertical** در مرز مشترک قسمت ۲ و ۳)

بسته به این که بخواهیم از کدام یک از ورودی های اسکوپ استفاده کنیم می توانیم کلید **MODE** رو تنظیم کنیم که به ترتیب از بالا به پایین ، روی صفحه اسکوپ ، کانال یک، کانال دو، دو موج را همزمان و جمع ریاضی دو موج در وضعیت **ADD**، را نشان داده شده است.

توجه ۱: بعضی از اسکوپ ها بجای کلید **DUAL** دو کلید دیگر به نام های **ALT** و **CHOP** دارند که هر دوی این کلیدها دو موج رو همزمان نمایش می دهند اما

تفاوت ALT و CHOP در این است که ALT یک دوره تناوب از یک موج رو به طور کامل و بسیار سریع نمایش میدهد و بعد موج کانال دیگه را نمایش می دهد که این تغییر آنقدر سریع انجام میشود که ما آن را حس نمی کنیم. وضعیت CHOP به صورت انتخابی بریده هایی از یک موج و بریده هایی از یک موج دیگر را هم زمان نشان میدهد که ممکن است شکل موج در فرکانس های پایین با نقطه هایی خالی نشان داده شود.

توجه ۲: (MODE X-Y) در بعضی از اسکوپ ها دکمه تغییر وضعیت به X-Y در کنار همین دکمه های mode Vertical قرار دارد و در بعضی در قسمت تریگر و برخی در قسمت های دیگر. اما چیزی که مهم است این که این وضعیت برای حذف بین دو کانال استفاده میشود و درواقع آنچه بر روی اسکوپ نشان داده میشود، مشخصه انتقالی بین دو نقطه است که محور عمودی معرف تغییرات کانال A و محور افقی نمایش تغییرات کانال B را نشان می دهد.

b. کنترل زمان

همان طور که در شکل قسمت ۱ می بینید صفحه نمایش (CRT) اسکوپ با واحدهایی مدرج شده که در مورد زمان برای پیدا کردن فرکانس موج استفاده می شود. به این شکل که فرض کنیم یک موج به ورودی اسکوپ وارد شده و ما می خواهیم فرکانس این موج را پیدا کنیم. اول باید سویچ Sweep time/Div را به صورتی تنظیم کنیم که یک موج ثابت با حداقل یک دوره تناوب بر روی صفحه نشان داده شود، بعد عددی را که سویچ روی آن قرار دارد را در واحد آن قسمت ضرب می کنیم و به این ترتیب دوره تناوب یا پریود موج به دست می آید که با معکوس کردن آن می توانیم فرکانس موج ورودی را به دست بیاوریم.

مثلا فرض کنیم در مورد موج بالا اگر سویچ time/div (بخونید تایم دیویژن) روی عدد ۵ در قسمت ms باشد، نشان می دهد که هر واحد افقی ما ۵ میلی ثانیه می باشد و از آن جایی که موج ما در یک دوره تناوب در امتداد ۴ خانه قرار گرفته، پس ۴ تا ۵ میلی ثانیه که ۲۰ میلی ثانیه (یا ۰.۰۲ ثانیه) است دوره تناوب این موج

است و در نتیجه فرکانس آن $1/0.02$ یا پنجاه هرتزه که مثلاً می تواند خروجی یه ترانس از برق شهری باشد.

c. کنترل ولتاژ یا دامنه

کنترل دامنه یا روش خواندن دامنه موج دقیقاً مثل روش خواندن زمان است با این تفاوت که باید واحد های عمودی صفحه نمایش در Volt/Div (بخونید ولت دیویژن) ضرب شود. مثلاً در مورد موج بالا اگه بخواهیم ولتاژ P-P (پیک تو پیک یا از قله تا قله) رو اندازه بگیریم، با فرض اینکه Volt/Div بر روی عدد ۱ باشد از قله تا قله موج ما ۴ خانه رو اشغال کرده که ضربدر عدد یک، ۴ ولت رو نشان میدهد. و این تنظیمات برای هر کانال ورودی باید به طور جداگانه انجام شود و موج هر کانال باید بر اساس مقیاس خودش خوانده شود.

نکته ی مهم: در اکثر اسکوپ ها روی دستگیره های Time/Div و Volt/Div یه دستگیره کوچکتر وجود داره که برای کالیبره کردن اسکوپ استفاده میشود و ما همیشه باید قبل از اندازه گیری این دستگیره های کوچک راتا انتها در جهت عقربه های ساعت بچرخانیم در غیر اینصورت اندازه گیری های ما صحیح نخواهد بود. در ضمن اگر این دستگیره به طرف بیرون کشیده شود موجی را که روی صفحه اسکوپ می بینید ۱۰ برابر بزرگتر از مقدار واقعی نمایش داده می شود یعنی برای اندازه گیری صحیح لازم است مقدار دامنه اندازه گرفته شده را تقسیم بر ۱۰ نماییم.

d. انتخاب وضعیت های AC , GND , DC

این کلید سه حالتی که معمولاً زیر Volt/Div قرار دارد به ما امکان میدهد که نوع موج ورودی را انتخاب کنیم به این صورت که اگر کلید در وضعیت AC قرار داشته باشه تنها مولفه AC سیگنال نمایش داده خواهد شد و مقدار DC یا آفست موج ما حذف خواهد شد. وضعیت GND ورودی ما را به زمین اتصال کوتاه می کند و امکان تنظیم عمودی سطح صفر رو به ما میدهد. وضعیت DC موج رو دست نخورده و بدون تغییر به ما نشان می دهد که مقدار این موج شامل DC و AC خواهد بود.

توجه: همیشه در ابتدای کار باید از تنظیم بودن وضعیت صفر اسکوپ مطمئن شویم به این ترتیب که کلید رو در حالت GND قرار داده و با دستگیره های Position خط افقی را بر روی صفر قرار دهیم. اینکار را باید برای هر کانال به طور جداگانه انجام دهیم و برای تغییر وضعیت از یک کانال به کانال دیگر می تونیم از کلید MODE (که توضیح داده شد) استفاده کنیم.

نکته ۱: استفاده از وضعیت AC اگرچه می تواند باعث مسدود کردن مقدار DC موج شود اما در فرکانس های پایین می تواند باعث اعوجاج و به هم ریختگی شکل موج شود و دلیل این مسئله استفاده از خازن های ظرفیت بالایی است که برای حذف مقدار DC موج درون اسکوپ وجود دارد.

نکته ۲: اگرچه استفاده از وضعیت AC، ممکنه مشکل مطرح شده در قسمت قبل را بوجود بیاورد، اما استفاده مفید آن می تواند برای اندازه گیری ریبیل های بسیار کوچک موجود بر روی ولتاژ های به ظاهر DC باشد. (چطوری؟)

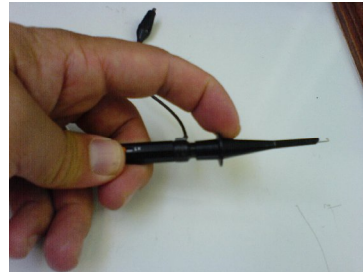
نکته ۳: تنها مشکل وضعیت DC این است که ممکن است مقدار DC موج، مزاحم اندازه گیری دقیق مقدار AC باشد.

E: ثابت کردن شکل موج روی صفحه نمایش اسکوپ (پایداری موج)

اگر موجی که روی صفحه نشان داده میشود سریع حرکت میکند، دستگیره Trigger Level رو در حالت وسط قرار می دهیم و یک کم Time/Div را هم تغییر می دهیم تا شکل موج واضحتر و ثابت شود و اگر موج ثابت نشد در این حالت کلید source را در وضعیتی قرار میدهیم که ورودی اسکوپ فرار دارد . مثلاً اگر سیگنال به کانال ۱ داده شده است این کلید را روی کانال ۱ تنظیم میکنیم و یا اگر در وضعیت ALT باشد این کلید را روی سه وضعیت کانال ۱ و کانال ۲ و ALT امتحان می کنیم تا موج ثابت و بدون حرکت شود .

F: پروپ اسکوپ

پروپ اسکوپ از دو قسمت مثبت و منفی تشکیل شده است. قسمت چنگکی شکل نوک پروپ که زیر محفظه پلاستیکی پروپ قرار دارد قسمت مثبت و سیم کوتاهی که گیره سوسماری دارد بخش منفی پروپ می باشد.



میکرو کلید نارنجی رنگ روی دسته پروپ دارای دو وضعیت $\times 1$ و $\times 10$ می باشد که اگر در حالت $\times 1$ دقیقاً سیگنال ورودی به اسکوپ همان سیگنال است که به پروپ داده شده است و اگر $\times 10$ باشد سیگنال ورودی به اسکوپ 10 برابر کوچکتر نشان داده می شود و برای اندازه گیری مقدار واقعی لازم است مقدار به دست آمده را در 10 ضرب نماییم.

راهنمای لحیم کاری

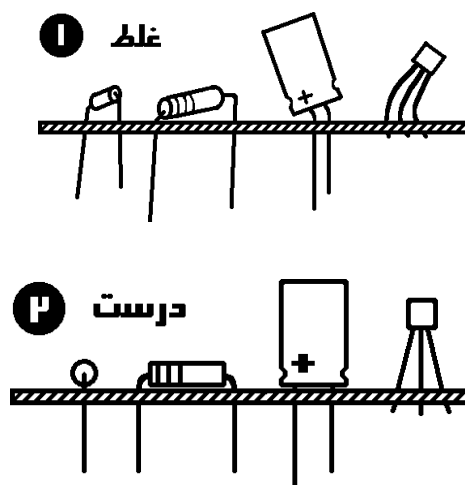
برای ساخت و تعمیر دستگاههای الکترونیکی دانستن یک فن کاملاً ضرورت دارد و این فن چیزی جز لحیمکاری نیست. لحیمکاری ظاهراً کار ساده ای به نظر میرسد که هر کس حتی در اولین تمرین، خود را قادر به انجام آن میداند و اتفاقاً همین ساده پنداشتن موضوع اغلب مایه دردسر و اتلاف وقت افراد میشود. حقیقت این است که لحیمکاری کار دشواری نیست اما اگر کسی قواعد ساده این فن را خوب نشناسد در ساختن دستگاههای الکترونیکی با مشکلات جدی مواجه میشود و اغلب خود شخص متوجه نمیشود که علت کار نکردن یا سوختن دستگاه مورد علاقه اش جز یک اشتباه در لحیمکاری چیز دیگری نیست. به کمک این راهنما، همه میتوانند لحیمکاری را به روش صحیح بیاموزند و در ساختن دستگاههای الکترونیکی موفقتر باشند.

با توجه به اهمیت موضوع، ما بطور خلاصه به ذکر پارهای از توضیحات لازم درباره لحیمکاری و مونتاژ قطعات میپردازیم و توصیه میکنیم قبل از آنکه ساختن کیتی را آغاز کنید، در خارج از فیبر مدارچاپی چند بار لحیمکاری را تمرین کنید. وسایلی که برای لحیمکاری لازم است: یک هویه ۳۰ یا ۴۰ واتی با نوک تیز، سیم لحیم (۶۰ درصد، روغندار و ترجیحاً خارجی)، سیم چین و سمباده نرم. وسایلی که بهتر است تهیه شود:

پایه هویه، ابرنسوز یا اسفنج نسوز (برای تمیز کردن سر هویه) و روغن لحیم ابتدا سطح پشت فیبر مدارچاپی (قسمت مسی) را با یک سنباده نرم کاملاً تمیز و براق نمائید.



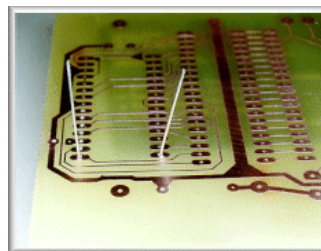
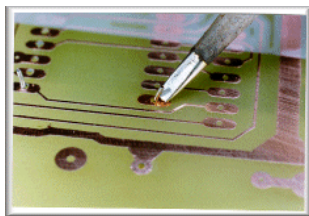
توجه: قطعات الکترونیکی باید با آرایشی منظم روی فیبر نصب شوند. بی‌نظمی و بهم ریختگی قطعات بروی فیبر، هم ظاهر کار را خراب می‌کند و هم موجب اتصال قطعات به یکدیگر و بروز مشکلات متعدد می‌شود. در شکل‌های ۱ و ۲، دو نمونه از آرایش درست و نادرست قطعات نشان داده شده است که به آسانی می‌توان این دو نمونه را با هم مقایسه کرد. پس از چیدن قطعات بر روی فیبر و عبور دادن پایه‌های آنها از سوراخ‌های فیبر، کمی پایه‌ها را کج کنید تا کیت آماده لحیمکاری شود.



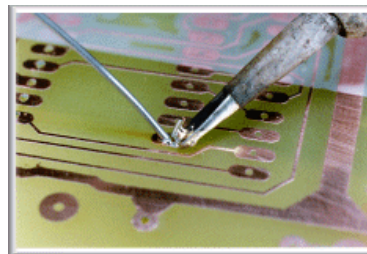
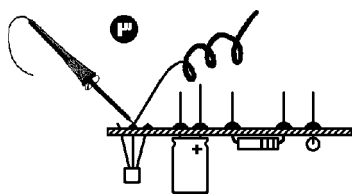
در قسمت بعد روش صحیح لحیمکاری را توضیح می‌دهیم.

روش صحیح لحیم کاری:

ابتدا باید نوک هویه را که کاملاً داغ شده برای چند لحظه در محل لحیمکاری (کنار پایه قطعه) قرار دهید تا محل لحیمکاری کمی گرم شود.

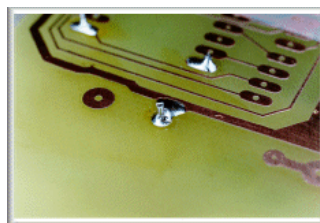
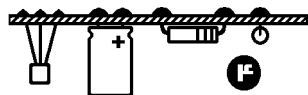


سپس نوک سیم لحیم را در همان محل قرار داده و آن را به نوک هویه بچسبانید و حدود ۲ تا ۳ ثانیه تأمل کنید تا قلع کاملاً در محل ذوب شود و محل لحیم را فرا گیرد.



وقتی سیم لحیم کاملاً در محل لحیمکاری ذوب شد، هویه و سیم لحیم را از محل دور کنید، اما چون چند لحظه طول می کشد تا لحیم ذوب شده و سخت و جامد شود، بنابراین لازم است چند ثانیه ای محل لحیمکاری را ثابت و بدون حرکت نگه دارید. به یاد داشته باشید که تکان خوردن محل لحیمکاری، ممکن است منجر به ترک خوردن لحیم شود که عیب بزرگی به حساب می آید.

سیم اضافی را به وسیله سیم چین از بیخ کوتاه کنید:

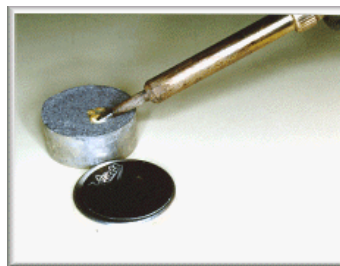


حال لحیمکاری تمام است. پس از آنکه لحیم کاملاً سفت و جامد شد، سیم اضافی را از ته بوسیله سیم چین کوتاه کنید. دیده می شود که بعضی از افراد تازه کار سیم اضافی را چند بار به چپ و راست خم میکنند تا سیم بریده شود. البته با این عمل ممکن است بتوان سیم اضافی را قطع کرد، اما به احتمال زیاد لحیم آسیب می بیند و در آن شکاف و ترکهای ظریفی به وجود می آید که پس از اتمام کار، یا دستگاه کار نخواهد کرد و یا کار آن رضایت

بخش نخواهد بود، و آن وقت ساعتها وقت شما تلف می‌شود تا متوجه شوید که اشکال ناشی از همان لحیمی است که سیم اضافی آن را با تکانهای مکرر و خلاصه با زور از جایش قطع کرده‌اید!

هیچگاه در خارج از محل لحیمکاری سیم لحیم را به نوک هویه نزنید.

نکته پایانی اینکه هر چند یک بار نوک هویه را داخل روغن لحیم بزنید و سپس آنرا بر روی ابرنسوز یا اسفنج‌نسوز یا پارچه مرطوب چند بار بکشید تا نوک هویه تمیز و براق شود.



این نکته را باید متذکر شویم که تنها با ممارست و تمرین و تجربه میتوان به یک لحیمکاری ایده آل و عالی دست پیدا کرد و اگر اولین لحیمکاریتان مانند افراد حرفه‌ای نشد، چندان دلسرد نشوید.

جدا کردن قطعات از فیبر

در صورتی که قطعه‌ای را اشتباه یا برعکس روی فیبر نصب و لحیم کرده‌اید لازم است آن را از فیبر جدا کرده و در جای درست خود نصب کنید. برای این کار باید از وسیله‌ای مخصوص به نام قلع کش استفاده کنید. در این بخش روش جدا کردن قطعه از روی فیبر به کمک قلع کش را توضیح می‌دهیم. برای مثال می‌خواهید خازن لحیم شده‌ای را از روی فیبر کیت جدا کنید. مطابق شکل مقابل باید این دو لحیم را جدا کنید.



اهرم مکنده (پمپ) قلع کش را فشار داده تا در حالت ضامن باقی بماند.
نوک هویه را به محل لحیمکاری می زنیم تا قلع ذوب شود.



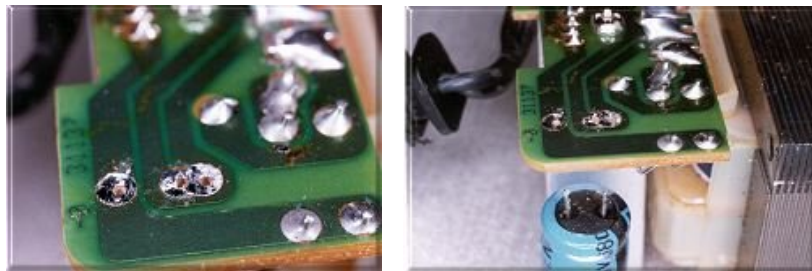
در کمترین زمان ممکن نوک قلع کش را مطابق شکل به محل لحیم کاری بچسبانید.



سپس کلید روی قلع کش را فشار دهید تا قلع روی فیبر را به داخل خود بمکد.



این عمل را تکرار کنید تا تمام قلع روی فیبر مکیده شود همراه با این کار به آرامی قطعه را از فیبر جدا کنید.



توجه: اگر این عمل را زیاد تکرار کنید ممکن است مس روی فیبر کنده شود بنابراین در انجام این کار دقت کنید.

فصل دوم

آزمایش

قانون اهم

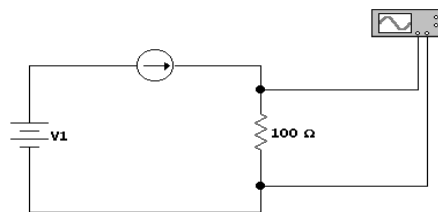
مقاومت المانی است که ولتاژ دو سر آن با جریانی که از آن عبور می کند نسبت مستقیم دارد.

نسبت ولتاژ دو سر این عنصر به جریان گذرنده از آن مقدار مقاومت بر حسب اهم را نشان می دهد:

$$v/i = R (\Omega)$$

آزمایش ۱

۱-۱) مداری مطابق شکل زیر بسته و توسط اسیلوسکوپ ولتاژ دو سر مقاومت و توسط آمپر متر جریان آنرا اندازه گیری نمایید و جدول زیر را کامل نمایید.



V_R (ولت)	0	0.5	1	1.5	2	2.5
I (میلی آمپر)						

جدول ۱

با استفاده از جدول ۱ مشخصه $V-i$ مقاومت را روی کاغذ میلیمتری رسم نمایید. (محور عمودی V بر حسب ولت و محور افقی I بر حسب آمپر) مقدار مقاومت را بدست آورده و با مقدار ذکر شده در روی مقاومت مقایسه نمایید و تلورانس آنرا بدست آورید.

۱-۲) بجای منبع تغذیه، با استفاده از سیگنال ژنراتور یک موج سینوسی 1 KHZ به مدار فوق اعمال نموده و آزمایش ۱-۱ را تکرار نمایید.

$V_R(P-P)$ (ولت)	0	0.5	1	1.5	2	2.5
$I(RMS)$ (میلی آمپر)						
$I(P-P)$ (میلی آمپر)						

* آمپر متر مقدار موثر جریان (RMS) را نشان میدهد.

$$I_p = 2\sqrt{2}I_{rms}$$

آیا نتایج ۲ آزمایش یکسان است؟

چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

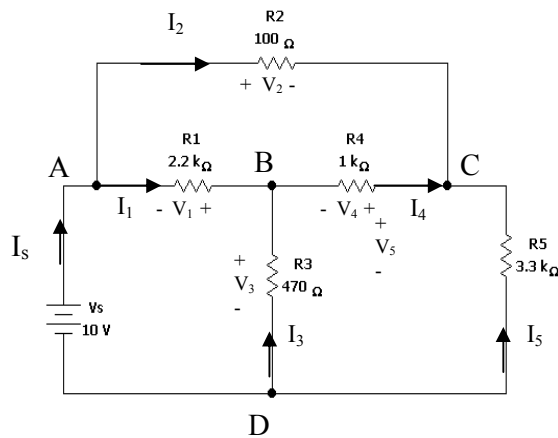
۱-۳) اگر فرکانس منبع سینوسی بجای 1 KHZ برابر 60 HZ انتخاب می‌شد چه تغییری در نتیجه آزمایش حاصل می‌گردید و چرا؟

قوانین ولتاژ و جریان کیرشهف (KVL و KCL)

قانون KVL : در هر حلقه جمع جبری ولتاژهای دو سر عناصر برابر صفر است.
 قانون KCL : در هر نقطه از مدار جمع جبری جریانهای وارد شونده (یا خارج شونده) به آن نقطه صفر است.

آزمایش ۲

۲-۱) مداری مطابق شکل زیر بسته و با استفاده از یک مولتی متر جداول زیر را کامل نمایید.



V_s ولت	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5

I_s میلی آمپر	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5

۲-۲) قانون KCL را در نقاط A و B و C و D نوشته و صحت آنرا با استفاده از نتایج جدول تحقیق نمایید.

۲-۳) KVL را در هریک از ۳ مش موجود در مدار و نیز حلقه محیطی مدار نوشته و صحت آنرا با استفاده از نتایج جدول تحقیق نمایید.

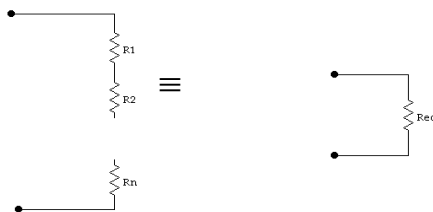
۲-۴) آیا می‌توان تنها با دو اندازه‌گیری ولتاژ، مدار را حل نمود؟ این دو اندازه‌گیری کدام است و چرا؟
این دو ولتاژ را اندازه‌گیری نموده و با استفاده از آن ولتاژهای V_1 و V_2 را بدست آورید.

۲-۵) آیا می‌توان تنها با اندازه‌گیری ۳ جریان مدار را حل نمود؟ این ۳ جریان کدامند و چرا؟ با اندازه‌گیری این ۳ جریان، جریانهای I_3 و I_4 را بدست آورید.

۲-۶) اگر بجای منبع ولتاژ V_s ، یک منبع جریان در مدار قرار داشت در قسمت ۲-۴ چند اندازه‌گیری ولتاژ و در قسمت ۲-۵ چند اندازه‌گیری جریان لازم بود؟

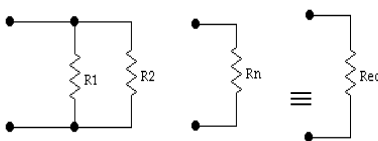
تقسیم ولتاژ و جریان

- مقاومت معادل چند مقاومت سری شده برابر با مجموع مقاومتهاست :



$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

- مقاومت معادل چند مقاومت موازی برابر با مجموع عکس مقاومتهاست :

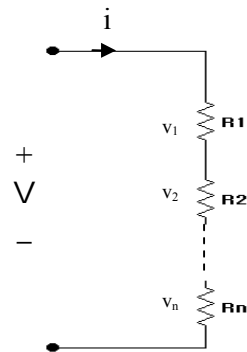


$$1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n$$

برای دو مقاومت موازی رابطه فوق به صورت زیر تبدیل می شود:

$$R_{eq} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

- در چند مقاومت سری جریان تمام مقاومتها یکسان بوده و ولتاژ دو سر مقاومت به نسبت مقاومتها تقسیم می گردد.



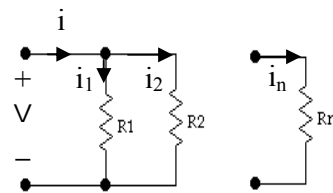
$$v_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n} \times v$$

$$v_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n} \times v$$

$$\vdots$$

$$v_n = \frac{R_n}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n} \times v$$

- در چند مقاومت موازی ولتاژ دو سر تمام مقاومتها یکسان بوده و جریان طبق روابط زیر بین آنها تقسیم می‌گردد :



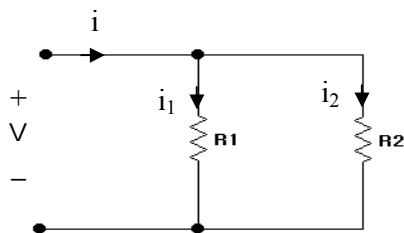
$$i_1 = \frac{1/R_1}{1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n} \times i$$

$$i_2 = \frac{1/R_2}{1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n} \times i$$

$$i_n = \frac{1/R_n}{1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n} \times i$$

یعنی جریان به نسبت عکس مقاومتها (کندوکتانس) تقسیم می‌گردد.

در مورد دو مقاومت موازی روابط فوق بصورت زیر بیان می‌گردد :

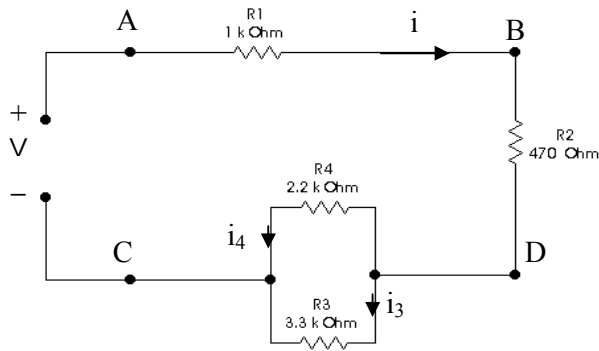


$$i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times i$$

$$i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times i$$

آزمایش ۳

مداری مطابق شکل زیر ببندید.



۳-۱) مقدار مقاومت معادل مقاومتهای R_3 و R_4 را محاسبه نمایید.

۳-۲) مقدار مقاومت کل مدار را محاسبه نمایید.

۳-۳) دو سر اهم متر را به نقاط A و C وصل نموده و مقاومت کل مدار را اندازه گیری نمایید و با نتیجه قسمت ۳-۲ مقایسه نموده و علت اختلاف را بیان کنید.

۳-۴) چنانچه ولتاژ v را 15 ولت در نظر بگیریم مقادیر زیر را از نظر تئوری محاسبه نمائید.

V_{CD} V_{AB} V_{BC} I I_3 I_4

۳-۵) منبع تغذیه را روشن نموده و ولتاژ آنرا روی 15 ولت تنظیم و به مدار شکل قبل وصل نمایید. مقادیر ذکر شده در قسمت ۳-۴ را توسط یک مولتی متر اندازه گرفته و هر یک را با نتیجه بخش ۳-۴ مقایسه نموده و علت اختلاف را بیان نمایید.

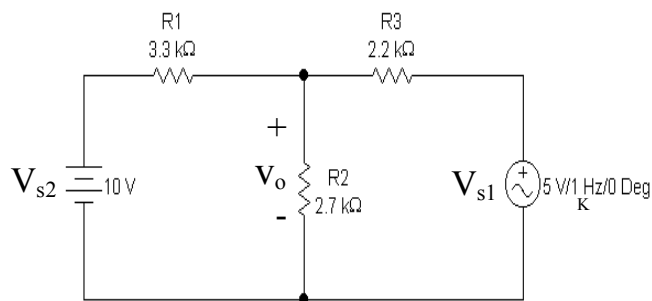
V_{AB} V_{BC} V_{CD} I I_3 I_4

اصل جمع آثار

در هر مدار خطی، پاسخ مدار (ولتاژ دو هر یک از شاخه‌های مدار و یا جریان در هر یک از شاخه‌ها) را می‌توان از جمع جبری پاسخهایی که ناشی از منابع مستقل وقتی که منابع مستقل دیگر غیر فعال شده‌اند بدست آورد.
(یک منبع ولتاژ مستقل در حالت غیر فعال با اتصال کوتاه و یک منبع جریان مستقل در حالت غیر فعال با مدار باز جایگزین می‌شود.)

آزمایش ۱

۱-۱) مداری مطابق شکل زیر ببندید. (برای V_{s2} از منبع تغذیه dc و برای V_{s1} از سیگنال ژنراتور استفاده کنید).



۱-۱) ابتدا منبع تغذیه ac را از مدار خارج نموده و شکل موج V_o را با اسیلوسکوپ مشاهده نموده و رسم نمایید.

۱-۲) منبع تغذیه dc را از مدار خارج نموده و سیگنال ژنراتور را روشن کنید و در حالیکه به مدار وصل است دامنه و فرکانس آنرا تنظیم نمایید. شکل موج V_o را با اسیلوسکوپ مشاهده نموده و رسم نمایید.

۱-۳) هر دو منبع ac و dc را با مقادیر ذکر شده تنظیم نمایید و شکل موج ولتاژ V_o را مشاهده و رسم نمایید.

- آیا ولتاژ به دست آمده در بخش ۱-۳ برابر با مجموع ولتاژهایی است که در قسمت‌های ۱-۲ و ۱-۱ بدست آورده بودید؟

- بجای مقاومت R_3 یک خازن در مدار قرار دهید و نتیجه اصل جمع آثار را بررسی نمایید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

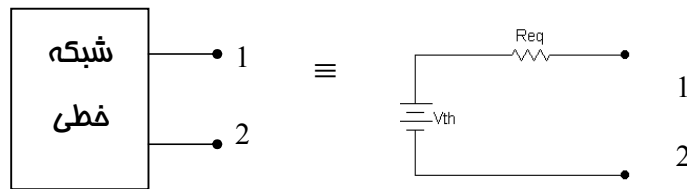
- اگر بجای یکی از مقاومت‌های مدار سلف در مدار قرار گیرد باز هم نتیجه فوق (اصل جمع آثار) صادق است؟ چرا؟ بجای R_3 یک سلف در مدار قرار دهید و قانون جمع آثار را بررسی نمایید.

- اگر بجای یکی از مقاومت‌های مدار دیود در مدار قرار گیرد باز هم نتیجه فوق (اصل جمع آثار) صادق است؟ چرا؟ بجای R_3 یک دیود در مدار قرار دهید و قانون جمع آثار را بررسی نمایید.

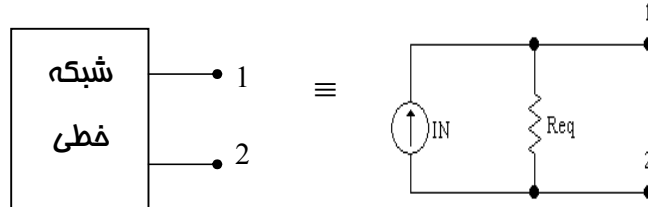
- از سئوالات فوق چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

قضایای تونن و نرتن

قضیه تونن : مطابق شکل هر شبکه خطی دو سر را می‌توان با یک منبع ولتاژ (V_{th}) سری با یک مقاومت (R_{eq}) معادل در نظر گرفت :



قضیه نرتن : مطابق شکل هر شبکه خطی دو سر را می‌توان با یک منبع جریان (I_N) موازی با یک مقاومت (R_{eq}) معادل در نظر گرفت.



* در حالت کلی برای مدارهای شامل منابع ac و سلف و خازن و سلفهای تزویج شده بجای R_{eq} باید Z_{eq} در نظر گرفته شود.
برای پیدا کردن مدار معادل تونن یا نرتن محاسبه و یا اندازه‌گیری دو کمیت از سه کمیت زیر کافی است:

- ولتاژ بین دو سر 1 و 2 وقتی که بین دو سر 1 و 2 باز است که در این

$$V_{th} = V_{oc} \text{ صورت}$$

- جریان جاری شده بین دو سر 1 و 2 وقتی که بین دو سر 1 و 2 اتصال

$$I_N = I_{SC} \text{ کوتاه باشد که در این صورت}$$

- مقاومت اهمی بین دو سر 1 و 2 در حالیکه منابع موجود در مدار غیر فعال شده‌اند که در این صورت R_{eq} را داریم

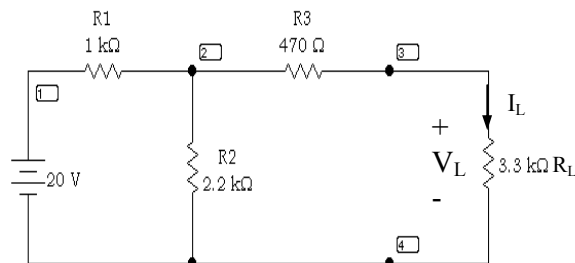
بین این سه کمیت رابطه $V_{th} = R_{eq} \cdot I_N$ برقرار می‌باشد.

این دو قضیه در بسیاری از کاربردها که در آن ولتاژها و جریانها در بخشی از مدار مورد نظر نیستند برای ساده کردن تجزیه و تحلیل بسیار مفید می‌باشند. مثلاً در حالت کلی می‌توان یک باتری، یک منبع تغذیه آزمایشگاهی یا یک سیگنال ژنراتور را که دارای عناصر متعددی در داخل خود می‌باشند با استفاده از قضایای فوق با مدل ساده‌ای مورد بررسی و استفاده قرار داد.

بهمین ترتیب می‌توان رفتار یک تقویت کننده چند طبقه ترانزیستوری را که به یک بار مصرفی (مثل بلندگو) وصل شده را با این مدل ساده مورد بررسی قرار داد.

آزمایش ۲

مداری مطابق شکل مقابل ببندید.



۲-۱) مدار معادل تونن و نرتن مدار را از دید سمت چپ گره‌های ۳ و ۴ با محاسبه بدست آورید و با استفاده از آن مدارهای معادل تونن و نرتن مدار را رسم نمایید.

۲-۲) با استفاده از جواب قسمت قبل جریان R_L (یعنی I_L) و نیز ولتاژ دو سر آن (یعنی V_L) را محاسبه نمایید.

۲-۳) R_L را از مدار خارج نمایید و R_{eq} را اندازه‌گیری نمایید.
برای اندازه‌گیری R_{eq} بجای V_S دو سر گره ۱ و ۴ را اتصال کوتاه نمایید و مقاومت بین گره ۳ و ۴ را با یک اهم‌تراندازه‌گیری نمایید.

$$R_{eq} =$$

آیا این مقدار با مقاومت محاسبه شده در قسمت ۲-۱ یکی است؟ علت اختلاف را بیان نمایید.

۲-۴) اتصال کوتاه بین ۱ و ۴ را برداشته و منبع تغذیه را با مقدار نشان داده شده در شکل بین ۱ و ۴ قرار دهید.
برای اندازه‌گیری V_{th} با یک ولت‌متر ولتاژ بین گره ۳ و گره ۴ را اندازه‌گیری نمایید.

$$V_{th} = V_{oc} =$$

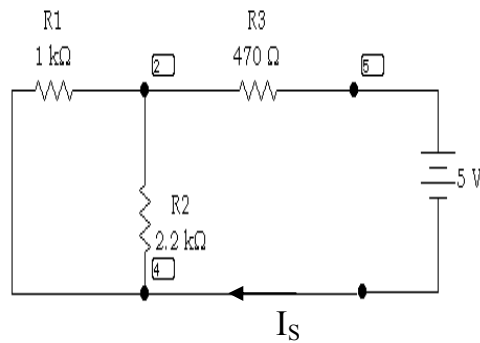
آیا این مقدار با مقدار بدست آمده در قسمت ۲-۱ یکسان است؟ علت اختلاف چیست؟

۲-۵) برای محاسبه I_N بین گره‌های ۳ و ۴ را توسط یک آمپر متر اتصال کوتاه کنید و مقدار جریان را از آمپر متر بخوانید.

$$I_N =$$

آیا این مقدار با نتیجه قسمت ۲-۱ هماهنگی دارد؟ علت اختلاف را توضیح دهید.

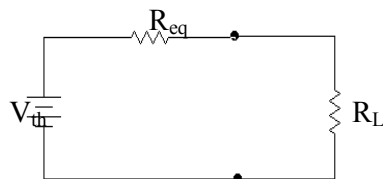
۲-۶) آیا می‌توان برای اندازه‌گیری R_{eq} مطابق شکل زیر ابتدا منبع V_s را از مدار خارج کرده و دو سر گره ۱ و ۴ را اتصال کوتاه نموده و با استفاده از یک منبع ولتاژ (مثلاً $5 = V_s$) و اندازه‌گیری جریان آن (I_s) رابطه $R_{eq} = \frac{5}{I_s}$ را مورد استفاده قرار داد؟



این آزمایش را انجام داده و نتیجه آنرا با قسمت‌های ۲-۱ و ۲-۵ مقایسه نمایید.

۲-۷) مدار را به حالت اولیه برگردانده و مقاومت R_L را در مدار قرار داده و سپس با یک مولتی متر ولتاژ و جریان آنرا اندازه‌گیری نمایید و با نتیجه قسمت ۲-۲ مقایسه نمایید

۲-۸) مدار معادل تونن را بسته و مقاومت R_L را به دو سر مدار وصل نمایید و جریان و ولتاژ آنرا اندازه‌گیری کرده و با قسمت ۲-۷ مقایسه نمایید.



مدارهای جریان متناوب

الف) رفتار سلف و خازن در مدارهای ac

از بین تمام جریانهای پریودیک، جریان متناوب سینوسی بعلاوه کاربرد وسیع آن در صنعت و بعلاوه اینکه هر موج پریودیک غیر سینوسی را می توان بصورت مجموعه ای از موجهای سینوسی در نظر گرفت (تئوریه فوریه) از اهمیت خاصی برخوردار است. در مدارهای ac سینوسی علاوه بر مقاومت، سلف و خازن موجود در مدار نیز با عبور جریان مخالفت می نماید که برای آنها یک مقاومت ظاهری (امپدانس) تعریف می گردد. به این ترتیب در محاسبات و اندازه گیری آزمایشگاهی در جریان ac سه نوع امپدانس خواهیم داشت که عبارتند از:

$$Z_R = R \quad \text{مقاومت}$$

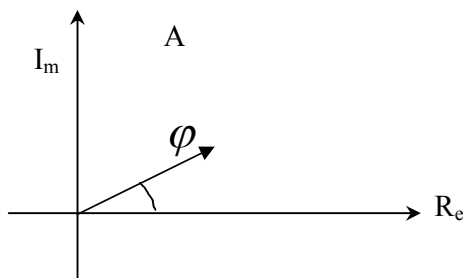
$$Z_L = j\omega L \quad \text{سلف}$$

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C} \quad \text{خازن}$$

که می توان از آن در محاسبات مدار استفاده نمود.

علاوه بر این یک کمیت الکتریکی (ولتاژ یا جریان) سینوسی به فرم $x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$ را می توان به فرم فازوری بشکل زیر بیان نمود:

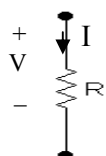
$$X = A \angle \varphi = a \cos \varphi + ja \sin \varphi \quad (\text{فازور } X)$$



فرم نمایش در صفحه مختلط

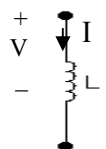
که به این ترتیب تمام روشهای حل مدارهای dc در حالت ac نیز (با استفاده از اعداد مختلط) قابل استفاده می باشد.

به این ترتیب در مورد جریان و ولتاژ دو سر مقاومت ، خازن و سلف از روابط و دیاگرامهای زیر می توان استفاده نمود :



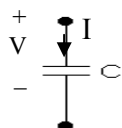
$$V = |V| \angle \varphi \Rightarrow I = \frac{V}{R} = \left(\frac{|V|}{R} \right) \angle \varphi$$

جریان و ولتاژ هم فازند



$$V = |V| \angle \varphi \Rightarrow I = \frac{V}{j\omega L} = \left(\frac{|V|}{\omega L} \right) \angle \varphi - 90$$

جریان نسبت به ولتاژ به اندازه ۹۰ درجه تاخیر فاز دارد.



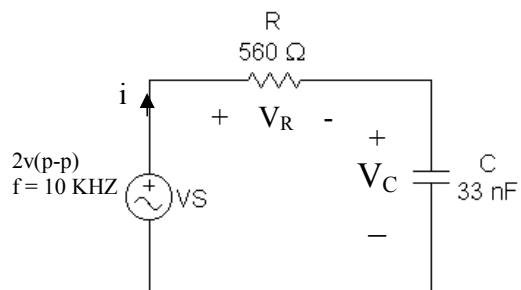
$$V = |V| \angle \varphi \Rightarrow I = \frac{V}{j\omega C} = (|V| \cdot \omega C) \angle \varphi + 90$$

جریان نسبت به ولتاژ به اندازه ۹۰ درجه

آزمایش

مداری مطابق شکل زیر

ببندید.



ولتاژهای V_S و V_R و V_C را دو بدو روی اسیلوسکوپ مشاهده نموده و روی کاغذ میلیمتری رسم نمایید و مقایسه کنید.
(یک بار V_S را به کانال ۱ اسکوپ و V_C را به کانال ۲ اسکوپ و بار دیگر V_R را به کانال ۱ اسکوپ و V_C را به کانال ۲ اسکوپ بدهید.)

(۱-۱) مقادیر ماکزیمم V_S و V_R و V_C را در زیر یادداشت نمایید:

$$V_{S \max} =$$

$$V_{R \max} =$$

$$V_{C \max} =$$

(۱-۲) مقدار ماکزیمم جریان I را با توجه به اندازه‌گیری‌های فوق بدست آورید :

$$I_{\max} =$$

(۱-۳) V_C و V_R نسبت به V_S چه مقدار اختلاف فاز دارند؟ (تاخیر یا تقدم را نیز ذکر نمایید)

$$\phi_{V_R} \quad \text{اختلاف فاز } V_R \text{ نسبت به } V_S$$

$$\phi_{V_C} \quad \text{اختلاف فاز } V_C \text{ نسبت به } V_S$$

(۱-۴) با توجه به نتایج قبلی اختلاف فاز بین I و V_C چقدر است؟ (تقدم یا تاخیر را ذکر کنید)

$$\phi_C \quad \text{اختلاف فاز } I \text{ نسبت به } V_C$$

(۱-۵) امپدانس مدار را با توجه به نتایج ۱-۱ تا ۱-۴ بدست آورید.

$$Z =$$

آزمایش

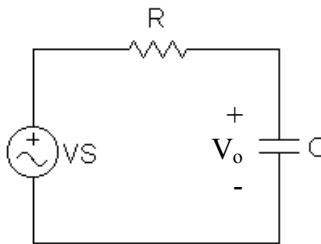
در آزمایش ۱ سلف 7.5 mH را جایگزین خازن 33 nF نموده و کلیه مراحل آزمایش ۱ را تکرار نمایید و نتایج و پاسخ به سئوالات مطروحه در ۱-۱ تا ۱-۵ را یادداشت نمایید.

ب) بررسی پاسخ فرکانسی مدارهای RC و RL

یکی از کاربردهای مدارهای RC و RL و RLC در فیلترهاست که در آنها سیگنالهای ورودی به مدار را که در محدوده فرکانسی بخصوصی قرار داشته باشند از خود عبور داده و بقیه سیگنالها که در این باند قرار ندارند را حذف می نماید. در این آزمایش به ساده ترین انواع فیلترهای RC و RL و بدست آوردن مشخصه های آنها خواهیم پرداخت.

فیلتر پایین گذر**الف) فیلتر پایین گذر RC**

در شکل زیر یک فیلتر پایین گذر RC نشان داده شده است.



بطور کیفی می توان گفت با توجه به اینکه $Z_C = \frac{1}{j\omega C}$ می باشد در فرکانسهای خیلی کم

خازن تقریباً مدار باز بوده و در نتیجه $V_O = V_S$ و در فرکانسهای خیلی بالا که امپدانس

خازن خیلی کوچک است می توان آنرا اتصال کوتاه فرض نمود و در نتیجه $V_O \approx 0$

چنانچه V_O و V_S را بطور کلی، بشکل زیر در نظر بگیریم :

$$V_S = V_{Sm} \cos \omega t \quad V_S = V_{Sm}^{\angle 0}$$

$$V_O = V_{Om} \cos(\omega t + \varphi) \quad V_O = V_{Om}^{\angle \varphi}$$

در آن صورت A_V را پاسخ فرکانسی مدار می‌نامند، بعبارت دیگر $|A_V|$ (که تابع فرکانس منبع است) را برحسب فرکانس مشخصه دامنه و منحنی تغییرات φ برحسب فرکانس را مشخصه فاز مدار می‌گویند.

در مورد فوق نتایج زیر حاصل می‌شود :

$$A_V = \frac{V_O}{V_S} = \left(\frac{V_{Om}}{V_{Sm}} \right)^{\angle \varphi}$$

$$|A_V| = \frac{V_{Om}}{V_{Sm}}$$

$$|A_V| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \quad (۱)$$

$$\varphi = \tan^{-1}(-\omega RC) \quad (۲)$$

بدیهی است در فرکانسهای خیلی پایین $|A_V| \approx 1$ و $\varphi \approx 0$ و در فرکانسهای خیلی بالا $|A_V| = 0$ و $\varphi \approx 90$ خواهد بود. به این دلیل به مدار فوق فیلتر پایین گذر گویند.

فرکانس قطع (یا فرکانس نصف توان) که با ω_c (یا f_c) نشان داده میشود فرکانسی است که در آن توان خروجی نصف توان ورودی و یا ولتاژ خروجی از نظر دامنه $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ولتاژ ورودی است که در نتیجه خواهیم داشت :

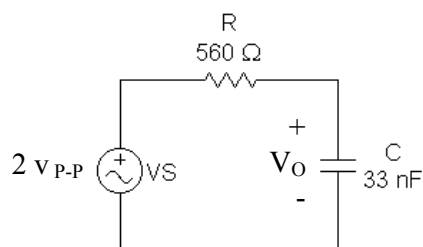
$$|A_V| = \left(\frac{V_{Om}}{V_{Sm}} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \omega_c = \frac{1}{RC} \Rightarrow f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (۳)$$

با توجه اینکه $20 \log \frac{1}{\sqrt{2}} = 3dB$ میباشد، این فرکانس را فرکانس قطع ۳ دسیبل نیز می‌نامند.

آزمایش

۳-۱) مداری مطابق شکل بسته و با تغییر دادن فرکانس سیگنال ژنراتور مطابق جدول زیر ، ولتاژ خروجی و اختلاف فاز آن را نسبت به ولتاژ ورودی در روی اسیلوسکوپ مشاهده نموده و در جدول یادداشت نمایید.

* دقت کنید که در تمام مراحل آزمایش ولتاژ ورودی 2 v (Peak to peak) باشد.



F (hz)	100	500	800	1k	4K	8K	12K	15K	20K
V_O P . P									
φ درجه									
$|A_V| = \frac{|V_O|}{|V_S|}$									

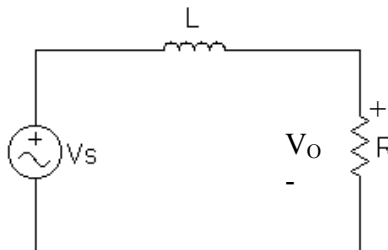
۳-۲) منحنی تغییرات $|A_V|$ و φ را بر حسب فرکانس روی کاغذ میلیمتری رسم نمایید.

۳-۳ از روی مشخصه رسم شده فرکانس قطع (f_c) مدار و نیز مقدار φ_c در این فرکانس را بدست آورید.

۳-۴ مقادیر بدست آمده (f_c و φ_c) از آزمایش را با آنچه از راه محاسبه با استفاده از روابط (۲) و (۳) بدست می آورید مقایسه کنید.

ب) فیلتر پایین گذر RL

در شکل مقابل یک فیلتر پایین گذر RL نشان داده شده است.



در اینجا نیز بطور کیفی می توان گفت :

با توجه به اینکه $Z_L = j\omega L$ می باشد اگر فرکانس مدار را زیاد کنیم امپدانس Z_L نیز زیاد شده در نتیجه در فرکانس های خیلی بالا سلف مدار باز می شود و $V_o = 0$ در فرکانس های خیلی پایین امپدانس سلف نیز خیلی کم شده و در نتیجه در فرکانس های خیلی پایین سلف را می توان بصورت اتصال کوتاه در نظر گرفت و $V_o = V_s$.

در نتیجه مدار بصورت یک فیلتر پایین گذر عمل می کند. چنانچه بطور کلی V_S و V_O را به شکل زیر در نظر بگیریم :

$$\begin{aligned} V_S &= V_{Sm} \cos \omega t & , & & V_S &= V_{Sm} \angle 0 \\ V_O &= V_{Om} \cos(\omega t + \varphi) & , & & V_O &= V_{Om} \angle \varphi \end{aligned}$$

A_V پاسخ فرکانس مدار بصورت زیر می باشد :

$$A_V = \frac{V_O}{V_S} = \left(\frac{V_{Om}}{V_{Sm}} \right) \angle \varphi$$

$$\text{مشخصه دامنه} \quad |A_V| = \frac{V_{Om}}{V_{Sm}} \quad (1)$$

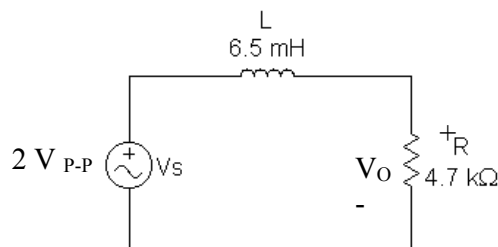
$$\text{مشخصه فاز} \quad \varphi = \tan^{-1} \left(\frac{-\omega L}{R} \right) \quad (2)$$

در فرکانسهای خیلی پایین $|A_V| \approx 1$ و $\varphi = 0$
در فرکانسهای خیلی پایین $|A_V| \approx 0$ و $\varphi = 90$

$$|A_V| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega L}{R} \right)^2}} \quad f_C = \frac{R}{2\pi L}$$

آزمایش

(۴-۱) مداری مطابق شکل بسته و با تغییر دادن فرکانس سیگنال ژنراتور شکل موجهای ورودی و خروجی را همزمان روی اسکوپ مشاهده نموده مطابق جدول زیر ، ولتاژ خروجی و اختلاف فاز آن را نسبت به ولتاژ ورودی در روی اسیلوسکوپ مشاهده نموده و در جدول یادداشت نمایید.



* دقت کنید که در تمام مراحل ولتاژ ورودی 2 v (Peak to peak) باشد.

f (hz)	1K	5K	8K	10K	40K	80K	100K	110K	120K
V_O P - P									
ϕ درجه									
$|A_V| = \frac{|V_O|}{|V_S|}$									

۴-۲) منحنی تغییرات $|A_V|$ و ϕ را بر حسب فرکانس روی کاغذ میلیمتری رسم نمایید.

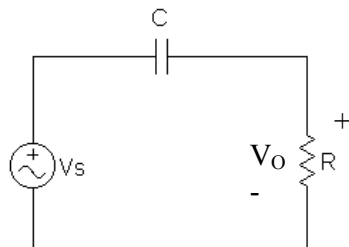
۴-۳) از روی مشخصه رسم شده فرکانس قطع (f_c) مدار و نیز مقدار ϕ_c در این فرکانس را بدست آورید.

۴-۴) مقادیر بدست آمده (f_c و ϕ_c) از آزمایش را با آنچه از راه محاسبه با استفاده از روابط (۲) و (۳) بدست می آورید مقایسه کنید.

فیلتر بالا گذر

فیلتر بالاگذر RC

شکل مقابل یک مدار RC بالاگذر را نشان می دهد که در آن شبیه حالت قبل (RC) پایین گذر (روابط زیر بدست می آید :



[illegible]

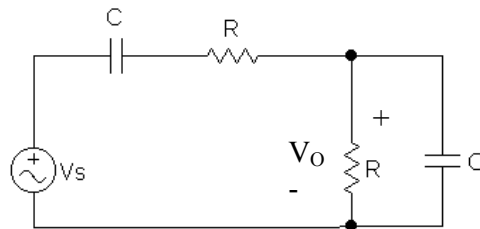
۵-۲) منحنی تغییرات $|A_V|$ و ϕ را بر حسب فرکانس روی کاغذ میلیمتری رسم نمایید.

۵-۳) از روی مشخصه رسم شده فرکانس قطع (f_c) مدار و نیز مقدار ϕ_c در این فرکانس را بدست آورید.

۵-۴) مقادیر بدست آمده (f_c و ϕ_c) از آزمایش را با آنچه از راه محاسبه با استفاده از روابط (۲) و (۳) بدست می آورید مقایسه کنید.

فیلتر میان گذر

با بستن سری یک فیلتر بالاگذر و یک فیلتر پایین گذر مطابق شکل مقابل یک فیلتر میان گذر حاصل می گردد.



در این مورد مشخصه دامنه آن را مورد بررسی قرار می دهیم.
مشخصه دامنه این فیلتر با رابطه زیر بدست می آید :

$$|A_V| = \frac{|V_o|}{|V_s|} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\omega RC} - \omega RC\right)^2 + 9}}$$

۶-۲) منحنی تغییرات $|A_V|$ را بر حسب فرکانس روی کاغذ میلیمتری رسم نمایید.

۶-۳) از روی مشخصه رسم شده فرکانس f_m را بدست آورده و با آنچه از راه محاسبه بدست می‌آورید مقایسه نمایید.

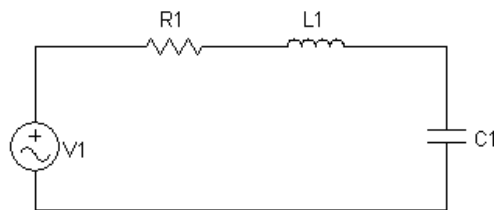
آیا این مقدار با مقدار بدست آمده در قسمت ۱-۲ یکسان است؟ علت اختلاف چیست؟

تشدید

اگر در یک فرکانس معین ؛ جریان یک شبکه راکتیو با ولتاژ دو سر آن همفاز شود ، شبکه را در حالت تشدید می نامند. یک شبکه مفصل با شاخه های متعدد ممکن است چندین فرکانس تشدید داشته باشد.

دو مداری که اکثراً در حالت تشدید برای حذف و یا انتخاب باند مخصوصی از سیگنالهای ورودی مورد استفاده قرار میگیرند ، مدارهای RLC سری و RLC موازی بوده که در این آزمایش یک مدار RLC سری و مشخصه های مختلف آن مورد بررسی قرار می گیرند.

در شکل مقابل یک مدار RLC



سری نشان داده شده است.

R مجموع مقاومت های اهمی

مدار(مقاومت های داخلی منبع ،

مقاومت سیم های ارتباطی ،

مقاومت اهمی سلف و خازن و یا

مقاومت سری با آنها) می باشد.

در این مدار امپدانس کل مدار برابر است با:

$$Z = R + j(X_L - X_C)$$

که در این صورت در حالت تشدید جزء موهومی امپدانس برابر با صفر می باشد:

$$X_L - X_C = 0$$

(فرکانس تشدید با ω_0 نشان داده می شود)

$$\omega_0 L - \frac{1}{\omega_0 C} = 0$$

Rad/s

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

و در آن صورت امپدانس مدار حداقل بوده و برابر با R می باشد. بدیهی است در این صورت

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{جریان مدار حداکثر بوده و مقدار آن برابر است با:}$$

در فرکانس رزونانس ولتاژ دو سر سلف و دو سر خازن بشکل زیر خواهد بود:

$$V_L = jx_L \cdot I = j\omega_0 L \cdot I = j\omega_0 L \cdot \frac{V_S}{R} \Rightarrow |V_L| = \frac{\omega_0 L}{R} \cdot V_S$$

$$V_C = \frac{1}{jX_C} \cdot I = \frac{1}{j\omega_0 C} \cdot I = \frac{1}{j\omega_0 C} \cdot \frac{V_S}{R} \Rightarrow |V_C| = \frac{1}{\omega_0 CR} \cdot V_S$$

که نسبتهای $\frac{\omega_0 L}{R}$ و $\frac{1}{\omega_0 CR}$ را ضریب کیفیت مدار در فرکانس تشدید می نامند و با Q_0

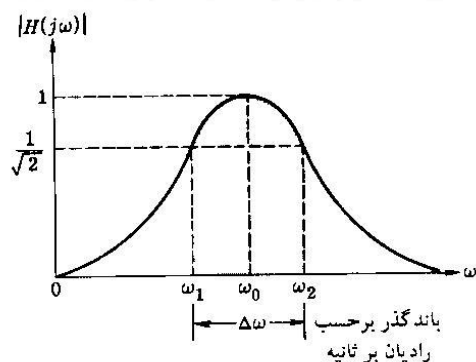
نمایش می دهند که در اینصورت روابط فوق بشکل زیر خواهد بود:

$$|V_L| = Q_0 \cdot V_S$$

$$|V_C| = Q_0 \cdot V_S$$

همانطور که گفته شد در فرکانس تشدید امپدانس مدار اهمی خالص و مینیمم بوده و مقدار آن برابر با مقاومت موجود در مدار می باشد. در فرکانس های بالاتر از فرکانس تشدید مدار بصورت سلفی و در فرکانس های کمتر از فرکانس تشدید مدار بصورت خازنی عمل می نماید.

چنانچه منحنی جریان مدار بر حسب فرکانس برای مدار RLC سری رسم گردد شکل زیر حاصل می شود:



$$\omega_1 = \omega_L$$

$$\omega_2 = \omega_H$$

به این ترتیب مدار RLC سری بشکل یک فیلتر میان گذر عمل می نماید که در آن باند عبور یا عرض باند مدار را با B.W. نشان داده و مقدار آن برابر است با :

$$B.W = f_H - f_L$$

$f_L(\omega_L)$ و $f_H(\omega_H)$ را بترتیب فرکانسهای بالایی و پایینی قطع مدار و یا فرکانسهای بالایی و پایینی نصف قدرت مدار (و یا فرکانسهای قطع 3dB) می نامند زیرا در این دو فرکانس جریان مدار $1/\sqrt{2}$ برابر جریان ماکزیمم (یعنی جریان حالت تشدید) خواهد بود و در نتیجه توان مدار 1/2 توان ماکزیمم مدار (یعنی توان حالت تشدید) خواهد بود. رابطه بین ضریب کیفیت، فرکانس رزونانس (تشدید) و عرض باند مدار مطابق زیر می باشد:

$$Q_0 = \frac{\omega_0}{\omega_H - \omega_L} = \frac{f_0}{f_H - f_L} = \frac{f_0}{B.W}$$

اگر از مداری شامل R,L,C جریان متناوبی به زیر عبور کند

$$I = I_m \sin \omega t$$

اختلاف پتانسیل هر جزء مدار طبق حالتهای قبل محاسبه می شود و اختلاف پتانسیل کل مدار برابر است با بر آیند اختلاف پتانسیلهای اجزای مدار که به روش زیر محاسبه می شود:

$$I = I_m \sin \omega t$$

$$V_R = V_m \sin \omega t = R I_m \sin \omega t$$

$$V_L = V_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = L \omega I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$V_C = V_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = \frac{1}{C \omega} I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

برداری به اندازه V_R با زاویه صفر درجه نسبت به افق از انتهای آن بردار V_L با زاویه $\frac{\pi}{2}$

و از انتهای آن بردار V_C با زاویه $-\frac{\pi}{2}$ نسبت به افق رسم می شود بنابر این :

$$V^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2$$

$$\cos \varphi = \frac{V_R}{V}$$

$$\tan \varphi = \frac{V_L - V_C}{V_R}$$

در این حالت رابطه بین ولتاژ و جریان به صورت $V_m = ZI_m$ می باشد که Z را مقاومت ظاهری کل مدار می نامند و از رابطه زیر محاسبه می شود

$$Z^2 = R^2 + (X_L + X_C)^2$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

$$\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

$$X_L = L\omega, X_C = \frac{1}{C\omega}$$

در روابط فوق φ اختلاف فاز بین جریان در مدار و اختلاف پتانسیل کل مدار است

اگر $X_L > X_C$ باشد ولتاژ از جریان باندازه φ جلوتر است

اگر $X_L < X_C$ باشد جریان از ولتاژ باندازه φ جلوتر است

اگر $X_L = X_C$ باشد جریان با ولتاژ همفاز است $\varphi = 0$ که این حالت را حالت تشدید در مدار گویند در حالت تشدید مقاومت ظاهری کل مدار حداقل است $Z=R$ در نتیجه شدت جریان حداکثر است.

آزمایش ۱

مداری مطابق شکل زیر ببینید.



۱-۱) فرکانس تشدید، عرض باند و ضریب کیفیت مدار را محاسبه نمایید.

۱-۲) ولتاژ دو سر ترکیب سری سلف و خازن را توسط اسیلوسکوپ ملاحظه نمایید. با تغییر فرکانس منبع ورودی فرکانسی را که در آن این ولتاژ حداقل می شود را بدست آورید. آیا این فرکانس ، فرکانس تشدید مدار می باشد؟

۱-۳) طریقه دیگری که بتوان در آزمایشگاه فرکانس تشدید را اندازه گیری کرد را پیشنهاد دهید و از همان روش فرکانس تشدید را بدست آورید و با قسمت قبل مقایسه نمایید.

۱-۴) فرکانس سیگنال ژنراتور را مطابق جدول زیر تغییر داده و جدول زیر را تکمیل نمایید.

* دقت کنید در تمام مراحل آزمایش ولتاژ سیگنال ژنراتور برابر 12v p-p باقی بماند.

f	200	500	1K	5K	10K	12K	14K	16K	18K	20K
$V_{R(P-P)}$										
$V_{C(P-P)}$										
$V_{L(P-P)}$										
$I_{(P-P)}$										
$Z (\Omega)$										
$X_L(\Omega)$										
$X_C(\Omega)$										

* در هر فرکانس V_R ، V_C و V_L را اندازه گیری نموده و در ستون مربوطه یادداشت نمایید.

۱-۵) منحنی های X_C و X_L و R و $|Z|$ را بر حسب فرکانس f روی کاغذ لگاریتمی رسم نمایید.

۱-۶) با توجه به منحنی های رسم شده در قسمت (۱-۵) فرکانس تشدید (f_0) ، فرکانس قطع بالا (f_H) و فرکانس قطع پایین (f_L) را روی منحنی های یاد شده مشخص و مقادیر آن را یادداشت نمایید.

۱-۷) منحنی تغییرات جریان مدار بر حسب فرکانس را روی کاغذ لگاریتمی رسم نمایید.

۱-۸) فرکانسهای f_0 ، f_H و f_L را از روی منحنی ۱-۷ بدست آورید و با توجه به آنها B.W (پهنای باند) و Q_0 (ضریب کیفیت) مدار را محاسبه و با آنچه که در بخش ۱-۱ بدست آورده اید مقایسه نمایید.

۱-۹) مقاومت R را به مقدار $1\text{ K}\Omega$ تغییر دهید و جدول زیر را تکمیل نمایید.

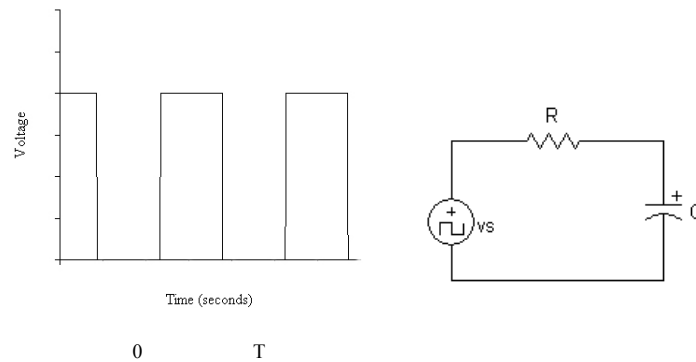
F	200	500	1K	5K	10K	12K	14K	16K	18K	20K
$V_{R(P-P)}$										
$I_{(P-P)}$										

۱-۱۰) بر روی منحنی قسمت ۱-۷ منحنی تغییرات I بر حسب فرکانس را از جدول فوق با رنگ متفاوت رسم نمایید.

۱-۱۱) با توجه به دو منحنی مختلف I بر حسب فرکانس برای مقاومت های 180Ω و $1\text{ K}\Omega$ در مورد تاثیر افزایش یا کاهش مقاومت R در فرکانس تشدید ، عرض باند و ضریب کیفیت مدار بحث نمایید.

بررسی رفتار مدارهای RC پایین گذر (انتگرال گیر) برای ورودی مربعی

اگر به مدار RC پایین گذر مطابق شکل زیر یک موج مربعی اعمال گردد، چون ولتاژخازن



نمی تواند تغییر ناگهانی داشته باشد در لحظه وارد شدن پالس ولتاژ خروجی V_O صفر می ماند ولی بتدریج که خازن شارژ می شود V_O نیز افزایش یافته تا اینکه تقریباً تمام ولتاژ ورودی روی V_O می افتد.

در لحظه ای که مجدداً ولتاژ ورودی صفر می شود نیز می توان گفت خازن به تدرج به فرم نمائی دشارژ شده تا به صفر برسد، که در این صورت فرم تابع V_O بستگی به ثابت زمانی مدار دارد ($\tau = RC$) بطوریکه:

اگر ثابت زمانی مدار در مقابل T کوچک باشد خازن سریعاً شارژ و دشارژ شده و V_O تقریباً شبیه ورودی می باشد.

اگر ثابت زمانی مدار در مقابل T بزرگ باشد خازن فرصت کافی برای شارژ و دشارژ پیدا نکرده و V_O تقریباً به شکل مثلثی درمی آید و اگر ثابت زمانی مدار در مقابل T خیلی بزرگ باشد خازن خیلی آهسته و به مقدار کم شارژ می شود و در نتیجه تمام ولتاژ ورودی روی مقاومت می افتد که در آنصورت می توان نوشت:

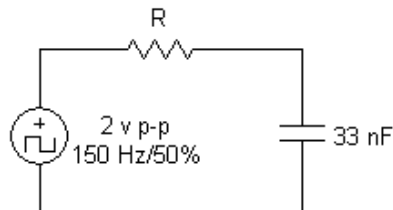
$$V_s = R.I + V_O$$

$$V_O \approx 0 \Rightarrow V_s \approx R.I = RC \frac{dV_O}{dt} \Rightarrow V_O = \frac{1}{RC} \int V_s dt$$

یعنی مدار به شکل یک انتگرال گیر عمل می کند.

آزمایش ۱

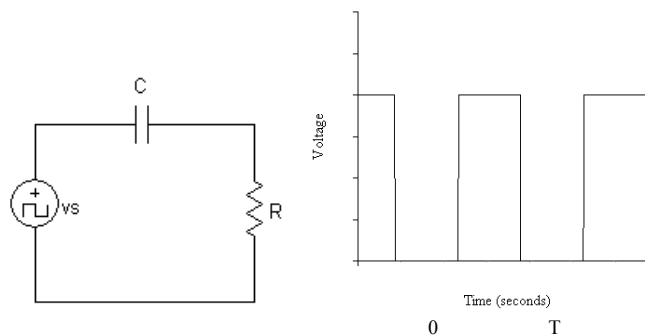
مداری مطابق شکل زیر برای سه مقاومت $560\ \Omega$ و $56\ K\ \Omega$ و $560\ K\ \Omega$ بسته و در هر حالت ولتاژ ورودی و خروجی را روی کاغذ میلیمتری رسم نمائید.



در مورد شکلهای حاصل شده در رابطه با ثابت زمانی مدار بحث نمائید.

بررسی رفتار مدارهای RC بالا گذر (مشتق گیر) برای ورودی مربعی

چنانچه یک ورودی مربعی به به مدار RC بالا گذر زیر اعمال گردد می توان مشابه حالت قبل بحث نمود و به نتایج زیر رسید.



اگر ثابت زمانی مدار در مقابل T کوچک باشد خازن به سرعت شارژ و دشارژ شده و لذا ولتاژ خروجی سریعاً به سمت صفر میل می کند.

اگر ثابت زمانی مدار در مقابل T بزرگ باشد خازن به کندی شارژ و دشارژ شده و در نتیجه انحراف شکل ولتاژ خروجی از سیگنال مربعی ورودی ناچیز است. و بالاخره اگر ثابت زمانی مدار در مقابل T خیلی کوچک باشد خازن خیلی سریع شارژ و دشارژ گردیده و در واقع می توان گفت که تمام ولتاژ ورودی روی خازن می افتد یعنی :

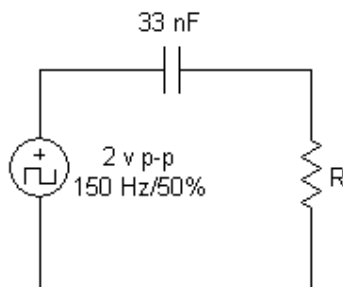
$$V_s = V_c = V_o$$

$$V_o = R.I = R \left(C \frac{dV_c}{dt} \right) \approx RC \frac{dV_s}{dt}$$

به عبارت دیگر در این حالت ولتاژ خروجی مشتق ولتاژ ورودی بوده و به این ترتیب این مدار مشتق گیر (دیفرانسیاتور) نامیده می شود.

آزمایش ۲

مداری مطابق شکل زیر برای سه مقاومت 560Ω و $56 K \Omega$ و $560 K \Omega$ بسته و در هر حالت ولتاژ ورودی و خروجی را روی کاغذ میلیمتری رسم نمائید.



در مورد شکلهای حاصل شده در رابطه با ثابت زمانی مدار بحث نمائید.

اندازه گیری انرژی الکتریکی

انرژی الکتریکی که توسط یک عنصر الکتریکی مصرف می شود از رابطه زیر بدست می آید:

$$W = \int_0^t v \cdot i dt$$

در رابطه بالا i جریان ، v ولتاژ و W انرژی می باشد.

برای اندازه گیری انرژی در سیستمهای جریان متناوب تک فاز از کنتور تک فاز که یک دستگاه اندازه گیری القایی است استفاده می شود.

کنتور تک فاز متشکل از دو سیم پیچ جریان و ولتاژ و یک دیسک چرخان و یک ترمز الکترومغناطیسی می باشد. سیم پیچ جریان بطور سری با بار قرار می گیرد و سیم پیچ ولتاژ بصورت موازی با بار قرار می گیرد.

بر روی هر کنتور یک ثابت اسمی کنتور (K_n) نوشته شده است که نشانگر تعداد دور دیسک چرخان به ازای یک کیلو وات ساعت است.

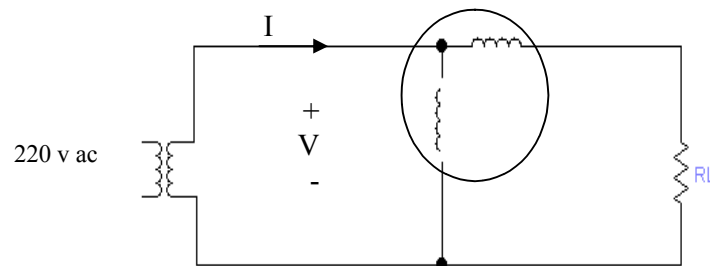
آزمایش کنتور

- ثابت اسمی و دیگر مشخصات کنتوری که در اختیار شما است را یادداشت نمایید:

$$K_n =$$

مداری مطابق شکل زیر ببینید و با تغییر ولتاژ اتوترانسفورماتور و اندازه گیری زمان گردش ۵ دور دیسک چرخان کنتور جدول مربوطه را تکمیل نمایید.

مقدار بار R_L متشکل از سه لامپ ۱۰۰ وات است که بطور موازی به یکدیگر وصل شده اند.



V	100	120	140	160	180	190	200	210	220
I									
P									
t									
K									
% ε									

در جدول فوق مقادیر P و K و ε از روابط زیر تعیین می شوند:

$$P = V.I$$

$$K = n/P.t$$

$$\% \varepsilon = \frac{K - K_n}{K_n} \times 100$$

با استفاده از جدول منحنی تغییرات تقریبی $\% \varepsilon$ را بر حسب توان رسم کرده و در مورد روند تغییرات توضیح دهید.

وظیفه آهن ربای دائم در کنتور چیست و در صورت حذف آن چه تغییری در کارکرد کنتور پیش می آید؟

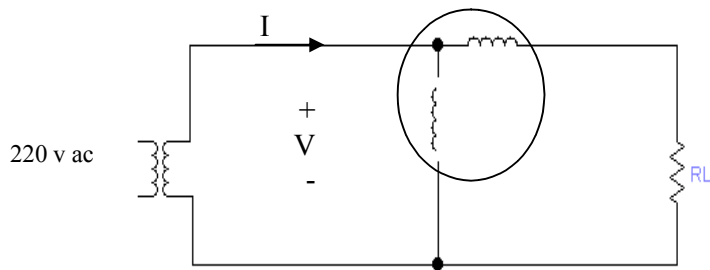
اندازه گیری توان اکتیو در مدارهای تک فاز

اگر مقدار موثر جریان ورودی به یک المان پسیو را با I و مقدار موثر ولتاژ را با V نشان دهیم و φ اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان باشد، توان اکتیو جذب شده توسط این المان از رابطه زیر تعیین می شود :

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

آزمایش وات متر

مداری مطابق شکل زیر ببندید و با تغییر ولتاژ اتوترانسفورماتور مقادیر جریان و ولتاژ و توان را خوانده و در جدول مربوطه یادداشت نمایید.



مقدار بار R_L متشکل از سه لامپ ۱۰۰ وات است که بطور موازی به یکدیگر وصل شده اند. وات متر مقدار توان اکتیو را نشان می دهد.

V	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
I											
P											
% ε											

$$\% \varepsilon = \frac{P - V.I}{V.I} \times 100$$

$$P = V.I$$

با استفاده از جدول منحنی تغییرات تقریبی $\% \varepsilon$ را بر حسب توان رسم نمایید.