

به نام خدا

# گزارش کار آزمایشگاه مدار ۱

نویسنده:

یاشار برادران شکوهی

کلمات کلیدی:

اسیلوسکوپ، پروب.

چکیده:

گزارش کار آزمایشگاه مدار ۱.



## فهرست دستور کار آزمایشگاه اندازه گیری و مدار:

(۱) اندازه گیری با نوسان نگار (اسیلوسکوپ)

(۲) پاسخ فرکانسی مدارهای RC (پائین گذر- بالا گذر- میان گذر)

(۳) پاسخ فرکانسی مدارهای RLC (سری، موازی)

(۴) پاسخ گذرای مدارهای RL , RC.

( RC پائین گذر، بالا گذر ، میان گذر و RL پائین گذر).

(۵) پاسخ گذرای مدارهای RLC (سری ، موازی).

۶) اندازه گیری امپدانس داخلی یک منبع.

۷) تطبیق امپدانس.

آشنایی با اجزا و وسایل آزمایشگاه:

## الف) آشنایی با اجزاء مدار:

مقدمه: یک مدار الکتریکی اساساً از اتصال یک یا چند منبع مولد انرژی، و یک یا چند مصرف کننده (یا ذخیره

کننده) انرژی، که اجزاء مدار نامیده می شوند، تشکیل می گردد.

سه نوع از اجزاء مدار که در این آزمایشگاه با آنها سر و کار خواهیم داشت عبارت اند از:

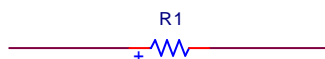
مقاومت (Resistor)، خازن (Capacitor)، و خودالقاء (Inductor).

۱) مقاومت:

اولین جزء مدار مقاومت نام دارد. در این جزء ولتاژ دو سر آن مستقیماً متناسب با جریانی است که از آن

می گذرد. شکل (۱) علامتی را که برای نشان دادن مقاومت در مدار بکار می رود، نشان می دهد. قانون اهم رابطه

ای را که مبین مطلب فوق است را نشان می دهد.



$$V = R i$$

(۱) (قانون اهم)

در این رابطه  $i$  شدت جریان بر حسب (A) و  $V$  بر حسب ولت (v) است. ثابت تناسب یعنی  $R$  مقاومت این جزء بوده و بر حسب اهم ( $\Omega$ ) بیان می شود. حائز اهمیت است توجه کنیم که مقاومت ، انرژی الکتریکی را بصورت حرارت مصرف یا تلف می نماید.

مقاومت ها در شکل ها ، اندازه ها و در انواع مختلف نظیر مقاومت کربنی (Cabon Film) ، فلزی ( Metal Film) ، سیم پیچی شده (Wire Wounded) و غیره ساخته می شود. ارزانه ترین و پرمصرف ترین آنها ، مقاومت های کربنی می باشند که اند که اندازه آنها بوسیله کد رنگی مشخص می شود.

تعیین اندازه مقاومت ها:

اندازه مقاومت ها ، عموماً بصورت عدد و یا بصورت حلقه رنگهایی که بر روی آنها وجود دارد، تعیین می شود. بطور کلی تمام مقاومت های کربنی چهار حلقه رنگی هستند که حلقه چهارم برنگ طلایی ، یا نقره ای ، یا بی رنگ می باشد.

جدول زیر مفهوم عددی رنگها و اندازه مقاومتها را نشان می دهد.

جدول (۱)

جدول کد رنگی	حلقه	حلقه سوم	حلقه	حلقه	رنگ حلقه ها
چهار	ضریب	دوم	اول	اول	ها
تلرانس %		رقم دوم	رقم اول		

سیاه	۰	۰	$10^0$	-
قهوه ای	۱	۱	$10^1$	۱
قرمز	۲	۲	$10^2$	۲
نارنجی	۳	۳	$10^3$	-
زرد	۴	۴	$10^4$	-
سبز	۵	۵	$10^5$	-
آبی	۶	۶	$10^6$	-
بنفش	۷	۷	$10^7$	-
خاکستری	۸	۸	-	-
سفید	۹	۹	-	-
طلایی	-	-	$10^{-1}$	۵
نقره ای	-	-	$10^{-2}$	۱۰
بی رنگ	-	-	-	۲۰

✓: اگر مقاومتی دارای ۵ حلقه رنگی باشد، سه حلقه اول معرف رقم اول تا سوم و حلقه چهارم معرف ضریب و حلقه پنجم معرف تolerانس مقاومت خواهد بود.

مثال ۱: اندازه مقاومتی که رنگهای آن به ترتیب قهوه ای، سیاه، قرمز و طلایی می باشد برابر است با:

$$10 \times 10^2 \pm 5\% \times 1000 = 1000 \pm 50 \Omega$$

باید توجه نمود که اندازه های مقامت های کربنی با قدرت های ۱/۸ ، ۱/۴ ، ۱/۲ ، ۱ و ۲ وات ، یکی از مقادیر

استاندارد زیر است:

$$n = 0, 1, 2, \dots, 6 \quad (2.7 \text{ و } 3.3 \text{ و } 3.9 \text{ و } 4.7 \text{ و } 5.6 \text{ و } 6.8 \text{ و } 8.2 \text{ و } 10.2 \text{ و } 15.1 \text{ و } 18.2 \text{ و } 22) \times 10^n$$

(۲) خازن:

دومین جزء مدار ، خازن نام دارد. بطوریکه شدت جریانی که از آن می گذرد ، مستقیماً متناسب با میزان تغییرات ولتاژ در و سر آن نسبت به زمان است. این مطلب با رابطه زیر بیان می شود.

$I = C \frac{\partial v}{\partial t}$	(۲)
---------------------------------------	-----

ولتاژ دو سر خازن را می توان بصورت زیر نوشت:

$V_c = \frac{1}{C} \int i \partial t$	(۳)
---------------------------------------	-----

در این روابط  $i$  بر حسب (A) ،  $t$  بر حسب (s) و  $V_c$  بر حسب ولت (V) است. ثابت تناسب ، یعنی  $C$  ، به ظرفیت خازن (capacitance) موسوم بوده و با فاراد (F) اندازه گیری می شود.

خازن ها در شکل ها و اندازه ها و انواع مختلف ساخته می شوند که می توان از خازن های کاغذی ، سرامیک ، الکترولیتی ، و غیره نام برد. اندازه خازن ها عموماً بر حسب میکروفاراد ( $\mu F$ ) یا پیکوفاراد (PF) بر روی آنها نوشته می شود و یا با جدول رنگ هایی نظیر آنچه در مورد مقاومت ها دیده ایم ، تعیین می گردند.

## تعیین اندازه های خازن ها:

شکل (۴) نوعی خازن کاغذی بشکل استوانه را نشان می دهد. طریقه تعیین اندازه این خازن ها بوسیله کد رنگی به این ترتیب است که ، سه حلقه اول ، اندازه خازن و حلقه چهارم تلرانس است. حلقه پنجم میزان ولتاژ قابل تحمل را حداکثر تا ۹۰۰ ولت نشان می دهد. این مقدار ولتاژ با ضرب کردن عدد مربوطه به رنگ حلقه پنجم در ۱۰۰ بدست می آید. برای ولتاژهای بالاتر از ۹۰۰ ، حلقه ششم نیز اضافه می شود و حاصل این عدد دو رقمی در ۱۰۰ ضرب می گردد.

رنگها	سبز	سفید	سیاه	نارنجی	زرد
تلرانس %	۵	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰

(۳) خودالقاء یا سلف: سومین جزء مدار سلف است که ولتاژ دو سر آن مستقیماً متناسب با میزان تغییرات جریانی است که از آن می گذرد. این مطلب با رابطه زیر بیان می شود.

$$V_L = L \frac{\partial i}{\partial t}$$

(۴)

در این رابطه  $i$  بر حسب (A)،  $t$  بر حسب ثانیه (s)،  $V_L$  بر حسب ولت (V) است. ثابت تناسب یعنی  $L$  به ضریب خود القائی مرسوم بوده و بر حسب هانری (H) بیان می شود. خود القاها، نظیر مقاومت ها و خازن ها؛ در شکل ها و انواع مختلف ساخته می شوند و بر خلاف مقاومت ها، انرژی الکتریکی را تلف یا مصرف ننموده، بلکه آنرا بصورت انرژی الکترومغناطیسی در خود ذخیره می کنند.

## ب) آشنایی با نوسان گر یا اسیلوسکوپ (epocsollicsO):

مقدمه: نوسان نگار وسیله اندازه گیری است که به کمک آن می توان علاوه بر مشاهده شکل امواج الکتریکی، ویژگی آنها اعم از دامنه، زمان تناوب، فاز حرکت، فرکانس (یا تواتر) را اندازه گرفت. اساس کار نوسان نگار بر مبنای انحراف و یا نوسان اشعه الکترونی در یک میدان الکتریکی یا مغناطیسی استوار است.

قسمت اصلی ساختمان یک نوسان نگار، یک لامپ خلاء مخصوصی است که به (TRC) (edohtaC yaR ebuT) مرسوم است. این لامپ، نظیر لامپ تلویزیون، دارای یک صفحه می باشد که جدار آن با لایه ای از فسفر پوشانده شده است.

داخل لامپ از قسمت های زیر تشکیل شده است:

۱- تفنگ الکترونی و سیستم کانونی کردناشعه: این قسمت شعاع الکترونی را ایجاد نموده و پس از کانونی کردن آن به الکترون ها شتاب داده و آنها را با سرعتی حدود  $10^8 \text{ m/s}$ ، به سمت صفحه فلورسنت مقابل پرتاب می کند. این الکترون ها پس از برخورد با صفحه، انرژی خود را از دست داده و ایجاد یک نقطه نورانی روی صفحه می نمایند.

۲- دستگاه انحراف اشعه: این قسمت معمولاً از دو جهت صفحات موازی، موسوم به صفحات افقی (HH) و صفحات قائم (VV')، تشکیل یافته که اشعه الکترونی از میان آنها می گذرد.

دو صفحه موازی (HH')، برای منحرف کردن نقطه نورانی روی محور افقی (محور X ها) بکار می روند. حال چنانچه بین دو صفحه HH' یک ولتاژ  $dc$  برقرار شود و پتانسیل  $H'$  بیش از  $H$  باشد، نقطه نورانی متناسب با پتانسیل اعمال شده روی محور افقی و به دست راست تغییر مکان می یابد.

بدیهی است که چنان که بجای ولتاژ  $cd$ ، یک ولتاژ متناوب با دامنه  $V_m$  اعمال گردد، نقطه نورانی متناسب با تغییرات پیک دامنه روی محور افقی به چپ و راست نوسان خواهد نمود.

(شکل ۷)

دو صفحه موازی  $VV'$ ، برای منحرف کردن نقطه نورانی روی محور قائم (Y ها) بکار می روند. نظیر قبل، چنانچه یک ولتاژ  $dc$  و یا یک ولتاژ  $ac$  به این صفحات داده شود، نقطه نورانی روی محور قائم تغییر مکان و یا نوسان خواهد نمود.

برای آنکه بتوان به صفحات قائم ولتاژی اعمال نمود ، معمولاً در قسمت جلوی اسیلوسکوپ دو جفت ورودی است ؛ یکی جفت ورودی افقی یا  $X\_tupnI$  که به صفحات  $HH'$  متصل بوده و دیگری جفت ورودی قائم یا  $Y\_tupnI$  که به صفحات  $VV'$  متصل می باشد.

(شکل ۸)

مشخصات ورودی های  $X$  و  $Y$  بوسیله سلکتورهایی که بترتیب با علامت  $emiT/dvi$  و  $oVlt/dvi$  مشخص شده اند، قابل تنظیم و کنترل می باشند که بعداً توضیح داده می شود.

حال در نظر می گیریم که ولتاژ متغیری مطابق شکل (۹) ، بین صفحات  $H$  و  $H'$  برقرار شود ؛ مشاهده خواهد شد که نقطه نورانی روی صفحه  $TRC$  ، متناسب با ولتاژ اعمال شده روی محور افقی از چپ به راست تغییر مکان یافته و پس از مدتی سریعاً به جای خود بر می گردد و این حرکت را مرتباً تکرار می کند.

شکل ۹) موج دندانه ای اریه ای یا موج جاروب

این موج بنام موج جاروب (Sweep) و بوسیله مدار مولد این موج (Sweep Generator) که معمولاً در هر اسیلوسکوپ وجود دارد ، تولید می شود. در حالت عادی خروجی این مدار به صفحات  $HH'$  متصل است . بطوریکه از شکل (۹) دیده می شود، مقدار ولتاژ موج جاروب بستگی مستقیم به زمان  $t$  دارد. در فاصله  $t = 0$  و  $t = T$  ، ولتاژ موج جاروب و در نتیجه ولتاژ بین صفحات  $H$  و  $H'$  از ۰ به  $V$  افزایش می یابد و نقطه نورانی بر روی محور افقی از چپ به راست حرکت می کند.

سرعت حرکت نقطه نورانی بستگی به زمان تناوب  $T$  دارد. اگر این زمان تناوب خیلی کم

باشد، سرعت حرکت نقطه نورانی آنقدر کم می شود که مسیر آن عملاً به صورت یک خط نورانی افقی دیده می شود.

زمان تناوب و در نتیجه سرعت حرکت الکترون نورانی را ، می توان بوسیله یک پیچ (سلکتور) که با علامت  $\text{emiT/vid}$  مشخص شده ، بطور دلخواه تغییر داد. مثلاً اگر این سلکتور بر روی عدد  $1\text{sm}$  قرار گیرد ، مبین آن است که نقطه نورانی هر یک سانتی متر را در  $1\text{sm}$  طی می کند.

اکنون در نظر می گیریم که یک ولتاژ  $\text{cd}$  به صفحات قائم القا شود. متناسب با این ولتاژ نقطه نورانی روی محور  $Y$  ها تغییر مکان می یابد. برای آنکه اندازه این تغییر مکان و در نتیجه ولتاژ اعمال شده تعیین شود ، لازم است رابطه بین تقسیم روی صفحه سلکتور و اسیلوسکوپ دامنه که در مقابل  $\text{tloV/vid}$  حرکت کند ، تعیین شود. هر یک از تقسیمات قائم صفحه برابر با هر  $1\text{ov}$  اندازه و ولتاژی است که سلکتور در مقابل آن قرار می گیرد. مثلاً اگر سلکتور دامنه روی  $10\text{Vlt/dvi}$  قرار گیرد ، هر یک از تقسیمات قائم برابر با  $10\text{V}$  ولت می باشد.

## روش اندازه گیری با اسیلوسکوپ:

چنانچه ولتاژ موج جاروب در داخل اسیلوسکوپ ایجاد گردد ،  $(\text{lanretnI swpee})$  به صفحات  $H$  و  $H'$  و یک موج سینوسی از طریق ورودی  $Y_{\text{tupni}}$  به صفحات  $V$  و  $V'$  داده شود ، چون حرکت نقطه نورانی در جهت محور  $X$  متناسب با زمان و حرکت آن در جهت محور  $Y$  متناسب با ولتاژ موج سینوسی خواهد بود ، جهت حرکت نقطه نورانی روی صفحه  $X\_Y$  مطابق شکل بصورت سینوس مشاهده می شود.

شکل (۱۰):

برای اندازه گیری  $V_m$  تعداد تقسیماتیکه (vid هایی که) دامنه موج را در بر می گیرد، در عددی که سلکتور  $tloV/vid$  در مقابل آن قرار دارد، ضرب می کنیم.

برای اندازه گیری زمان تناوب  $T$ ، تعداد تقسیماتی که یک دوره تناوب را در جهت محور  $X$  ها در بر می گیرد در عددی که در مقابل  $emiT/vid$  روی آن قرار دارد، ضرب می کنیم. برای حالت نشان داده شده در شکل (۱۰)، چنانچه سلکتور  $tloV/vid$  بر روی ۱۰ ولت و سلکتور  $emiT/vid$  بر روی  $1sm$  قرار داشته باشد، در این صورت اندازه دامنه و زمان تناوب برابر خواهد شد با:

$$دامنه = V_m = 2 \text{ div} \times 10 \text{ v/div} = 20 \text{ Volt}$$

$$زمان تناوب = T = 4 \text{ div} \times 1 \text{ ms/div} = 4 \text{ ms} \rightarrow f=1/T= 20 \text{ Hz.}$$

تذکر: بطوریکه در اندازه گیری ولتاژ دیده شد، اسیلوسکوپ فقط قادر به اندازه گیری دامنه  $V_m$  (و یا دامنه یک ولتاژ یعنی (پیک تو پیک) خواهد بود. لذا برای اندازه گیری مقدار مؤثر دامنه باید از فرمول زیر استفاده نمود.

بطوریکه می دانیم مقدار مؤثر هر تابع متناوب از رابطه زیر بدست می آید:

$$V_{rms} = V_e = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt} \quad (5)$$

بنابراین داریم:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_m^2 \sin^2(wt) dt}$$



یا

$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = (0.707)V_m$	(۶)
---	-----

### اندازه گیری اختلاف فاز در موج سینوس هم فرکانس:

برای اندازه گیری اختلاف فاز دو موج سینوسی با فرکانس برابر ، موج اول را به ورودی

X-input و دیگری را به ورودی Y-input داده و در حالیکه موج جاروب را قطع می کنیم ، اختلاف فاز

را مطابق آنچه که گفته خواهد شد ، از روی تصاویر لیسازو بدست می آوریم. قطع کردن موج جاروب معمولاً

بوسیله کلیدی که در اسیلوسکوپ ها تعبیه شده و می تواند در وضعیت Internal sweep و External

sweep قرار گیرد ، انجام می پذیرد. شکل (۱۱) این حالت را نشان می دهد.

### تصاویر لیسازو:

تصاویری هستند که در آن ها یک شکل موج بر حسب موج دیگری رسم می شود و متغیر زمان حذف شده است. بکمک این تصاویر می توان اختلاف فاز میان دو موج سینوسی هم فرکانس و فرکانس یک موج سینوسی را بدست آورد.

دو موج سینوسی  $x = x_0 \sin(\omega t)$  و  $y = y_1 \sin(\omega t + \varphi)$  را در نظر می گیریم. برای آنکه مسیر حرکت ذره ای که تحت تأثیر این دو موج قرار می گیرد بررسی کنیم ، حالت مختلفی را در نظر می گیریم:

الف): دو موج هم فاز باشند : ( $\varphi = 0$ )

$x = x_0 \sin(\omega t)$
$y = y_1 \sin(\omega t)$

پس:

$y = \frac{y_0}{x_0} x$	(v)
-------------------------	-----

که نشان دهنده یک خط راست است با این تفاوت که X و Y هر دو محدود هستند.

ب): دو موج دارای اختلاف فاز  $\frac{\pi}{2}$  هستند:  $\varphi = \frac{\pi}{2}$

$x = x_0 \sin(\omega t)$
--------------------------

$$y = y_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = y_0 \cos(\omega t)$$

با حذف  $t$  از دستگاه معادلات فوق رابطه زیر حاصل می شود :

$\left(\frac{x}{x_0}\right)^2 + \left(\frac{y}{y_0}\right)^2 = 1$	(۸)
---	-----

که نشان دهنده یک بیضی است که اقطار آن در امتداد محورهای  $X$  و  $Y$  می باشد ، در همین حالت اگر دامنه دو موج با هم برابر باشد ( $X_0 = Y_0 = a$ ) ، در این صورت تصویر حاصله یک دایره به شعاع  $a$  خواهد بود .

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

$x = x_0 \sin(\omega t)$
$y = y_0 \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = y_0 \cos(\omega t)$

در نتیجه خواهیم داشت:

$y = -\frac{y_0}{x_0}x$	(۹)
-------------------------	-----

که مبین یک پاره خط در ربع دوم و چهارم است.

در شکل (۱۳) تصاویر مختلف حاصله برای مقادیر معینی از  $\varphi$  نشان داده شده است:

اندازه گیری اختلاف فاز:

اکنون فرض می کنیم که دو موج دارای فرکانس برابر و اختلاف فاز آنها بین صفر تا  $\pi/2$  باشد، بطوریکه مشاهده

نمودیم تصویر حاصل از ترکیب دو موج یک بیضی مطابق شکل (۱۴) خواهد بود. این بیضی هنگامی محور  $y$  ها را

قطع می کند که:

$x = x_0 \sin wt = 0 \Rightarrow wt = k\pi$
$y = y_0 \sin(wt + \varphi) = y_0 \sin(k\pi + \varphi) = \pm y_0 \sin \varphi$

به این ترتیب داریم :

$y _{x=0} = y_0 \sin(\varphi)$	(۱۰)
--------------------------------	------

$\Rightarrow \varphi = \text{Arc sin}(\frac{y_{x=0}}{y_0})$	(۱۱)
---	------

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

$\varphi = \text{Arc sin}(\frac{a}{b})$	(۱۲)
---	------

تذکره: در اندازه گیری  $\varphi$  در حالت لیسائو نقطه نورانی بایستی در مبداء و وسط صفحه تنظیم شود.

اندازه گیری فرکانس موج مجهول:

اگر  $f_x$  فرکانس یک موج سینوسی  $X = x_0 \sin w_x t$  و  $f_y$  فرکانس موج سینوسی  $Y = y_0 \sin w_y t$  باشد، چنانچه موج  $x$  را به ورودی  $X$  و موج  $y$  را به ورودی  $Y$  نوسان نگار بدهیم، تصاویری حاصل می شود. که در جهت محورهای مختصات دارای ماکزیمم هایی خواهد بود.

همواره نسبت  $f_y$  به  $f_x$  برابر با نسبت تعداد نقاط ماکزیمم در امتداد محور افقی ( $N_H$ ) به تعداد نقاط ماکزیمم در جهت محور قائم ( $N_V$ ) می باشد.

$\frac{f_y}{f_x} = \frac{N_H}{N_V}$	(۱۳)
-------------------------------------	------

مثال: فرض کنیم که تصویر لیسائو در شکل های زیر از دو موج ولتاژ  $x, y$  با فرکانس های برابر  $f_x$  و  $f_y$  در نوسان نگار حاصل گردیده است. با توجه به فرمول های فوق فرکانس  $f_y$  بر حسب  $f_x$  در زیر شکل ها نوشته شده است.

اندازه گیری با نوسان نگار (اسیلوسکوپ):

وسایل لازم:

نوسان نگار یک عدد.

نوسان ساز دو عدد.

ولت متر AC یک عدد.

### ۱-۱: اندازه گیری دامنه و زمان تناوب یک موج سینوسی:

الف - با نوسان ساز یک موج سینوسی با فرکانس  $500\text{ Hz}$  و ولتاژ مؤثر نیم ولت ایجاد کنید. (این ولتاژ مؤثر را با ولت متر اندازه بگیرید و مطمئن شوید که ولتاژ مؤثر  $0.5$  ولت است.) خروجی نوسان ساز را به ورودی کانال ۱ نوسان نگار متصل نمایید ، و با تنظیم نوسان نگار ، موج سینوسی را در وضعیت ثابت و مناسبی بر روی صفحه تنظیم کنید. حال از روی این موج ، مقدار دامنه ولتاژ (و در نتیجه مقدار مؤثر ) ، و زمان تناوب ( و در نتیجه فرکانس ) این موج را اندازه بگیرید و آن را با مقادیری که ولت متر و نوسان ساز نشان می دهد ، مقایسه کنید.

آزمایش فوق را برای فرکانس های داده شده در جدول زیر تکرار نمایید.

شماره	F(khz)	$V_{rms}$ اندازه گیری شده با ولت‌متر	$V_{p-p}$ اندازه گیری شده با نوسان نگار	$V_{rms}$ محاسبه شده	F اندازه گیری
۱	۱	۱	۱.۵	۱.۰۶	۱
۲	۲	۱.۴	۲.۰۵	۱.۴۴	۲
۳	۳	۲.۸	۴.۶		
۴	۵	۳.۵			

ب - در حالیکه موج سینوسی با فرکانس ۵۰۰ Hz و ولتاژ ۰.۵ V به کانال های ۱ و ۲ متصل است.

سلکتور T/div را روی X via Y قرار دهید. تصویر حاصله را رسم نموده و علت آن را توضیح دهید.

۱-۲: اندازه گیری فرکانس مجهول \_ تصاویر لیسازو :

با نوسان سازهایی که در اختیار دارید ، دو ولتاژ هم دامنه با دامنه ماکزیمم یک ولت ایجاد کنید ، یکی را به ورودی ۱ و دیگری را به ورودی ۲ متصل نموده و تصاویر لیسازو را در تمام حالت های جدول (۴) مشاهده و رسم نمایید. دقت داشته باشید که در تمام حالت ها دامنه دو موج سینوسی همواره ثابت بماند.

$f_x (Hz)$ (1)	۵۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۵۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰
-------------------	----	-----	-----	-----	------	------

$f_y (Hz)$ (2)	۵۰	۵۰	۳۰۰	۵۰۰	۲۰۰	۱۰۰۰
-------------------	----	----	-----	-----	-----	------

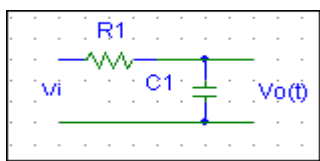
سئوالات:

- ۱- چنانچه ولتاژ دو سر خازنی ثابت باشد ، این خازن بمنزله چه مداری عمل می کند؟  
اگر ولتاژ دو سر خازن بطور ناگهانی تغییر کند ، خازن به منزله چه مداری عمل می کند؟چرا؟
- ۲- چنانچه شدت جریان یک خود القاء ثابت باشد ، این خود القاء به منزله چه مداری عمل می کند؟  
اگر شدت جریان در خود القاء بطور ناگهانی تغییر کند ، خودالقاء بمنزله چه مداری عمل می کند؟چرا؟
- ۳- در یک نوسان نگار ، هدف از کلید دو وضعیتی Ext , Int چیست؟
- ۴- روی صفحه نوسان نگار تصویر یک بیضی مشاهده می شود ، اختلاف فاز موج های سینوسی وارده رابر حسب محل تلاقی بیضی با محور افقی چگونه تغییر می کند؟در صورتی که از رابطه ای استفاده می کنید آن را اثبات کنید؟
- ۵- درستی رابطه (۱۳) را نشان دهید؟  
$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{N_H}{N_V}$$
- ۶- آیا بر روی صفحه نوسان نگار تصاویر غیر بسته لی ساژو نیز ظاهر می شود؟توضیح دهید؟
- ۷- در ورودی نوسان نگارها ، معمولاً اندازه یک مقاومت و یک خازن قید می شود. منظور از این عدد چیست؟و چرا اندازه مقاومت معمولاً حدود  $M\Omega$  است؟
- ۸- در خروجی نوسان سازها معمولاً اندازه مقاومتی ذکر می شود، منظور از آن چیست؟کم یا زیاد بودن این مقاومت چه مزیت و یا معایبی می تواند داشته باشد؟
- ۹- بدون منحنی لیسازو ، اختلاف فاز بین دو شکل موج سینوسی را چگونه اندازه می گیرید؟  
در صورتی که از رابطه ای استفاده می کنید آن را اثبات نمائید.

## پاسخ فرکانسی مدارهای :

### ۱-۲) فیلتر پائین گذر:

شکل (۱۸) مدار سری R و C را نشان می دهد. هنگامیکه یک موج سینوسی با دامنه ثابت  $V_{im}$  و فرکانس متغیر  $f$  به دو سر ورودی این مدار اعمال می شود ، ولتاژ خروجی ( یا پاسخ مدار ) نیز موجی سینوسی ولی با دامنه و فازی متفاوت با ولتاژ ورودی خواهد بود ، و بطور کلی تابعی از فرکانس موج ورودی خواهد بود. بنابراین اگر ولتاژ ورودی بصورت :



شکل (۱۸)

$V_i = V_{im} \sin \omega t = V_{ie} > 0$	(۱۴)
---	------

باشد ، می توان ولتاژ خروجی را بصورت زیر نوشت:

$V_0 = V_{0m} \sin(\omega t + \phi) = V_{oe} - \Phi^0$	(۱۵)
--	------

نسبت ولتاژ خروجی به ورودی تابعی از فرکانس بوده و به "تابع پاسخ فرکانسی"<sup>۱</sup> یا "تابع انتقال"<sup>۲</sup> موسوم بوده و با رابطه زیر نشان داده می شود:

$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \left  \frac{V_o}{V_i} \right  \angle \phi^0$	(۱۶)
--	------

بطوری که خواهیم دید،  $\left| \frac{V_o}{V_i} \right|$  و  $\phi$  تابع فرکانس  $f$  خواهد بود. منحنی نمایش تغییرات  $\left| \frac{V_o}{V_i} \right|$  نسبت به فرکانس به "مشخصه پاسخ دامنه" و منحنی تغییرات  $\phi$  نسبت به فرکانس به "مشخصه پاسخ فاز" موسوم است.

اکنون مدار RC شکل (۱۸) را در نظر می گیریم. تابع پاسخ فرکانسی برای این مدار بصورت زیر تعیین می شود:

$$V_o = \left(-\frac{1}{JWC}\right)I \quad \text{و} \quad V_i = \left(R + \frac{1}{JWC}\right)I$$

و در نتیجه خواهیم داشت:

$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + JWRC} =  A_v  \angle \phi$	(۱۷)
--	------

که در آن :

$ A_v  = \left  \frac{V_o}{V_i} \right  = \frac{1}{\sqrt{1 + (WRC)^2}}$	(۱۸)
---	------

<sup>۱</sup>-Frequency Response Function  
<sup>۲</sup>- Transfer Function

$\varphi = \text{Arc tan}(-WRC)$	(۱۹)
----------------------------------	------

رابط (۱۸) نشان می دهد که در فرکانس های پائین ، وقتی که  $WRC \ll 1$  است ،  $\left| \frac{V_0}{V_i} \right| \approx 1$  خواهد بود. همچنین در

فرکانس های بالا ، وقتی که  $WRC \gg 1$  می باشد ،  $\left| \frac{V_0}{V_i} \right| \approx 0$  است. مدار RC فوق که ولتاژهای با فرکانس پائین را

از خود عبور می دهد و ولتاژ های با فرکانس بالا را بشدت تضعیف می نماید ، به "فیلتر پائین گذر"<sup>۱</sup> موسوم است.

خاصیت دیگر این مدار ، اختلاف فازی است که بین ولتاژ خروجی و ولتاژ ورودی ایجاد می نماید. بطوریکه از

رابطه (۱۹) بر می آید ، در فرکانس های پائین ،  $\varphi = 0^\circ$  بوده و در فرکانس های بالا  $\varphi = 90^\circ$  خواهد بود.

### فرکانس قطع یا فرکانس نصف قدرت:

فرکانس قطع یا فرکانس نصف قدرت که با  $F_c$  نشان داده می شود ، فرکانسی است که صافی پائین گذر ،

فرکانس های بالاتر از آن را بشدت تضعیف می کند و در این فرکانس ، اندازه توان خروجی به  $1/2$  ماکزیمم توان

خروجی می رسد. (در این مدار ولتاژ خروجی به  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  ولتاژ ورودی در فرکانس عبوری کاهش می یابد) بنابراین

فرکانس قطع برابر است با:

$\left  \frac{V_0}{V_i} \right  = \frac{1}{\sqrt{1+(WRC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow F_c = \frac{1}{2\pi RC}$	(۲۰)
--	------

<sup>۱</sup>-Low pass Filter

## انتگرال گیر RC :

چنانچه مقادیر  $R$  و  $C$  طوری انتخاب شوند که  $WRC \gg 1$  باشد ، بطوریکه دیده ایم در فرکانسهای بزرگتر از

$F_C$ ، اندازه  $V_0$  بسیار کوچک و تقریباً برابر صفر است. در این صورت با توجه به شکل (۱۸) می توان نوشت:

$V_i(t) = Ri(t) + V_0(t) \approx Ri(t) = Rc \frac{dV_0(t)}{dt}$ $V_0(t) = \frac{1}{RC} \int V_i(t) dt$	(۲۱)
--	------

رابطه ۲۱ نشان می دهد که ولتاژ خروجی ، انتگرال (تابع اولیه) ولتاژ ورودی است. لذا تحت شرایط  $WRC \gg 1$ ،

مدار فوق را یک انتگرال گیر می نامند.

طریقه آزمایش:

وسایل لازم: نوسان نگار - نوسان ساز.

## الف) صافی پائین گذر :

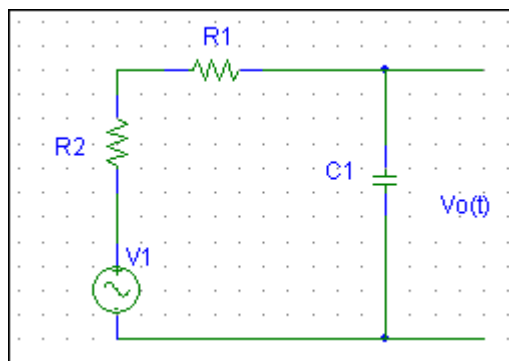
۱- با استفاده از مقاومت  $R=10 \text{ k}\Omega$  و  $C=0.1 \text{ }\mu\text{F}$ ، مداری مطابق شکل ۱۹ بسازید. بوسیله نوسان ساز یک

موج سینوسی با مقدار پیک ۲ ولت ( $|V_i| = 2$ ) به مدار اعمال نمائید و با فرکانس هایی که در جدول (A) قید

شده (۱) ، مقدار ولتاژ خروجی را بوسیله نوسان نگار اندازه گرفته و در جدول مربوطه یادداشت کنید. دقت

داشته باشید که هنگامیکه فرکانس نوسان ساز را تغییر می دهید ، ولتاژ ورودی تغییر نکند و همواره روی ۲ ولت پیک ثابت بماند.

برای هر یک از فرکانس های جدول (A) ، اختلاف فاز ( $\phi$ )، بین موج ورودی و خروجی را با نوسان نگار اندازه گیری نمائید.



شکل (۱۹)

۲- یک مقاومت  $56K\Omega$  را بصورت موازی با C در مدار قرار دهید و آزمایش قبل را تکرار نمائید و جدول (B) را تکمیل نمائید. مقاومت  $56k\Omega$  را می توان یکبار مصرفی و یا امپدانس ورودی مدار بعدی که به صافی اتصال می یابد ، در نظر گرفت و اثر بار را بر روی صافی ملاحظه نمود.

### ب- مدار انتگرال گیر :

مدار پائین گذر را با مقاومت R و خازن  $C=0.1\mu F$  تشکیل دهید . نوسان ساز را به ورودی مدار متصل نموده و یک موج مربعی با دامنه  $V_{p-p} 4$  به مدار اعمال نمائید و پاسخ مدار را بوسیله نوسان نگار مشاهده نمائید. فرکانس موج ورودی را در حدود 100 Hz انتخاب نمائید . با استفاده از مقاومت های  $10 K\Omega$  ،  $6.8 K\Omega$  ،  $150K\Omega$  ،  $22K\Omega$  ، بجای R ، شکل موج خروجی را در هر حالت اخیر مشاهده و بدقت (دامنه و زمانهای کاملاً مشخص باشد) رسم نمائید. به جای موج مربعی در حالت اخیر یک موج سینوسی با دامنه  $V_{p-p} 4$  به مدار اعمال

کنید (R=150 KΩ) به فاز ولتاژ خروجی نسبت به ورودی توجه کنید. این اختلاف فاز را چگونه توجیه می کنید؟

## ۲-۲: فیلتر بالا گذر:

شکل (۲۰) را که از اتصال سری خازن و سلف بدست آمده در نظر بگیرید. تابع پاسخ فرکانس برای این مدار عبارت است از:

$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{JWRC}{1 + JWRC}$	(۲۲)
---	------

$ A_v  = \left  \frac{V_o}{V_i} \right  = \frac{WRC}{\sqrt{1 + (WRC)^2}}$	(۲۳)
---	------

$\varphi = \text{Arc tan}\left(\frac{1}{WRC}\right)$	(۲۴)
--	------

در فرکانس های بالا ، وقتی که  $WRC \gg 1$  است ، خواهیم داشت:  $\varphi \approx 0^\circ$  و  $\left| \frac{V_0}{V_i} \right| \approx 1$  و وقتی که  $WRC \ll 1$  باشد

،  $\varphi \approx 90^\circ$  و  $\left| \frac{V_0}{V_i} \right| \approx 0$  و به این ترتیب مدار فوق ، که فرکانس های بالا را از خود عبور می دهد، به صافی بالاگذر<sup>۱</sup>

موسوم است. در این حالت نیز فرکانس قطع جایی است که ولتاژ خروجی به  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  برابر ولتاژ ورودی در فرکانس

عبور کاهش می یابد، بنابراین داریم:

$\left  \frac{V_0}{V_i} \right  = \frac{WRC}{1 + (WRC)^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow F_c = \frac{1}{2\pi RC}$	(۲۵)
---	------

مشتق گیر RC:

اگر مقادیر R, C طوری انتخاب شوند که  $WRC \ll 1$  باشد ، در این صورت  $V_0$  در فرکانس های کوچکتر از  $F_c$  ، بسیار کوچکتر از  $V_i$  (تقریباً صفر) خواهد بود. و در این حالت می توان نوشت :

$V_i(t) = \frac{1}{C} \int i dt + V_0(t) \approx \frac{1}{C} \int \frac{V_0(t)}{R} dt$
--

$\Rightarrow V_0(t) = RC \frac{dV_i(t)}{dt}$	(۲۶)
--	------

<sup>۱</sup>-High pass Filter

رابطه (۲۶) نشان می دهد که تحت شرایط یادشده ، ولتاژ خروجی مشتق ولتاژ ورودی است. بنابراین تحت شرایط مدار RC را یک مشتق گیر می نامند.

طریقه آزمایش:

وسایل لازم: نوسان نگار ، نوسان ساز.

### الف – صافی بالا گذر RC:

۱ – با استفاده از  $R=10K\Omega$  و  $C=0.1\mu F$  ، مدار بالا گذری بسازید. ی ا موج سینوسی با ولتاژ پیک ۲ ولت به مدار اعمال نموده و برای فرکانس های داده شده در جدول (C) ، مقدار ولتاژ خروجی و اختلاف فاز را اندازه گیری نمایید. دقت داشته باشید که هنگامی که فرکانس نوسان ساز را تغییر می دهید ، ولتاژ ورودی تغییر نکند و همواره روی ۲ ولت پیک ثابت بماند.

۲ – یک مقاومت  $56K\Omega$  در مدار قرار دهید و آزمایش قبل را تکرار کنید و جدول (D) را تکمیل نمایید.

### ب – مدار مشتق گیر RC:

مدار بالا گذر را با مقاومت R و خازن  $C=0.1\mu F$  ساخته و یک موج مربعی با دامنه  $V_{p-p}$  ۴ و فرکانس حدود 100Hz انتخاب نموده و به مدار اعمال کنید.

با استفاده از مقاومت های  $15K\Omega$  ،  $10K\Omega$  ،  $2.2K\Omega$  (بجای R) شکل موج خروجی را در هر حالت مشاهده و

بدقت (دامنه و زمانها کاملاً مشخص باشد) رسم نمایید. به جای مربعی در حالت اخیر یک موج سینوسی با دامنه

$4V_{p-p}$  به مدار اعمال کنید ( $R=2.2K\Omega$ ) ، به فاز ولتاژ خروجی نسبت به ورودی توجه کنید.

این اختلاف فاز را چگونه توجیه می کنید؟

### ۲-۳) فیلتر میان گذر:

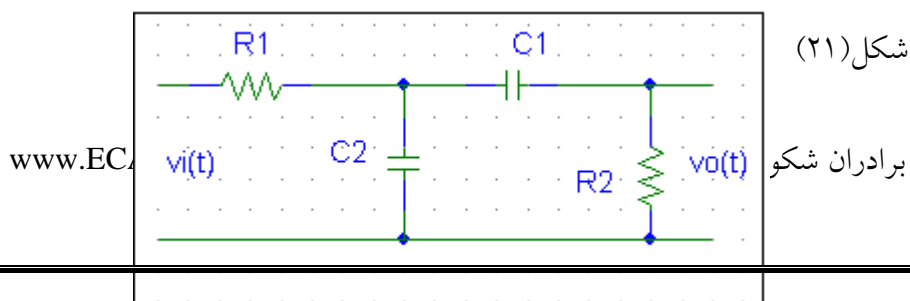
شکل (۲۱) ترکیب دو فیلتر پائین گذر شکل (۱۸) و بالا گذر شکل (۲۰) را بطور سری نشان می دهد. تابع پاسخ

فرکانسی برای این مدار عبارت است از:

$A_v = \frac{V_0}{V_i} = \frac{JWRC}{1 + 3JWRC - (WRC)^2}$	(۲۷)
--	------

$ A_v  = \left  \frac{V_0}{V_i} \right  = \frac{WRC}{\sqrt{(1 - W^2 R^2 C^2)^2 + 9W^2 R^2 C^2}}$	(۲۸)
--	------

$\varphi = 90^\circ - \text{Arc tan} \frac{3WRC}{1 - W^2 R^2 C^2}$	(۲۹)
--	------



در فرکانس های بالا ( $WRC \gg 1$ ) و همچنین در فرکانس های پائین ( $WRC \ll 1$ ) خواهیم داشت:  $\left| \frac{V_0}{V_i} \right| \approx 0$  لذا

خروجی در بعضی فرکانس های میانی به ماکزیمم مقدار خود خواهد رسید و با تغییر فرکانس به صورت صعودی یا نزولی خروجی کاهش خواهد یافت. لذا این مدار به صافی میان گذر موسوم است.

فرکانسی که در آن خروجی به ماکزیمم خود می رسد ، فرکانس مرکزی<sup>۱</sup> نامیده یا میانی می نامند و با  $f_0$  نشان

می دهند. اختلاف بین دو فرکانس که در آن ها خروجی به  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  برابر ماکزیمم خودش می رسد ، پهنای باند<sup>۱</sup> نامیده

می شود. (در این دو فرکانس ، توان در خروجی  $\frac{1}{2}$  توان ماکزیمم در خروجی است).

محاسبه فرکانس مرکزی ( $F_0$ ):

$\frac{d A_v }{dw} = 0 \Rightarrow W = \frac{1}{RC} \Rightarrow F_0 = \frac{1}{2\pi RC}$	$(30)$
--	--------

$A_v(f_0) = \frac{J}{1+3J-1} \Rightarrow A_v(f_0) = \frac{1}{3}$	$(31)$
--	--------

<sup>۱</sup>-Central frequency

$ A_v  = \frac{1}{3\sqrt{2}} \Rightarrow R^4 C^4 W^4 - 11R^2 C^2 W^2 + 1 = 0 \quad (32)$	
--	--

$Bw = f_1 - f_2$	$f_1 = \frac{W_1}{2\pi}$	$f_2 = \frac{W_2}{2\pi}$
------------------	--------------------------	--------------------------

(  $W_1$  و  $W_2$  ریشه های مثبت معادله (32) هستند.)

$(W_1 - W_2)^2 = W_1^2 + W_2^2 - 2W_1W_2 = \frac{11}{R^2 C^2} - 2 \cdot \frac{1}{R^2 C^2} \Rightarrow W_1 - W_2 = \frac{3}{RC}$
---

$Bw = \frac{3}{2\pi RC}$	$(33)$
--------------------------	--------

---

<sup>1</sup>-Band Width

$W_1 = \frac{3.3}{RC}$	(۳۴)
------------------------	------

$W_2 \approx \frac{0.3}{RC}$	(۳۵)
------------------------------	------

طریقه آزمایش:

وسایل لازم: نوسان نگار ، نوسان ساز .

### الف - صافی میان گذر RC:

با استفاده از  $R=10K\Omega$  و  $C=0.1\mu F$  ، مدار میان گذری بسازید . یک موج سینوسی با ولتاژ پیک ۲ ولت به مدار اعمال نموده و برای فرکانس های داده شده در جدول (E) ، مقدار ولتاژ خروجی و اختلاف فاز را اندازه گیری کنید. دقت داشته باشید که هنگامی که فرکانس نوسان ساز را تغییر می دهید ، ولتاژ ورودی تغییر نکند و همواره روی ۲ ولت پیک ثابت بماند .

ب - مدار میان گذر در فرکانس های خیلی بالا و خیلی پایین :

به مدار میان گذر ساخته شده در قسمت (الف) موج مربعی با دامنه  $V_{p-p}$  ۴ اعمال نمایید ، شکل ولتاژ خروجی را برای فرکانس های 30Hz و 150Hz و 2KHz رسم نمایید . شکل ولتاژ خروجی را چگونه توجیه می نمائید؟

فرکانس $f$ بر حسب Hz	$V_0$ اندازه گیری شده	$\phi$ اندازه گیری شده بر حسب $deg^0$	$V_0$ محاسبه شده	$\phi$ محاسبه شده
۲۰	۱.۸	۶.۳۷		
۵۰	۱.۸	۶.۱۵		
۱۰۰	۱.۶	۱۹.۴۷		
۱۵۰	۱.۴	۱۸.۵۵		
۲۵۰	۱	۲۰.۹۲		
۵۰۰	۰.۶۸	۲۷.۰۳		
۱۰۰۰	۰.۳۴	۲۹.۱۹		
۳۰۰۰	۰.۱۲۵	۳۸.۶۸		
۱۰۰۰۰	۰.۰۳۵	۳۰		

جدول ۵: نمونه جداول A,B,C,D

فرکانس f	اندازه گیری شده	اندازه گیری شده	$V_0$ محاسبه شده	$\phi$ محاسبه شده
10Hz	۱.۲	۴۰'		
25Hz	۰.۲۸	۷۴'		
50Hz	۰.۴۵	۵۲'		

100Hz	۰.۶	۲۷'		
150Hz	۰.۶۳	۱۴'		
200Hz	۰.۶۳	۱۸'		
500Hz	۰.۴۶	۵۱'		
1000Hz	۰.۲۸	۶۸'		
2000Hz	۰.۱۶	۶۱'		

جدول ۶: نمونه جدول E

### سئوالات :

- ۱- مشخصه پاسخ دامنه و پاسخ فاز را برای هر یک از جداول A و B و C و D و E رسم کنید ؟
- ۲- برای هر یک از جداول A و C مقادیر  $|V_0|$  و  $\phi$  را محاسبه نموده و علت اختلاف آنها را با مقادیر اندازه گیری شده کاملاً توضیح دهید ؟
- ۳- مقاومت داخلی نوسان سازه در شکل (19) ، چه تأثیری بر روی پاسخ مدار و فرکانس قطع دارد ؟ و مقدار  $F_c$  و  $\left| \frac{V_0}{V_g} \right|$  برای فرکانس عبور بر حسب R و C و  $R_g$  چیست ؟
- ۴- اختلاف بین جداولهای A و B چیست ؟
- ۵- بر اساس داده های مدار انتگرال گیر RC ، و نیز آزمایشی که انجام داده اید ، چه مقدار از  $T_{RC}^T$  زمان تناوب موج مربعی ( برای انتگرال گیری مناسب تراست ؟

۶- برای یک مدار صافی بالا گذر با  $R=100k\Omega$  و  $C=0.1\mu F$ ، چنانچه از یک نوسان نگار با امپدانس ورودی

$1M\Omega$  برای دیدن پاسخ مدار استفاده شود، چه اثری پدید می آید ؟

۷- در مدار مشتق گیر شکل (۲۰)، اگر یک موج مربعی با فرکانس  $10kHz$  اعمال شود، با داشتن چه

مقداری از  $C$  برای داشتن پالسهای بار یک در خروجی کافی است ؟

۸- در حالتی که به یک مدار بالاگذر یک موج مربعی اعمال نموده اید، وجود جهش در ولتاژ خروجی را چگونه

توجیه می کنید، در حالیکه در یک مدار پائین گذر با اعمال یک موج مربعی در خروجی جهش وجود ندارد ؟

۹- آیا می توان از یک فیلتر میان گذر بعنوان یک مدار انتگرال گیر یا مشتق گیر استفاده نمود ؟ در صورت امکان

محدوده ای از فرکانس را تعیین کنید که چنین عملی صورت گیرد ؟

۱۰- وجود یک مقاومت بار ( $R_L$ ) در فرکانس میانی و پهنای باند چطور اثر دارد ؟

۱۱- اگر در فیلتر میان گذر شکل (۲۱) جای دو طبقه پائین گذر و بالا گذر عوض شود، در مشخصه پاسخ دامنه و

فاز اثر خواهد داشت ؟

آزمایشگاه اندازه گیری و مدار

پاسخ فرکانس مدارهای RLC

### ۳-۱: مدار RLC سری

مقدمه :

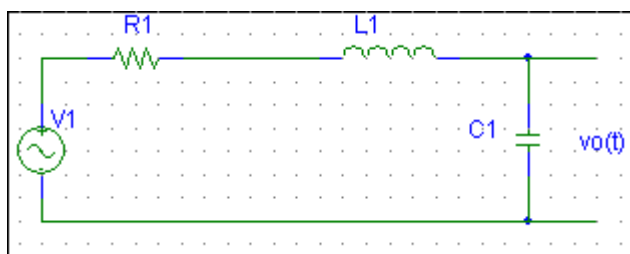
مدار RLC را می توان برای نمایش هر نوع ۷ شبکه بکار برد : زیرا کلیه شبکه ها ترکیبی از مقاومت، خازن و

القاهر می باشند . ترکیب سری یا موازی اجزاء  $R$ ،  $L$ ،  $C$ ، اصولاً دارای یک پاسخ طبیعی یا فرکانس طبیعی معینی

می باشد . هنگامیکه این مدارها با یک منبع سینوسی که فرکانس آن برابر و یا نزدیک به فرکانس طبیعی مدار است ، تحریک می شود ، اثر جالبی از آنها بروز می کند که به تشدید موسوم است . در این آزمایش مدار تشدید سری RLC را مورد بررسی قرار می دهیم :

## ۱- خروجی : ولتاژ خازن :

شکل (۲۲) ، مدار سری RLC را نشان می دهد که خروجی از دو سر خازن گرفته شده است . هنگامیکه فرکانس نوسان ساز تغییر می کند و ولتاژ آن ثابت می ماند ، پاسخ مدار و یا جریان  $I$  تغییر می کند . امپدانس مدار که از دو سر منبع دیده می شود برابر است با :



شکل (۲۲)

$Z = R_t + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$	(۳۶)
---	------

که در آن  $R_t = R_g + R$  مقاومت کل مدار است .

بررسی رابطه (۳۶) نشان می دهد که در فرکانس :

$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	(۳۷)
--	------

امپدانس مدار به حداقل مقدار خود یعنی  $Z = Z_s = R_t$  کاهش می یابد . بدیهی است که در این فرکانس ، جریان

مدار ماکزیمم خواهد بود و مقدار آن برابر است با :

$I = I_s = \frac{V_g}{V_t}$	(۳۸)
-----------------------------	------

فرکانس  $f_s$  که در آن مدار شکل (۲۲) بصورت یا مقاومت خالص در می آید . به فرکانس تشدید موسوم است ،

نکته جالب در فرکانس تشدید ، روابط بین ولتاژ دو سر خازن و دو سر القاگر با ولتاژ منبع است که عبارتند از :

$ V_{cs}  = \frac{1}{W_s C} I_s = \frac{1}{W_s C} \cdot \frac{V_g}{R_t} = Q_s V_g$	(۳۹)
--	------

$ V_{LS}  = W_s L I_s = W_s L \cdot \frac{V_g}{R_t} = Q_s V_g$	(۴۰)
--	------

که در آن

$Q_s = \frac{1}{W_s C R_t} = \frac{L W_s}{R_t}$	(۴۱)
---	------

، ضریب کیفیت مدار سری در فرکانس تشدید است . روابط (۳۹) و (۴۰) نشان می دهند که ولتاژ دو سر خازن و

سلف در فرکانس تشدید برابر هستند (دامنه) و در صورتیکه  $Q_s > 1$  باشد ( که غالبا چنین است ) ، ولتاژ دو سر

خازن و سلف  $Q_s$  برابر ولتاژ منبع است ، به این ترتیب مدار فوق بصورت یک تقویت کننده ولتاژ عمل می کند .

**مشخصه پاسخ فرکانس :**

با توجه به مدار شکل (۲۲) خواهیم داشت :

$A_V = \frac{V_0}{V_g} = \frac{1}{1 - LCW^2 + JR_t CW}$	(۴۲)
---	------

$ A_V  = \frac{1}{\sqrt{(1 - LCW^2) + R_t^2 C^2 W^2}}$	(۴۳)
--	------

$\varphi = \text{Arc tan}\left(\frac{R_t CW}{LCW^2 - 1}\right)$	(۴۴)
---	------

در فرکانس بسیار پایین  $|A_V| \approx 1$  و  $\varphi = 0$  می باشند که همانطور که قبلا گفت شد در صورتیکه  $Q_s > 1$  باشد ، مدار بصورت یک تقویت کننده عمل می نماید . لذا در فرکانس مشخص باید ولتاژ خازن به ماکزیمم مقدار برسد . برای محاسبه مقدار ماکزیمم ولتاژ خازن از  $|A_V|$  نسبت به  $W$  مشتق می گیریم :

$ A_V ' = \frac{d A_V }{dW} = 0 \Rightarrow W_1 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R_t^2}{2L^2}} \Rightarrow F_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R_t^2}{2L^2}}$	(۴۵)
---	------

$F_1 < F_s$	(۴۶)
-------------	------

$ A_v  = \frac{Q_s}{\sqrt{1 - \frac{R_t^2}{4L}}}$	(۴۷)
---	------

شرط ۱  $Q_s > 1$ ،  $R_t < \frac{L}{C}$  (۴۸) است ولی شرط وجود نقطه ماکزیمم برای ولتاژ خازن (۴۹)  $R_t < \frac{2L}{C}$  می باشد .

مشخصه پاسخ دامنه برای ولتاژ خازن بصورت یک فیلتر پائین گذر می باشد و در بعضی حالتها که شرط (۴۹)

صدق می کند دارای یک ماکزیمم نیز خواهد بود ( مطابق شکل ۲۳) .

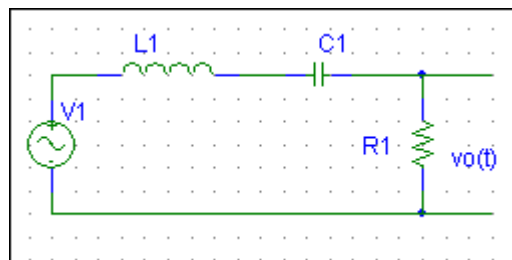
شکل (۲۳) :

## ۲- خروجی : ولتاژ مقاومت :

معمولاً منظور از پاسخ مدار RLC سری ، ولتاژ دو سر مقاومت است . شکل (۲۴) را در نظر بگیرید : پاسخ

فرکانسی مدار عبارتست از :

( در محاسبات زیر مقامت  $R_g$  در نظر گرفته نشده است )



شکل (۲۴)

$A_v = \frac{V_0}{V_i} = \frac{R}{R + J(WL - \frac{1}{WC})}$	(۵۰)
--	------

که می توان ان را بصورت زیر نوشت :

$A_v = \frac{1}{1 + JQ(\frac{W}{W_s} - \frac{W_s}{W})} =  A_v  = \varphi$	(۵۱)
---	------

بطوریکه :

$ A_v  = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2_s(\frac{W}{W_s} - \frac{W_s}{W})^2}}$	(۵۳)
---	------

رابطه (۵۲) نشان می دهد که وقتی که فرکانس منبع برابر  $W = W_s$  باشد ،  $\left| \frac{V_0}{V_i} \right| = 1$  است و برای فرکانس  $W_s$  ،

$W_1$  ،  $W_2$  ، با فرض  $Q_s > 1$  ولتاژ خروجی تقریباً صفر است .  $\left| \frac{V_0}{V_i} \right| \approx 0$  . شکل (۲۵) منحنی نمایش پاسخ دامنه را

نشان می دهد . نقاط  $W_1$  و  $W_2$  در این شکل حائز اهمیت زیادی هستند . نقاط  $W_1$  و  $W_2$  به فرکانس های نصف

قدرت یا فرکانس قطع موسومند (فرکانسهاییکه در آنها ولتاژ خروجی به ولتاژ ماکزیمم خود ( $V_i$ ) می رسد) .

تفاضل به عرض باند موسوم است که به  $BW$  نشان داده می شود . برای فرکانسهای نزدیک به فرکانس تشدید ،

می توان نشان داد که :

$BW = W_2 - W_1 \approx \frac{W_s}{Q_s} = \frac{R}{L}$	(۵۴)
--	------

(شکل ۲۵)

به این ترتیب مدار سری RLC، که فرکانسهای میانی  $w_1$  تا  $w_2$  را براحتی از خود عبور داده و فرکانسهای دیگر را بشدت تضعیف می کند. به صافی میان گذر موسوم است. رابطه (۵۳) نیز بیان می کند که برای  $w = w_s$ ، اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و ولتاژ خروجی صفر ( $\phi = 0$ ) و برای  $w \ll w_s$ ،  $\phi \approx \pi/2$  و برای

$$w \gg w_s, \quad \phi = -\frac{\pi}{2} \text{ است.}$$

شکل (۲۶)، پاسخ فاز این مدار را نشان می دهد.

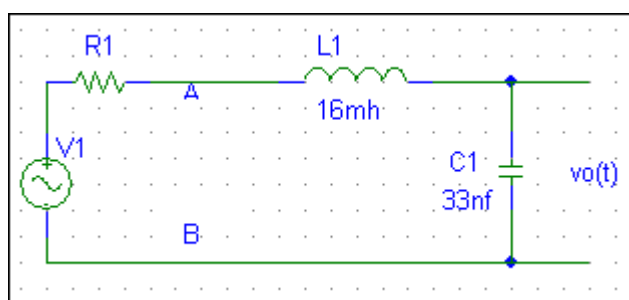
شکل (۲۶)

روش آزمایش:

وسایل لازم: نوسان نگار. نوسان ساز

۱- پاسخ فرکانسی از دو سر خازن: (از نوسان ساز با آمبولانس زیاد استفاده کنید.)

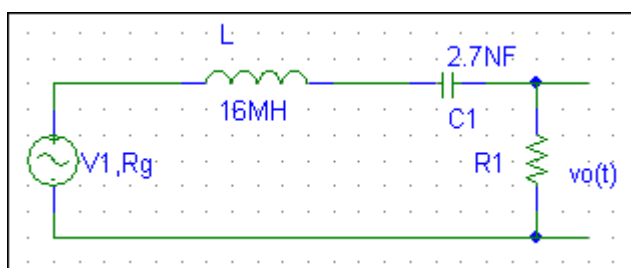
مداری مطابق شکل (۲۷) ساخته و یک موج سینوس با مقدار پیک  $4V_{P-P}$  به آن اعمال کنید.



حالا فرکانس منبع را تغییر داده تا جریان مدار ماکزیمم گردد. در این حالت (حالت تشدید) مدار مقاومتی بوده و اگر سلف  $L$  ایده ال باشد ولتاژ دو سر  $AB$  صفر خواهد شد. لذا چون در عمل سلف ایده ال نیست، ماکزیمم جریان با می نیمم شدن ولتاژ دو سر  $AB$  حاصل می گردد. فرکانس تشدید را با اسیلوسکوپ اندازه گیری نموده و در جدول A مقابل  $f_s$  قرار دهید. برای یافتن  $V_{cmax}$  می توانید با تغییر فرکانس منبع هر وقت خروجی ماکزیمم شد آن را یادداشت نمائید. سپس با فرکانسهای مشخص شده در جدول آزمایش را ادامه دهید. برای هر فرکانس در جدول A، اختلاف فاز بین  $V_0$  و  $V_g$  ( $\phi$ ) را اندازه گیری نموده و در جدول یادداشت نمائید. با اندازه گیری ولتاژ دو سر خازن و القاگر در فرکانس تشدید ( $f_s$ ) درستی روابط (۳۹) و (۴۰) را تحقیق نمائید.

۲- اثر تغییر مقاومت مدار بر روی  $Q_s$ : (از نوسان ساز با امپدانس کم استفاده کنید)

اکنون مداری مطابق شکل (۲۸) با  $R=1.2K\Omega$  بسازید. در این حالت فرکانس تشدید با ماکزیمم شدن  $V_R$  بدست می آید. پس از تعیین فرکانس تشدید، ولتاژ  $V_R$  را به ازای فرکانسهای جدول B اندازه گیری و ثبت نمائید. مجدداً با تغییر  $R$  به  $1.5K\Omega$  و  $1/8 K\Omega$ ، اندازه گیری ها را تکرار و جدول B را پر کنید. ( دامنه ورودی ۲ ولت پیک است،  $4V_{p-p}$  ).



شکل (۲۸)

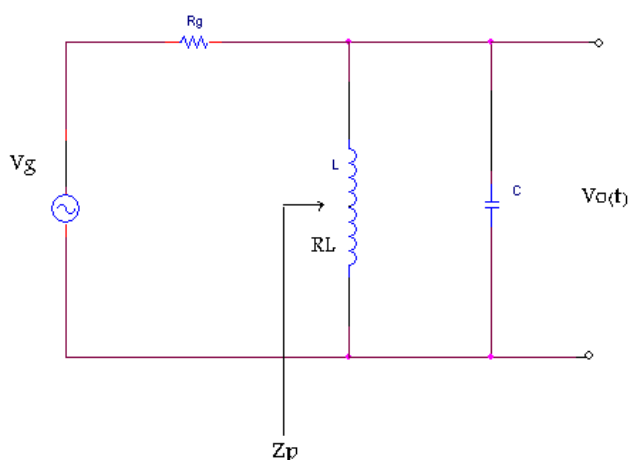
## ۲-۳) مدار RLC موازی:

مقدمه : در آزمایش ۱-۳ پا سخ فرکانسی مدار سری RLC مشاهده گردید ، بطوریکه در فرکانس معینی ، مدار به حالت تشدید در می آید . همین کیفیت در مدار موازی با شکل اساس (۲۹) ، ظاهر می شود . از ویژگیهای حالت تشدید در این مدار آن است که :  $I_g$  می نیمم ،  $Z_p$  کاملاً مقاومتی و  $V_g$  و  $I_g$  هم فاز هستند ( در فرکانس تشدید) . به علت تبادل انرژی بین اجزاء واکنشی حلقه خازن - سلف ، مدار موازی را مدار تانک (Tank Circuit) و به جریان حلقه ، جریان تانک ( $I_{\text{tank}}$ ) گفته می شود :

مدار شکل (۲۹) را در نظر بگیرید : ادمیتانس مدار موازی عبارتست از :

$Y = Y_L + Y_C$
$Y = \frac{1}{R_L + j\omega L} + j\omega C$

$Y = \frac{R_L}{R_L^2 + \omega^2 L^2} - j\left(\frac{\omega L}{R_L^2 + \omega^2 L^2} - \omega C\right)$	(۵۵)
---	------



شکل (۲۹)

بررسی رابطه فوق نشان می دهد که حالت تشدید وقتی رخ می دهد که قسمت موهومی برابر صفر باشد .

ماکزیمم امپدانس در خروجی ( بنابراین خواهیم داشت :

$W_p = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R_L}{L}\right)^2}$	(۵۶)
--	------

رابطه (۵۶) نیز بصورت زیر نوشته می شود :

$W_p = W_s \sqrt{1 - \frac{1}{Q_s^2}}$	(۵۷)
--	------

که در آن  $W_s$  فرکانس تشدید مدار سری  $R_L LC$  و  $Q_s = \frac{LW_s}{R_L}$  ضریب کیفیت مدار سری در فرکانس تشدید

است . بدیهی است که برای مقادیر بزرگ  $Q_s$  فرکانس مدار تشدید موازی  $W_p$  ، برابر  $W_s$  است . در فرکانس

تشدید ، فاز جریان (جریان  $I_g$  که به آن جریان خط  $I_{link}$  نیز می گویند ) و فاز ولتاژ منبع یکی است . بعبارت دیگر

ضریب قدرت برابر واحد است و امپدانس ورودی  $Z_p$  مقاومت خالص و برابر است با :

$Z_p = \frac{R_L^2 + W_p^2 L^2}{R_L} = R_L + Q_p L W_p = R_L (1 + Q_p^2)$	(۵۸)
---	------

برای مقادیر بزرگ  $Q_p$  می توان نوشت :

$Z_P \approx R_L Q_P^2$	(۵۹)
$W_P = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad Q_S \gg 1$	(۶۰)
$(Q_P \geq 10) \quad Z_P = \frac{L}{CR_L} \quad Q_S, Q_P \gg 1$	(۶۱)

با این ترتیب با انتخاب مناسب  $L$  و  $C$  می توان مقاومت های ورودی متفاوتی بدست آورد . بدیهی است که اگر  $Z_P = R_g$  باشد ماکزیمم مقدار قدرت از منبع به بار منتقل می شود .

روابط بین جریان خازن و جریان القاگر با جریان منبع در فرکانس تشدید عبارتست از :

$ I_C  \approx \frac{ V_0 }{ X_C } = W_P C  V_0 $ $\Rightarrow  I_C  = Q_P  I_g $ $ I_g  \approx \frac{ V_0 }{ Z_P } = \frac{CR_L}{L}  V_0 $	(۶۲)
--	------

بنابراین می توان گفت که مدار بصورت یک تقویت کننده جریان عمل می نماید . از این روست که در ورودی گیرنده های رادیویی یا تلویزیونی عموماً از مدار تشدید موازی استفاده می شود .  
(آنتن بمنزله منابع جریان هستند. )

### پاسخ فرکانسی :

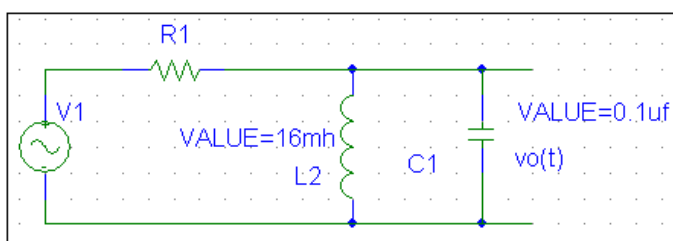
نظیر آنچه که در مدار سری دیده ایم : پاسخ فرکانسی مدار موازی شکل (۲۹) عبارت است از :

$A_V = \frac{V_C}{V_G} = \frac{Z_P}{Z_P + Z_g}$	(۶۳)
---	------

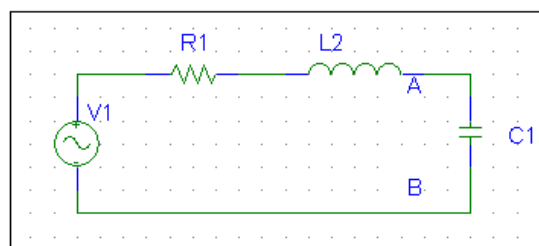
نظر به اینکه در فرکانس تشدید ،  $Z_p$  ماکزیمم مقدار خود را دارا است ، لذا ولتاژ خروجی به حداکثر مقدار خود می رسد . در فرکانسهای کمتر و یا بیشتر از فرکانس تشدید ، ولتاژ خروجی کاهش می یابد . رابطه بین فرکانسهای قطع و نیز عرض باند نظیر مدار سری عبارتست از :

$BW = \frac{W_p}{Q_p}$	(۶۴)
------------------------	------

با توجه به مدار سری زیر ، پهنای باند بصورت زیر نیز نوشته می شود :



شکل a - ۳۰: مدار موازی



شکل b - ۳۰: مدار سری معادل با

مدار موازی از دو سر A و B

$V'_g = \frac{R_L + jWL}{R_g + R_L + jWL} \cdot V_g$	(65-a)
$R_e = \frac{R_g(R_g R_L + R_L^2 + W^2 L^2)}{(R_g + R_L)^2 + W^2 L^2}$	(65-b)
$L_e = \frac{R_g^2 L}{(R_g + R_L)^2 + W^2 L^2}$	(65-c)

$Q_s = \frac{W_s L_e}{R_e}$	(66-a)
$Q_s = \frac{R_g L W_s}{R_g R_L + R^2_L + W^2 L^2}$	(66-b)

$BW = \frac{W_s}{Q_s} = \frac{R_g R_L + R^2_L + W^2 L^2}{R_g . L}$	(۶۷)
--	------

$BW = \frac{R_L}{L} (1 + \frac{R_L}{R_g} + \frac{W^2_s L^2}{R_g R_L})$	(۶۸)
--	------

$W_s = \frac{1}{\sqrt{L_e C}}$	(۶۹)
--------------------------------	------

تذکر: در حالت کلی منبع برای یک مدار RLC سری دارای دامنه ای که تابعی از فرکانس باشد نیست ، از این رو مسئله پهنای باند وقتی که خروجی از دو سر خازن C گرفته می شود ، معنای درستی ندارد . ( به آزمایش ۳-۱ توجه شود ) در حالیکه در شکل فوق چون تابعی از فرکانس است لذا مشخصه پاسخ دامنه در دو سر A و B بصورت یک فیلتر میان گذر خواهد بود و فرمول (a - ۶۶) برای آن صادق است .

فرمول (۶۸) نشان می دهد که هر چه  $R_g$  بیشتر شود ، عرض باند کمتر و مدار " سلکتیومتر " است ( خاصیت انتخاب کنندگی مدار مربوط به فرکانس بیشتر می شود ) . بنابراین در مدار موازی ، استفاده از منبع با مقاومت بیشتر به سلکتیومتر مدار کمک می کند . شکل (۳۱) و (۳۲) منحنی پاسخ دامنه و پاسخ فاز مدار موازی را نشان می دهند .

شکل ۳۲: منحنی پاسخ فاز مدار

شکل ۳۱: منحنی پاسخ دامنه

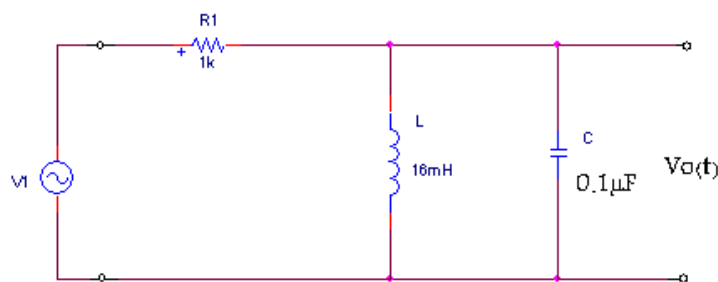
RLC موازی

مدار RLC موازی

روش آزمایش:

### ۱- پاسخ فرکانسی مدار موازی RLC:

مداری مطابق شکل (۳۳) با  $R = 3/3 \text{ K}\Omega$  (بدون در نظر گرفتن  $R_g$ ، مقاومت کل  $R + R_g$ ) بسازید و یک موج سینوسی با مقدار پیک ۲ ولت به مدار اعمال نمایید و با تغییر دادن فرکانس منبع، ماکزیم ولتاژی که در خروجی ظاهر می شود اندازه بگیرید (حالت فرکانس تشدید) و در جدول (C) یادداشت نمایید. سپس با فرکانسهای داده شده آزمایش را تکرار و ولتاژ خروجی و اختلاف فاز آن را با ولتاژ منبع در هر فرکانس اندازه گیری کرده و در جدول مذکور ثبت کنید.



شکل (۳۳)

تذکر: قبل از انجام آزمایش مقدار اهمی سلف  $L$  (مقاومت  $R_L$ ) را با اهم متر اندازه گیری نمایید.

### ۲- اندازه گیری جریان سلف و خازن:

در هر یک از شاخه های خازن و القاگر یک مقاومت ۱۰ اهمی قرار داده با اندازه گیری ولتاژ دو سر انا جریان  $I_c$  و  $I_L$  را در فرکانس تشدید اندازه گرفته و با جریان  $I$  مدار ، که اندازه خواهید گرفت ، مقایسه و نتیجه بگیرید .

جدول ۷: جدول  $f_1$ :A فرکانسی است که ولتاژ خازن ماکزیمم می شود .

فرکانس f KHz	مقدار فرکانس KHz (f)	دامنه $V_C$ ولت	"درجه" $\phi$
$f_s-4$	3K	۲.۷	
$f_s-3$	4K	۲.۴	
$f_s-2$	5K	۲.۱	
$f_s-1$	6K	۱.۹	
$F_1$	10K	۱.۸	۱۴.۴
$f_s$	7K	۲.۹	۹۹
$f_s+1$		۱.۴	
$f_s+2$		۱.۲	
$f_s+3$		۳	۱۴.۴
$f_s+4$		۰.۹	۹۹

جدول ۸: جدول B

فرکانس $f$ KHz	مقدار فرکانس KHz (f)	دامنه ولت $V_R$		
		1.2k $\Omega$	1.5K $\Omega$	1.8k $\Omega$
$f_s-10$	1.28M			
$f_s-8$	0.30M			
$f_s-6$	0.32M			
$f_s-4$	0.34M			
$f_s-2$	0.36M			
$f_s$	0.38M	۰.۵۴	۰.۳۴	۰.۶
$f_s+2$	0.46M	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۵۸
$f_s+4$		۰.۰۶۸	۰.۰۷۴	۰.۰۸
$f_s+6$		۰.۰۷	۰.۰۹	۰.۰۹۶
$f_s+8$		۰.۰۹	۰.۱	۰.۱
$f_s+10$		۰.۱	۰.۱۰۹	۰.۱۱

جدول ۹: جدول c

فرکانس f	مقدار فرکانس	دامنه $V_0$ "ولت"	"درجه" $\phi$
KHz	KHz (f)		
.	.		
$f_{p-3}$			
$f_{p-2}$			

$f_p-1.5$			
$f_p-1$			
$f_p-0.5$			
$f_p$			
$f_p+0.5$			
$f_p+1$			
$f_p+1.5$			
$f_p+2$			
$f_p+3$			

## سؤالات :

۱- منحنی مشخصه دامنه و فاز مربوط به جداول A و B را رسم نمائید؟

۲- برای مدار شکل (۲۷) فرکانس قطع را تعیین کنید . با نتایجی که از جدول A بدست آورده اید اندازه دقیق مقاومت مدار را تعیین نمائید ؟

۳- در آزمایش مدار RLC سری ، چنانچه ولتاژ خروجی از دو سر القاگر گرفته شود ، تفاوتی با  $V_c$  خواهد داشت ؟ چرا ؟ توضیح دهید .

۴- با توجه به منحنی مشخصه ای که برای جدول B در قسمت ۱ رسم نموده اید ، اثر تغییر مقاومت مدار را بر روی  $Q_s$  و BW ، بررسی نمائید ؟

۵- در شکل (۲۴) اگر القاگر دارای مقاومت بسیار کوچک ولی غیر قابل صرفنظر کردن باشد ، دیاگرام فاز ورودی را برای ولتاژهای  $V_i$  ,  $V_o$  ,  $V_L$  ,  $V_c$  در حالت تشدید رسم نمائید ، آیا  $V_o$  یا  $V_i$  برابر است ؟

۶- منحنی مشخصه دامنه و فاز مربوط به جدول C را رسم نمائید ؟

۷- از روی منحنی رسم شده در قسمت ۶ ، پهنای باند را تعیین نموده با مقدار تئوری آن مقایسه کنید ؟

۸- آیا شرطی وجود دارد که  $\phi$  به  $90^\circ +$  ( در مدار شکل ۲۹) برسد ؟ چرا ؟

۹- علت تفاوت  $Q_p$  بصورت تئوری و عملی در آزمایش تعیین جریان سلف و خازن در چیست ؟

۱۰- منحنی مشخصه فاز را از  $w=0$  تا  $w=\infty$  چگونه توجیه می کنید ؟

### آزمایشگاه اندازه گیری و مدار :

پاسخ گذرای مدارهای RC و RL را ، هنگامیکه با ولتاژهای سینوسی یا مربعی تحریک می شوند، مطالعه نمودیم .  
لکن از این مطلب که از لحظه اعمال ولتاژ ورودی تا لحظه دریافت پاسخ کامل و پایدار ، مدار دارای چه حالتی است ، صحبتی به میان نیامد .

بطور کلی وقتی که مداری شامل قطعات نظیر خازن یا القاگر است ، همواره یک حالت پایدار محسوسی از زمان تحریک تا دریافت پاسخ کامل ، وجود دارد . مدت زمان این حالت ناپایدار ، بستگی به اجزاء مدار داشته و به نوع و اندازه ولتاژ اعمال شده بستگی ندارد .

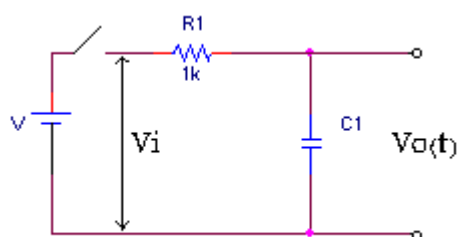
پاسخ مدار در این مدت کوتاه به پاسخ گذرا موسوم است .

در این آزمایش پاسخ گذاری مدارهای RC و RL و روش اندازه گیری زمان ناپایداری ( یا تأخیر زمانی) را ارائه می کنیم .

### ۴-۱: پاسخ گذاری مدار RC بالا گذر و پائین گذر

الف - صافی پائین گذر : شکل (۳۴) مدار RC پائین گذر را نشان می دهد . کلید SW در لحظه  $t = 0$  بسته می شود و ولتاژ خروجی (پاسخ مدار) پس از مدت کوتاهی به مقدار نهایی خود ، یعنی  $V$  خواه رسید . بطوریکه می دانید . پس از بسته شدن کلید ، می توان نوشت :

$V_0(t) = V(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$	(70-a)
$\tau = RC$	(70-b)



شکل (۳۴)

با توجه به اینکه بسته شدن کلید را می توان به منزله اعمال یک ولتاژ پله ای با ارتفاع  $V$  به مدار دانست ، ولتاژ ورودی و پاسخ خروجی (منحنی ) به صورت شکل (۳۵) خواهند بود .

شکل (۳۵): پاسخ صافی پایین گذر به موج پله ای

نکات قابل ملاحظه در پاسخ خروجی عبارتند از:

### ۱- ثابت زمانی (Time Constant):

ثابت RC که از جنس زمان است، ثابت زمانی مدار RC گفته می شود و به T نشان می دهند گرچه از نظر ریاضی ولتاژ خروجی پس از مدت  $t = \infty$  به مقدار نهایی خود (V) می رسد، لکن عملاً پس از مدت  $t = 5\tau$ ، ولتاژ خروجی تقریباً برابر ولتاژ ورودی می شود.

زیرا:

$$v_0(5\tau) = V(1 - e^{-5}) \approx 0.994V \approx V$$

۲- چنانچه درصد ولتاژ (یا جریان) خروجی، بر حسب ثابت زمانی  $\tau$  رسم شود منحنی پاسخ شکل (۳۶)، که

یک منحنی استاندارد می باشد. حاصل می گردد. این منحنی وسیله بسیار جالب و ساده ای برای تعیین پاسخ هر

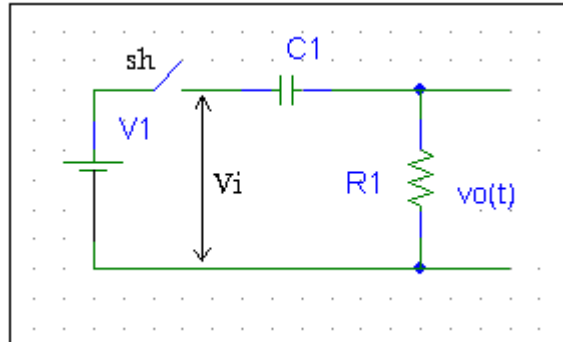
نوع مدار RC یا RL

می باشد.

### ب - صافی بالا گذر:

شکل (۳۷) مدار RC بالا گذر را نشان می دهد. با بسته شدن کلید، خازن در مقابل جهش ورودی بصورت اتصال کوتاه عمل نموده و ولتاژ خروجی از صفر به V ولت جهش می کند و پس از مدت زمان کوتاهی به مقدار نهایی خود یعنی صفر خواهد رسید.

$V_0(t) = Ve^{-\frac{t}{RC}}$	(71-a)
$\tau = RC$	(71-b)



شکل (۳۷)

بنابراین ولتاژ ورود ، و پاسخ خروجی بصورت شکل (۳۸) خواهد بود .

شکل (۳۸): پاسخ صافی بالا گذر به موج پله ای

مشابه صافی پایین گذر به ثابت  $RC$  ، ثابت زمانی گویند و عملاً پس از مدت  $t = 5\tau$  ولتاژ خروجی تقریباً صفر خواهد بود .

$$v_0(t) = Ve^{-5} \approx 0.006V \approx 0$$

روش آزمایش :

وسایل لازم : نوسان ساز ، نوسان نگار.

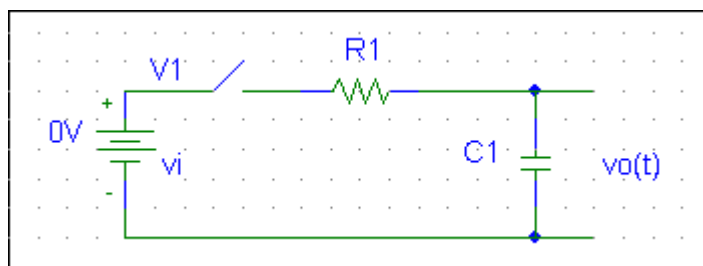
۱- مدار شکل (۳۴) را با  $C=0.1\mu F$  و مقاومت  $R=10K\Omega$  ساخته و یک ولتاژ پله ای با دامنه  $4V_{p-p}$  به مدار اعمال کنید ( از موج مربعی با فرکانس حدود ۱۰۰ هرتز به عنوان ولتاژ پله ای استفاده کنید ) . ورودی مدار را به کانال A و خروجی آن را به کانال B نوسان نگار متصل نمایید . و از روی آن پاسخ مدار را مشاهده و رسم کنید و از روی منحنی بدست آمده ثابت زمانی مدار را تعیین نموده و با مقدار RC مقایسه کنید .

۲- حال با خازن  $C=0.01\mu F$  و با مقاومت‌های مجهولی که در اختیار دارید آزمایش را تکرار و مقاومت‌های مجهول را از روی پاسخ مدار بدست آورید .

۳- حال یک خازن  $C=0.01\mu F$  دیگری را بطور موازی با مقاومت R ( در آزمایش ۱) قرارداده و پاسخ مدار را ملاحظه کنید.

## ۲-۴ : پاسخ مدار RC میان گذر:

شکل (۳۹) مدار RC میان گذر را نشان می دهد .



شکل (۳۹)

با اعمال ولتاژ پله ای به این مدار خازنها بصورت اتصال کوتاه عمل می نمایند . لذا  $v_0=0$  پس از  $t=0$  ، خازن  $C_1$  و  $C_2$  شارژ می شوند . ابتدا تمام جریان مقاومت  $R_1$  وارد خازن  $C_1$  می شود ( خازن  $C_1$  در  $t=0$  اتصال کوتاه است ) لذا خازن  $C_1$  سریعتر از  $C_2$  شارژ می گردد . با افزایش ولتاژ خروجی  $C_1$  ، چون خازن  $C_2$  چندان شارژ نشده است ، ولتاژ خروجی تقریباً برابر ولتاژ خازن  $C_1$  می باشد . (  $v_0 \approx v_{c1}$  ) .

و بنابراین ولتاژ خروجی افزایش می یابد. اما پس از مدتی با شارژ خازن  $C_1$  و کاهش جریان آن و افزایش جریان خازن  $C_2$ ، خازن  $C_2$  مقدار کافی شارژ شده بطوریکه از افزایش ولتاژ خروجی جلوگیری می کند و ولتاژ خروجی کاهش می یابد. بنابراین ولتاژ خروجی پس از زمان مشخصی به مقدار ماکزیم خود خواهد رسید. در  $t = \infty$ ،

$v_{c1} = v_{c2} = V$  خواهد بود. با نوشتن معادلات جریان و ولتاژ در مدار شکل (۳۹) به معادله دیفرانسیل زیر بین

ورودی و خروجی خواهیم رسید. ( $R_1 = R_2 = R$ ،  $C_1 = C_2 = C$ )

$R^2 C^2 \frac{d^2 V_0}{dt^2} + 3RC \frac{dV_0}{dt} + V_0 = RC \frac{dV_i}{dt}$	(۷۲)
---	------

$V_0(0) = 0$	(۷۳)
--------------	------

شرایط اولیه شامل رابطه (۷۳) و رابطه ای است که از انتگرال گیری از معادله (۷۲) در لحظه  $t = 0^+$  بدست می آید

، می باشد.

$R^2 C^2 \frac{dV_0(0)}{dt} + 3RCV_0(0) + \int_{0^-}^{0^+} V_0 dt = RCV$ $\Rightarrow \frac{dV_0(0)}{dt} = \frac{V}{RC}$	(۷۴)
--	------

با حل معادله دیفرانسیل (۷۲) و با در نظر گرفتن شرایط اولیه (۷۳) و (۷۴) خواهیم داشت:

$V_0(t) = \frac{V}{\sqrt{5}} e^{-\frac{3-\sqrt{5}}{2RC}t} - \frac{V}{\sqrt{5}} e^{-\frac{3+\sqrt{5}}{2RC}t}$	(۷۵)
--	------

برای محاسبه ماکزیمم ولتاژ خروجی از رابطه (۷۵) مشتق گرفته و برابر صفر قرار می دهیم :

$\frac{dV_0}{dt} = 0 \Rightarrow t_1 = \frac{\tau}{\sqrt{5}} \ln \frac{2}{7-3\sqrt{5}} \approx 0.86\tau$	(۷۶)
--	------

$V_{0MAX} \approx 0.275V$	(۷۷)
---------------------------	------

بنابراین ولتاژ خروجی بصورت شکل (۴۰) خواهد بود . (  $\tau = RC$  )

شکل (۴۰) : پاسخ گذاری صافی میان گذر

عملاً پس از  $T = 11 \tau$  ، ولتاژ خروجی تقریباً صفر (  $0.006 V$  ) خواهد بود .

روش آزمایش :

وسایل لازم : نوسان ساز ، نوسان نگار

۱- مدار شکل (۳۹) را با  $C=0.1\mu F$  و مقاومت  $R=10K\Omega$  ساخته و یک ولتاژ پله ای یا دامنه  $4V_{P-P}$  به

مدار اعمال کنید ( از موج مربعی با فرکانس حدود ۵۰ هرتز بعنوان ولتاژ پله ای استفاده کنید ) ورودی مدار را به

کانال A و خروجی آن را به کانال B نوسان نگار متصل نمائید و از روی آن پاسخ مدار را مشاهده و رسم کنید و با مقادیر تئوری آن مقایسه کنید .

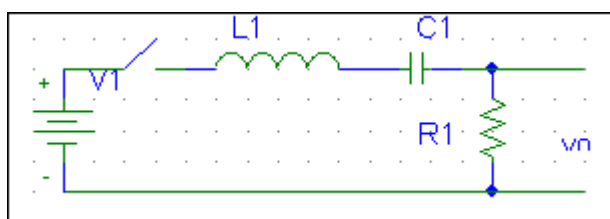
۲- مدار شکل (۳۹) را با خازن های  $C_1=0.1\mu F$  ,  $C_2=0.1\mu F$  تکرار نمائید و شکل ولتاژ خروجی را رسم کنید .

۳- مدار شکل (۳۹) را با خازنهای  $C_1=0.01\mu F$  ,  $C_2=0.01\mu F$  تکرار نمائید و شکل ولتاژ خروجی را رسم کنید.

۳-۴ : پاسخ گذرای مدار RL پائین گذر :

شکل (۴۱) مدار RL پائین گذر را نشان می دهد . کلید sw در لحظه  $t=0$  بسته می شود و ولتاژ خروجی (پاسخ مدار) پس از مدت کوتاهی به مقدار نهایی خود یعنی خواهد رسید . بطوریکه می دانید ، پس از بسته شدن کلید ، می توان نوشت :

$V_0(t) = V(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$	(78-a)
$\tau = \frac{L}{R}$	(78-b)



شکل (۴۱)

شکل ولتاژ خروجی مشابه مدار پایین گذر RC مشکل (۳۴) خواهد بود. و عملاً ولتاژ خروجی پس از  $t=5\tau$  به مقدار نهایی خود می رسد.

روش آزمایش:

وسایل لازم: نوسان نگار. نوسان ساز (با امپدانس ورودی کم)

مدار شکل (۴۱) را با  $L=16\text{ mH}$  و با دو مقاومت  $1\text{K}\Omega$  و  $1.5\text{K}\Omega$  بجای بسته و با اعمال ولتاژ پله ای با دامنه  $4\text{V}_{p-p}$  به مدار. پاسخ مدار را رسم نمائید (از موج مربعی با فرکانس حدود  $6\text{ KHz}$  بعنوان ولتاژ پله ای استفاده کنید) ثابت زمانی مدار را از روی شکل ولتاژ خروجی بدست آورده و با مقدار تئوری آن مقایسه کنید.

## سئوالات:

۱- در مرحله سوم آزمایش پاسخ گذرای مدار RC پائین گذر، اثر اضافه نمودن خازن  $C2$  در پاسخ مدار را چگونه توجیه می کنید؟

۲- اثر افزایش یا کاهش خازن  $C1$  و  $C2$  در آزمایش پاسخ گذرای مدار RC میان گذر، در پاسخ مدار را چگونه توجیه می کنید؟ (مرحله ۲ و ۳ نسبت به مرحله ۱)

۳- با جابجا نمودن طبقه پائین گذر و بالا گذر صافی میان گذر RC شکل (۳۹) پاسخ گذرای مدار تغییری خواهد نمود؟ در این حالت شکل پاسخ مدار را چگونه توجیه می کنید؟

## پاسخ گذرای مدارهای RLC

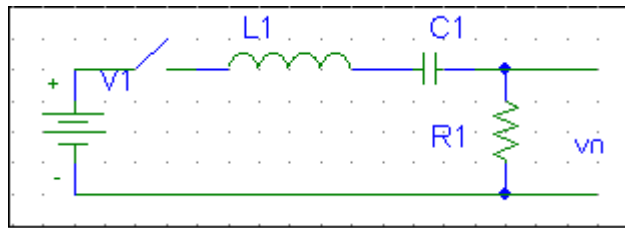
در این آزمایش پاسخ گذرای مدارهای RLC سری و موازی را بررسی می کنیم .

### ۱-۵: پاسخ گذرای مدار RLC سری

شکل (۴۲) مدار RLC سری را نشان می دهد . اصولاً با توجه به اینکه در کارکرد یک مدار RLC سری . ابتدا سلف اثرات عمیقی در اجرای عملکرد مدار و سپس خازن اثرات خود را در انتهای آن ظاهر می سازد ، لذا انتظار می رود که مداری مشتمل بر هر دوی این عناصر مضاف بر مقاومت که همواره عامل میرایی است ، رفتاری را ارائه کند که در یک محدوده زمانی نزدیک به رفتار مدار RL و در محدوده دیگری نزدیک به رفتار مدار RC باشد و این واقعیت در تمامی نمودارهایی که بعداً خواهیم دید بنا به مقادیر نسبی R و C و L مشهود است .

در تمامی این نمودارها که ولتاژ دو سر مقاومت هدف کار بوده مشاهده می شود که ابتدای نمودار یک نمایی افزایشی یعنی مبتداً به صفر و انتهای آن یک نمایی منتهی به صفر است زیرا در ابتدا سلف شدیداً اثر خود را اعمال و خازن تقریباً اتصال کوتاه است ( $v_c \approx 0$ ) .

بنابراین یک مدار RL ( پائین گذر) داریم که شکل ولتاژ خروجی نمایی صعودی خواهد بود ، پس از مدتی اثر سلفی نامحسوس و سلف مثل اتصال کوتاه عمل می کند و خازن که تقریباً شارژ شده خواص خازنی خود را شدیداً ظاهر می سازد و یک مدار RC ( بالا گذر) خواهیم داشت که قاعدتاً ولتاژ دو سر مقاومت باید در آن نزولی باشد .



شکل (۴۲)

هنگامیکه این مدار با یک ولتاژ پله ای تحریک می شود ( سوئیچ بسته می شود ) ، پاسخ گذرای مدار دارای دو شکل کاملاً متمایز از یکدیگر خواهد بود . برای تعیین معادله پاسخ ، معادله مدار را پس از بسته شدن کلید . می نویسیم :

$$V = L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt + Ri$$

که با مشتق گرفتن از طرفین معادله حاصل می شود :

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = 0 \quad (۷۹)$$

که دارای معادله مشخصه زیر با ریشه های  $S_1$  و  $S_2$  می باشد .

$S^2 + \frac{R}{L}S + \frac{1}{LC} = 0$	(80-a)
$S_1 = -\frac{R}{2L} + \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$	(80-b)
$S_2 = -\frac{R}{2L} - \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$	(80-c)

بنابراین خواهیم داشت :

$i(t) = K_1 e^{s_1 t} + K_2 e^{s_2 t}$	(۸۱)
--	------

شرایط اولیه عبارتند از :

$i(0) = 0$	(82-a)
$\frac{di(0)}{dt} = \frac{V}{L}$	(82-b)

بر حسب اینکه  $\frac{R}{2L}$  بزرگتر از، مساوی با ، کوچکتر از  $\frac{1}{\sqrt{LC}}$  باشد ، پاسخ مدار ( یا جریان  $i(t)$  ) دارای شکلهای زیر خواهد بود :

۱- اگر  $\frac{R}{2L} > \frac{1}{\sqrt{LC}}$  باشد ، پاسخ مدار به یک مقدار ماکزیمم می رسد و با ثابت زمانی معینی به سمت صفر میل می کند . این پاسخ به حالت فوق میرایی (Critically damped) موسوم است .

که در آن :

$i(t) = \frac{V}{LW} e^{-\frac{t}{\tau}} \left[ \frac{e^{wt} - e^{-wt}}{2} \right]$	(83-a)
---	--------

$W = \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$	(83-b)
$\tau = \frac{2L}{R}$	(83-c)

(شکل ۴۳)

نکته جالب مقدار ثابت زمانی است که دو برابر، آن در حالت مدار مشتعل بر  $R$  و  $L$  تنها می باشد. البته ثابت زمانی واقعی این مدار چندان مشخص نیست زیرا عوامل  $w$  و  $-w$  هم در ایجاد آن، نقش دارند و تنها تحت شرایطی که خیلی کوچک باشد می توان گفت که تقریباً ثابت زمانی  $\frac{2L}{R}$  است که این وضعیت در حالت میرایی بحرانی محسوستر است.

۲- اگر  $\frac{R}{2L} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  باشد، جریان مدار به ماکزیمم  $I_{\max}$  می رسد و با ثابت زمانی  $\tau = \frac{2L}{R}$  بسمت صفر میل می کند. این حالت به میرایی بحرانی (Critically damped) موسوم است.

$i(t) = \frac{V}{L} t e^{-t/\tau}$	(84-a)
$\tau = \frac{2L}{R}$	(84-b)
$I_{MAX} = \frac{V\tau}{L} e^{-1}$	(84-c)

(شکل ۴۴)

۳- اگر  $\frac{R}{2L} < \frac{1}{\sqrt{LC}}$  باشد ، پاسخ مدار بصورت یک موج سینوسی است که دامنه آن رفته رفته کم شده و به صفر

می رسد . این حالت به نوسانی میرا (Critically damped) موسوم می باشد .

$i(t) = \frac{V}{LW_1} e^{-t/\tau} \sin w_1 t$	(85-a)
$w_1 = Jw = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$	(85-b)
$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$	(85-c)

فرکانس نوسانات برابر است با :

$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$	(۸۶)
---	------

جمله  $\frac{R^2}{4L^2}$  اثر کمی روی  $f_1$  دارد . زیرا معمولاً در مقایسه با  $\frac{1}{LC}$  خیلی کوچک است . در این حالت می توان

مقدار  $f_1$  را بصورت  $f_1 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  نوشت .

ضریب میرایی (Damping Factor) :

در مدار RLC ، هنگامیکه مقاومت R خیلی کوچک می شود ، دامنه پاسخ نوسانی تقریباً ثابت می ماند و وقتی که

R بزرگ است ، دامنه پاسخ سریعاً بسمت صفر میل می کند . نسبت  $\alpha = \frac{R}{2L}$  به ضریب میرایی موسوم است .

بطور کلی برای تعیین پاسخ هر نوع مدار نوسانی ، می توان از شکل استاندارد (۳۶) با ثابت زمانی  $\tau = \frac{2L}{R}$

بجای  $\frac{L}{R}$  استفاده نمود . جریان مدار پس از  $t = 5\tau$  تقریباً برابر صفر است . بنابراین زمان لازم برای آنکه مدار به

حالت پایدار ( جریان به صفر ) برسد ، بستگی به  $R$  و  $L$  دارد . تغییر  $C$  ، فرکانس نوسانات را تغییر می دهد .

مقاومت بحرانی (Critical Resistance) :

مقاومت کل مدار به ازای آن پاسخ مدار از حالت فوق میرایی به حالت نوسانی میرا تبدیل می شود به مقاومت

بحرانی  $R_c$  موسوم بوده و مقدار آن برابر است با :

$R_c = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$	(۸۷)
-----------------------------	------

بدین ترتیب ، پاسخ مدار را می توان بر حسب  $R_c$  بررسی نمود .

نوسانات اضافی (Overshoot) :

چنانچه ولتاژ دو سر خازن را در نوسان نگار ملاحظه کنیم (حالت نوسانی میرا) ، ولتاژ خازن از ولتاژ  $V$  تجاوز

نموده و پس از نوسانهایی به مقدار نهایی  $V$  می رسد . این نوسانات اضافی به Overshoot موسوم است . در

پاسخ فرکانسی تقویت ها ممکن است چنین شکلی ظاهر شود که در این صورت می توان تقویت کننده را مرکب از

یک تقویت کننده با باند عریض ، باضافه یک مدار RLC دانست .

شکل (۴۶)

روش آزمایش :

وسایل لازم : نوسان ساز ، نوسان نگار .

۱- مدار شکل (۴۲) را با مقادیر  $L = 16\text{mH}$  و  $C = 680\text{PF}$  و  $R = 4.7\text{K}\Omega$  ساخته و یک ولتاژ مربعی به دامنه  $4\text{V}_{\text{p-p}}$  به آن اعمال کنید . شکل موج خروجی را بدقت رسم نموده و از روی آن فرکانس نوسانات را اندازه گرفته و با مقدار تئوری مقایسه کنید .

۲- همین آزمایش را با مقادیر  $C = 220\text{PF}$  و  $C = 68\text{PF}$  تکرار نموده و در هر مورد پاسخ مدار را ترسیم و نتیجه گیری نمائید .

۳- اکنون با تغییر مقاومت مدار بصورت صعودی ، مقاومت بحرانی مدار را تعیین کنید .

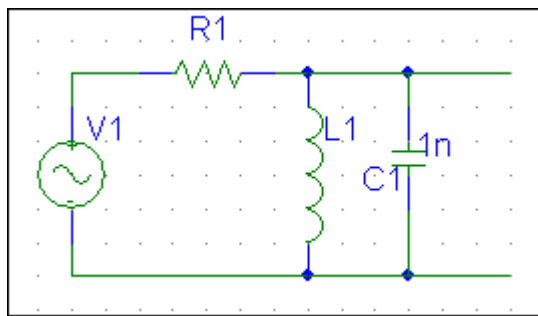
( $C = 680\text{PF}$ )

۴- ثابت زمانی مدار را در حالت نوسانی میرا اندازه بگیرید ( با تغییر مقاومت بصورت نزولی این حالت را ایجاد کنید ) .

۵- در حالت ، ولتاژ دو سر خازن را روی نوسان نگار مشاهده کنید و نسبت ولتاژ  $\text{Overshoot}$  به ۲ تا ۵ درصد ولتاژ نهایی می رسد ( منظور ولتاژ  $4\text{V}_{\text{p-p}}$  است ) . ولتاژ ۲ تا ۵ درصد ، معیار مناسبی است که از آن به بعد می توان ولتاژ خازن را پایدار فرض نمود .

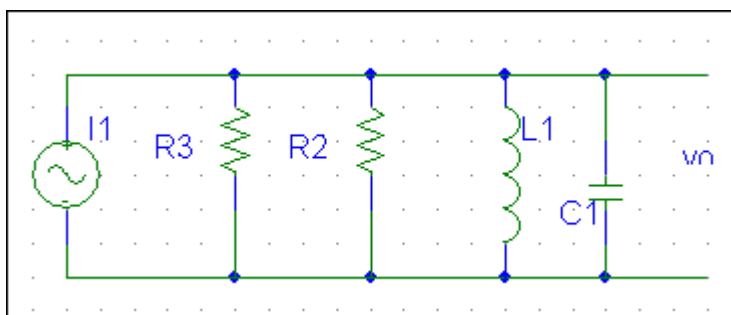
## ۲-۵ : پاسخ گذرا مدار RLC موازی

شکل (۴۷) مدار موازی RLC را نشان می دهد .



شکل ( ۴۷ )

با توجه به اینکه مدار شکل (۴۷) را می توان بصورت زیر نشان داد :



شکل (۴۸)

پس از اعمال جریان پله ای به دامنه  $I_g$  می توان نوشت :

$I_g = \frac{V_0}{R} + \frac{1}{L_p} \int V_0 dt + C \frac{dV_0}{dt}$ $\Rightarrow \frac{d^2 V_0}{d^2 t} + \frac{1}{RC} \cdot \frac{dV_0}{dt} + \frac{1}{L_p C} = 0$	(۸۸)
--	------

معادله مشخصه رابطه فوق دارای دو ریشه با مقادیر زیر است :

$S_1, S_2 = -\frac{1}{2RC} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 - \left(\frac{1}{L_p C}\right)}$	<b>(89)</b>
--	-------------

نظیر مدار سری ، سه حالت متمایز زیر در پاسخ گذرا مشاهده می گردد :

۱-  $\frac{1}{2RC} > \frac{1}{\sqrt{L_p C}}$  حالت فوق میرایی Over damped خواهد بود .

۲-  $\frac{1}{2RC} = \frac{1}{\sqrt{L_p C}}$  حالت میرایی بحرانی Critically damped خواهد بود .

۳-  $\frac{1}{2RC} < \frac{1}{\sqrt{L_p C}}$  حالت نوسانی میرا Oscillatory damped خواهد بود .

تذکر : نظر به اینکه مقاومت موجود در القاگر بسیار کوچک است ، می توان از آن (RL) صرفنظر نمود . در

اینصورت  $R_p$  بسیار بزرگ و  $R_g \approx R_g \parallel R_p \approx R$  و  $L_p = L$  خواهد بود . همچنین توجه داریم که در حالات ۲ و ۳

در فوق ، ثابت زمانی برابر است با :

$\tau = 2RC$	<b>(۹۰)</b>
--------------	-------------

ضریب میرایی (Damping Factor) :

نسبت  $\alpha = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{2RC}$  به ضریب میرایی موسوم است .

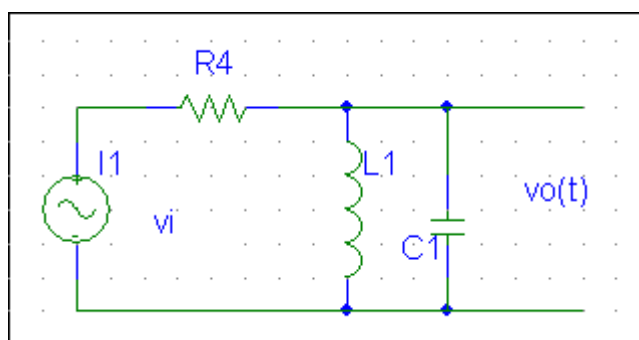
مقاومت بحرانی (Critical Resistance) :

مقدار  $R_c = \frac{1}{2\sqrt{L/C}}$  به مقاومت بحرانی مدار موسوم است که تعریف آن در صفحه ۵۷ داده شده است .

روش آزمایش :

وسایل لازم : نوسان نگار . نوسان ساز .

۱- مدار شکل (۴۹) را با  $R = 2.2 \text{ K}\Omega$  ساخته و یک موج مربعی با دامنه  $4\text{V}_{\text{p-p}}$  و فرکانس حدود  $200\text{Hz}$  به آن اعمال کنید. ( $C = 100\mu\text{F}$ ) و موج خروجی را مشاهده و رسم کنید. در این حالت ضریب میرایی را اندازه بگیرید. حال با کاهش مقاومت  $R$  مقاومت بحرانی را تعیین کنید. شکل پاسخ خروجی را در حالت میرایی بحرانی رسم کنید.



شکل (۴۹)

۲- اکنون یک مقاومت  $5.6 \text{ K}\Omega$  بجای  $R$  قرار دهید و یک موج سینوسی با مقدار  $4\text{V}_{\text{p-p}}$  و فرکانس حدود  $4 \text{ KHz}$  به مدار اعمال نموده و مدار را به حالت تشدید قرار دهید. ( سعی کنید که با سلکتورهای دامنه دو کانال ، ولتاژ ورودی و خروجی را بصورت دو موج هم دامنه و هم فرکانس بر روی صفحه نوسان نگار ظاهر نمایید.) اکنون کلید وضعیت نوسان ساز را از وضعیت سینوسی ( $\sim$ ) به وضعیت مربعی قرارداده و موج ورودی و خروجی را رسم نموده و علت آنکه موج خروجی بصورت سینوسی در می آید ، کاملاً تشریح نمایید.

سوالات :

- ۱- نشان دهید ماکزیمم مقدار ولتاژ خروجی در یک مدار RLC سری با اعمال ولتاژ پله ای در حالت میرایی بحرانی در  $T = \tau$  رخ می دهد؟ بدین ترتیب روشی برای اندازه گیری  $\tau$  ارائه نمایید .
- ۲- در آزمایش مرحله اول و دوم مدار RLC سری ، چرا با کاهش خازن تفاوت فرکانسی نوسان اندازه گیری شده و مقدار تئوری آن بیشتر می شود ؟
- ۳- در پاسخ گذرای مدار سری RLC ، برای آنکه میرایی سریعاً اتفاق افتد ، چه راهی پیشنهاد می کنید ؟
- ۴- نسبت ولتاژ Overshoot را به ولتاژ باید از خازن محاسبه نموده و با مقدار عملی اندازه گیری شده آن مقایسه کنید . ( مدار سری RLC )
- ۵- در مدار شکل (۴۹) اگر یک مقاومت R بصورت موازی با C قرار گیرد چه تاثیری در مدار خواهد داشت ؟ چنانچه بجای R از یک دیود استفاده شود . این اثر چگونه خواهد بود ؟
- ۶- چرا پاسخ گذرای مدار موازی در حالت تشدید بصورت موج سینوسی دیده می شود ؟ چنانچه در این حالت یک دیود موازی با خازن C قرار گیرد شکل موج خروجی چه خواهد بود ؟
- ۷- ازدیاد C ، چه اثری در فرکانس طبیعی ، ضریب میرایی و مقاومت بحرانی مدار شکل (۴۹) دارد ؟
- ۸- به چه علت از مدار RL کمتر به عنوان مدار انتگرال یا مشتق گیر استفاده می شود ؟

آزمایشگاه اندازه گیری و مدار

اندازه گیری امپدانس داخلی یک منبع

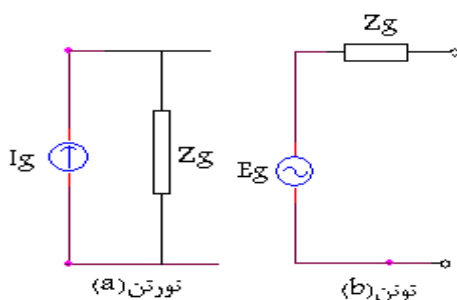
مقدمه :

در آزمایشهای گذشته مشاهده نمودیم که مقاومت داخلی ( یا امپدانس ) منبع ولتاژ . تاثیر زیادی بر روی مدارهای گذاشت و نیز مشاهده نمودیم که چنانچه مقاومت داخلی منبع ولتاژ هر چه کوچکتر باشد ، مزیت بیشتر را دارا است . در این آزمایش مقاومت و یا امپدانس داخلی منابع ولتاژ بکار برده شده را تعیین می کنیم .

معمولا در اندازه گیری ها سعی می شود که از مدل تونن ( یا نورتن ) منابع استفاده نموده و در محاسبات بکاربرد .  
 شکل (۵۰) این مدلها را نشان می دهد . برای پی بردن به اهمیت این موضوع فرض کنیم که یک منبع ولتاژ ۱۰۰ ولتی دارای مقاومت داخلی ۴۵۰ اهم باشد . اگر مقاومت ورودی شبکه مصرف باشد در این صورت ولتاژی که به دو سر بار مصرفی می رسد عبارتست از :

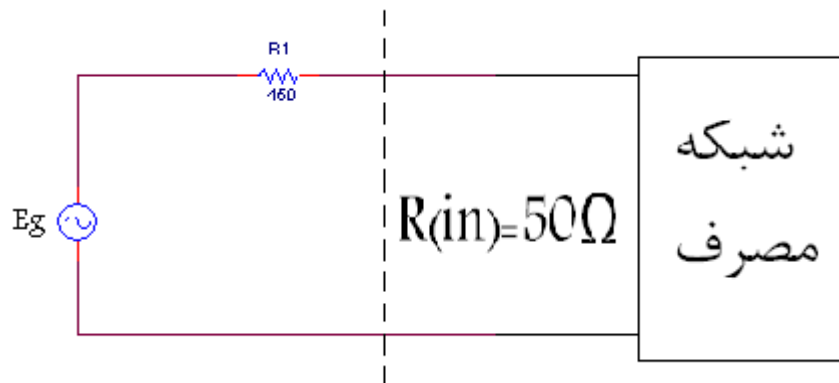
$$V_{LOAD} = V_{AB} = \frac{50}{450 + 50} \times 100 = 10V$$

شکل (۵۰)



به این ترتیب ده درصد ولتاژ منبع در دو سر ظاهر می شود . بنابراین باید سعی شود مقاومت داخلی منبع خیلی کوچک باشد تا اتلاف انرژی در دو سر مقاومت داخلی به حداقل برسد . نکته قابل توجه دیگر برای انتقال توان ماکزیمم به بار است . بطوریکه می دانیم بایستی  $R_{load} = R_{in}$  باشد تا این امر صورت پذیرد (  $R_{in}$  مقاومت داخلی منبع ) ، برای همین منظور لازم است که بعضی اوقات تغییراتی برای تطبیق و هماهنگی مقاومت بار با مقاومت داخلی منبع ، درمدار داده شود که مسئله تطبیق امپدانس Impedance matching مطرح می شود ( آزمایش ۷ ) . لذا برای موارد فوق لازم است که قاومت داخلی منبع را بشناسیم .

شکل (۵۱)

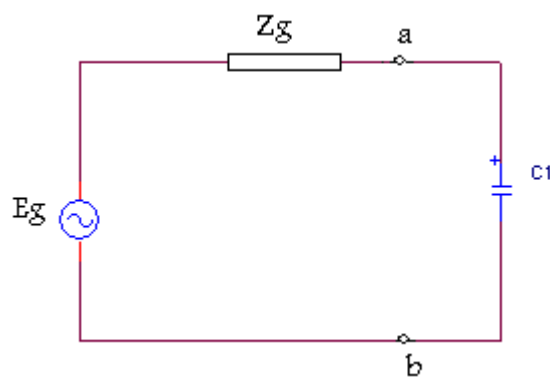


۱-۶: اندازه گیری امپدانس داخلی :

شکل (۵۲) مدار بسته ای را نشان می دهد که در آن  $Z_g = R_g + jX_g$  امپدانس داخلی منبع و  $JX_1$  یا  $JX_2$  امپدانس خازن بکار برده شده می باشند .

ابتدا با گذاشتن خازن  $C_1$  ، محاسبات زیر را انجام می دهیم :

شکل (۵۲)



$E_{ab_1} = E_1 = \frac{JX_1}{R_g + j(X_g + X_1)} E_g$	(۹۱)
--	------

و برای مخازن  $C_2$  خواهیم داشت :

$E_{ab_2} = E_2 = \frac{jX_2}{R_g + j(X_g + X_2)} E_g$	(۹۲)
--	------

حال ولتاژ بدون بار منبع ( $E_g$ ) را اندازه می گیریم و روابط زیر را از روابط (۹۱) و (۹۲) می نویسیم :

$(X_1 \frac{E_g}{E_1})^2 = R_g^2 + (X_g + X_1)^2$	(۹۳)
$(X_2 \frac{E_g}{E_2})^2 = R_g^2 + (X_g + X_2)^2$	(۹۴)

با کم کردن روابط فوق از یکدیگر داریم :

$X_g = \frac{X_1^2 (\frac{E_g}{E_1})^2 - X_2^2 (\frac{E_g}{E_2})^2}{2(X_1 - X_2)} - \frac{X_1 + X_2}{2}$	(۹۵)
$R_g = \sqrt{X_1^2 \left( \frac{E_g}{E_1} \right)^2 - (X_g + X_1)^2}$	(۹۶)

از روابط (۹۵) و (۹۶) ، مقادیر  $X_g$  و  $R_g$  و نتیجتاً  $Z_g$  (امپدانس داخلی منبع ) تعیین می شود .

روش آزمایش :

وسایل لازم : نوسان ساز Hp و EXACT ، ولت متر دیجیتالی و نوسان نگار .

۱- مداری مطابق شکل (۵۲) تشکیل دهید ، از نوسان ساز HP استفاده کنید .

فرکانس منبع را دقیقاً روی  $f_1 = 10 \text{ KHZ}$  (بتوسط اسیلوسکوپ) تنظیم کرده و آن را با ولت متر دیجیتال روی ۴ تنظیم نمائید (بدون بار در خروجی).

۲- با انتخاب خازن  $C_1 = 22 \text{ nF}$  و  $C_2 = 33 \text{ nF}$  اندازه گیریهای زیر را انجام دهید :

الف) وقتی دو سر  $ab$  باز است ، مقدار ولتاژ خروجی را یادداشت نمائید .

ب) حال خازن  $C_1 = 22 \text{ nF}$  را در خروجی قرار داده مقدار  $V_{ab}$  را اندازه گیری نمائید . ( $E_g$ )

ج) خازن حالت (ب) را با  $C_2 = 33 \text{ nF}$  عوض نموده و دوباره مقدار  $V_{ab}$  را اندازه گیری نمائید .

۳- اکنون برای فرکانس  $f_2 = 1 \text{ KHz}$  بندهای (الف) تا (ج) را با خازنهای  $C_1' = 220 \text{ nF}$  و  $C_2' = 330 \text{ nF}$

تکرار نمائید و مقادیر حاصله را اندازه گیری کنید .

( مقادیر اخیر را با  $\dot{E}_g$  و  $\dot{E}_1$  و  $\dot{E}_2$  نشان دهید ) .

با گذاشتن این مقادیر در روابط (۹۵) و (۹۶) ،  $R_g$  و  $X_g$  را محاسبه کنید .

۴- کلیه مراحل فوق را برای نوسان ساز EXACT ( نوسان ساز با امپدانس خروجی کم ) با فرکانسها و خازنهای

زیر تکرار نموده ،  $R_g$  و  $X_g$  این نوسان ساز را نیز با توجه به روابط (۹۵) و (۹۶) محاسبه نمائید .

$F_1 = 10 \text{ KHz}$        $C_1 = 220 \text{ nF}$        $C_2 = 330 \text{ nF}$        $F_2 = 5 \text{ KHz}$        $C_1' = 470 \text{ nF}$   
 $C_2' = 680 \text{ nF}$

## سئوالات :

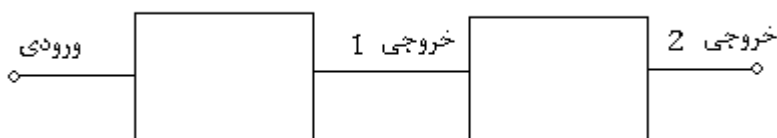
۱- اگر بخواهیم از سلف در خروجی برای اندازه گیری امپدانس داخلی منبع استفاده کنیم چه روشی پیشنهاد می کنید .

آزمایشگاه اندازه گیری

تطبیق امپدانس

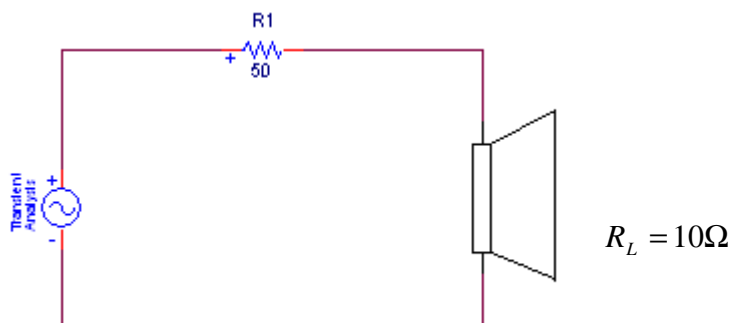
مقدمه : در مدارهای الکتریکی و الکترونیکی ، معمولاً لازم است قسمت های مختلفی به هم وصل شوند . اتصال مستقیم یک مدار به خروجی مدار دیگر ، اثر بار گذاری خواهد داشت .

شکل (۵۳):



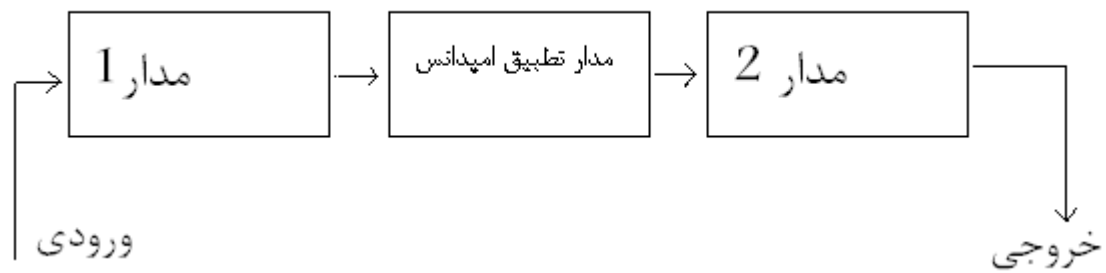
اگر امپدانس ورودی مدار دوم با امپدانس خروجی مدار اول تطبیق نباشد . توان لازم به مدار دوم و همچنین به خروجی (۲) منتقل نمی گردد . مثلاً اگر یک بلند گو امپدانس ۱۰ اهم را به خروجی مداری به امپدانس خروجی  $50\ \Omega$  وصل کنیم تنها  $\frac{1}{6}$  توان به بار می رسد و  $\frac{5}{6}$  آن در امپدانس خروجی تلف می شود .

شکل (۵۴)



بنابراین در اتصال دو مدار بهم باید به تطابق امپدانس آنها توجه نمود . در صورت عدم تطابق با قراردادن مدارهای واسطه ای می توان تطبیق امپدانس ایجاد نمود .

شکل (۵۵)

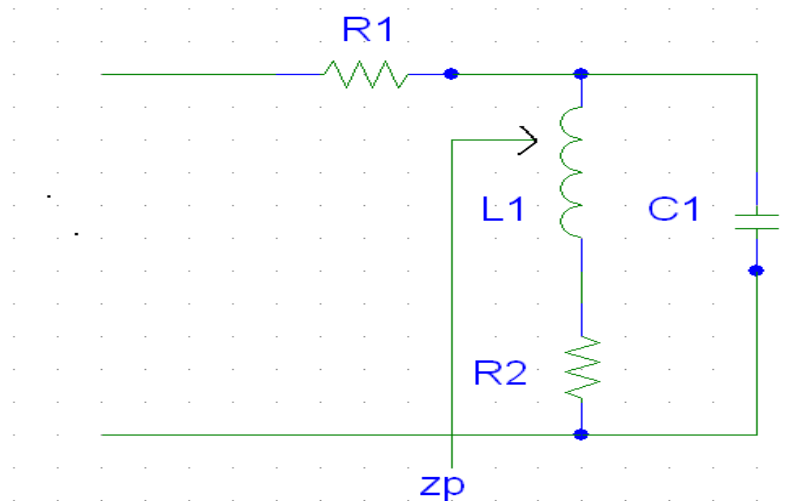


در بعضی کاربردهای ، تطبیق امپدانس با عناصر فعال مانند ترانزیستور انجام می گیرد و در بعضی موارد از مدارهای غیر فعال استفاده می شود .

در آزمایش سوم دیدیم در مدار RLC موازی ، امپدانس از دو سر شاخه سلف و خازن در فرکانس تشدید  $\omega_p$  برابر است با :

$Z_p = R_L (1 + Q_p^2) = AR_L$	(۹۷)
--------------------------------	------

شکل (۵۶)



می توان با تعیین مناسب  $L$  و  $C$  ، مقدار  $A$  را طوری تعیین نمود که تطبیق امپدانس با خروجی منبع ایجاد گردد و چون  $L$  و  $C$  توان مصرف نمی کنند ، لذا توان منتقله در  $R_L$  مصرف خواهد شد .

شرط تطبیق امپدانس  $Z_g = Z_{in}$  می باشد بطوریکه توان ماکزیمم به خروجی منتقل می شود و  $Z_{in}$  امپدانس ورودی مدار تطبیق است .

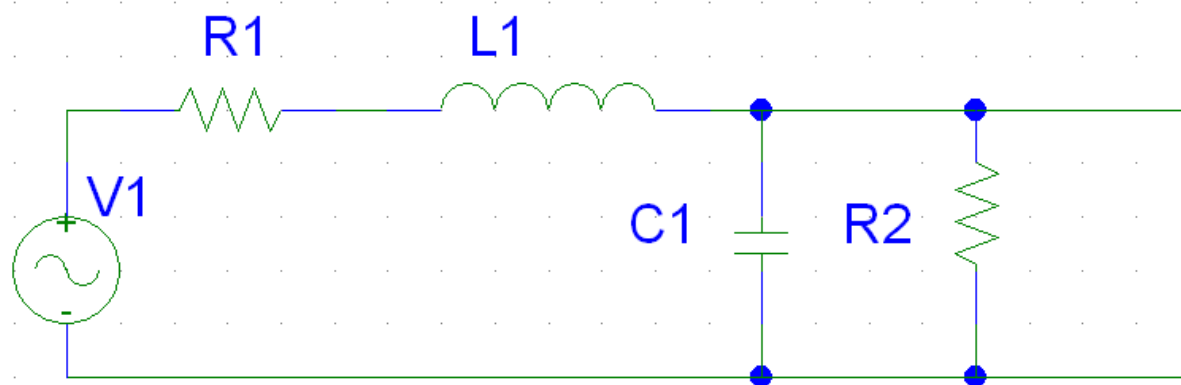
( در شکل (۵۶)  $Z_{in} = Z_p$  )

در اینجا دو نوع مدار تطبیق امپدانس را مورد مطالعه قرار می دهیم . مقاومت داخلی منابع موجود بسیار پائین است و به علت محدودیت جریانی آنها ما از یک مقاومت اضافی  $R_s$  بعنوان مقاومت منبع استفاده می کنیم .

## ۷-۱: مدار تطبیق امپدانس درجه ۲ :

مدار شکل (۵۷) را در نظر بگیرید که به آن منبعی با امپدانس ورودی  $R_s$  اعمال می گردد . برای تطبیق امپدانس میان منبع و مقاومت  $R$  از یک سلف و یک خازن  $C$  استفاده می کنیم با محاسبه  $Z_{in}$  داریم :

شکل (۵۷)



$Z_{in} = \frac{R}{1 + R^2 C^2 W^2} + j(LW - \frac{R^2 C W}{1 + R^2 C^2 W^2})$	(۹۸)
--	------

برای انتقال ماکزیمم توان شرط زیر باید برقرار باشد :

$Z_{in} = \bar{R}_s$	(۹۹)
----------------------	------

و از آنجا خواهیم داشت :

$I_m(Z_{in}) = 0$	<b>(100-a)</b>
$R_e(Z_{in}) = R_s$	<b>(100-b)</b>
$\frac{1}{R^2} + C^2 W^2 = \frac{C}{L} \quad , \quad \frac{R}{1 + R^2 C^2 W^2} = R_s \Rightarrow R_s = \frac{L}{CR}$	

و اگر فرض کنیم  $R_s = \alpha R$  خواهیم داشت :

$\frac{L}{C} = \alpha R^2$	(۱۰۱)
----------------------------	-------

$C^2 W^2 = \frac{1-\alpha}{\alpha} \cdot \frac{1}{R^2}$	(۱۰۲)
---	-------

چون  $C^2 W^2 > 0$  بنابراین :

$\alpha < 1$	(۱۰۳)
--------------	-------

لذا مدار فوق برای حالتهایی بکار می رود که مقاومت بار بزرگتر از مقاومت منبع باشد .

در مسائل روزمره  $R$  و  $R_s$  مشخص هستند و فرکانسی که در آن توان ماکزیمم باید انتقال یابد نیز معلوم می باشد لذا از روابط (۱۰۱) و (۱۰۲) .  $C, L$  محاسبه می شوند لکن در آزمایشگاه به علت محدودیت در سلفهای موجود ، سلف برابر  $16 \text{ mH}$  انتخاب می شود . لذا خازن لازم و فرکانسی که در آن توان ماکزیمم انتقال می یابد ، تعیین می شود .

روش آزمایش :

وسایل لازم : نوسان ساز . نوسان نگار .

۱- می خواهیم توان ماکزیمم به مقاومت  $R = 10 \text{ K}\Omega$  انتقال یابد ، مقاومت منبع  $R_s = 3.3 \text{ K}\Omega$  ( با احتساب  $R_g$  ) و سلف موجود  $L = 16 \text{ mH}$  است . تحت چه فرکانسی و به ازای چه خازنی عمل تطبیق صورت می گیرد ؟ مدار

را بسته و فرکانس تطبیق را اندازه گیری کنید . در فرکانس تطبیق ماکزیمم ولتاژ به  $R$  منتقل می شود و ولتاژ  $AB$  نصف ولتاژ  $V_s$  خواهد بود (  $V_s$  در حالت بی باری )  $V_s = 4 V_{P-P}$ .

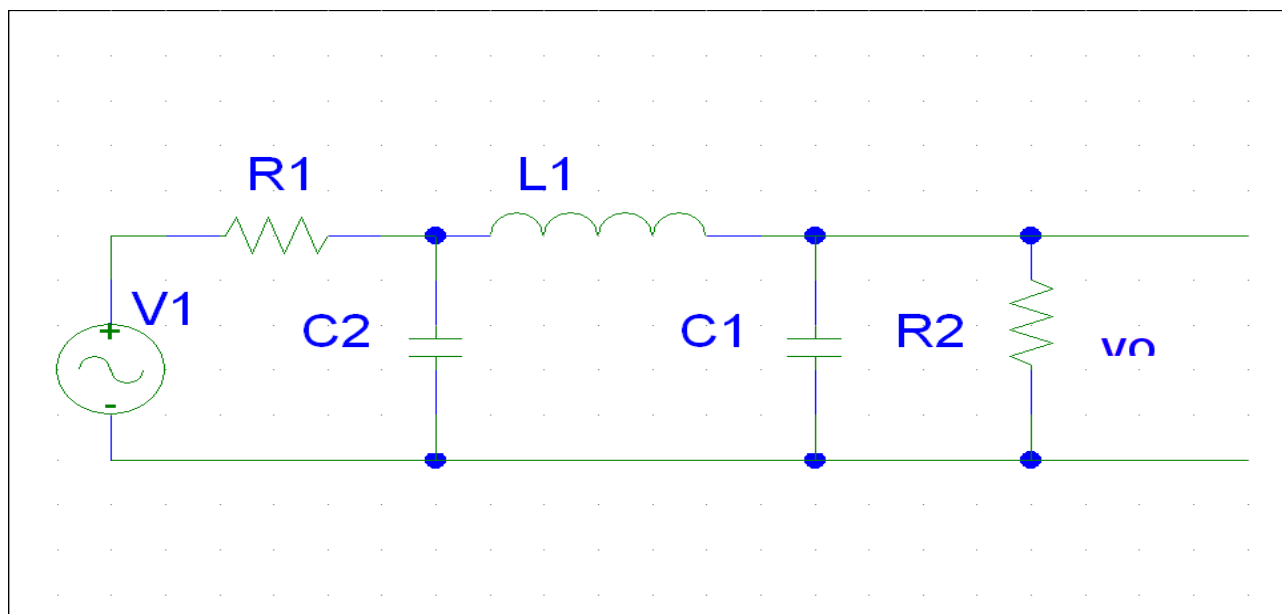
۲- به ازای فرکانسهای مختلف در جدول  $A$  ، ولتاژ خروجی را اندازه بگیرید و در جدول مذکور ثبت کنید .

۳- توانی که به بار می رسد را یکبار بدون مدار تطبیق و بار دیگر با مدار تطبیق ( $V_s = 4V_{P-P}$ ) اندازه گیری و مقایسه نمائید .

### ۲-۷) مدار تطبیق امپدانس درجه ۳ :

مدار شکل (۵۸) را در نظر بگیرید که به آن منبعی با امپدانس ورودی  $R_s$  اعمال می گردد . برای تطبیق امپدانس میان منبع و مقاومت  $R$  از یک سلف  $L$  و خازنهای  $C$  استفاده کرده ایم .

شکل (۵۸)



با محاسبه  $Z_{in}$  داریم :

$Z_{in} = \frac{R + j(1 - LCW^2)(LW - 2R^2CW + LR^2C^2W^3)}{(1 - LCW^2)^2 + R^2C^2W^2(2 - LCW^2)^2}$	(۱۰۴)
--	-------

و با توجه به شرایط انتقال ماکزیمم توان داریم :

$(1 - LCW^2)(LW - 2R^2CW + LR^2C^2W^3)^2 = 0$	(۱۰۵)
---	-------

با فرض :

$$\frac{R}{(1 - LCW^2)^2 + R^2C^2W^2(2 - LCW^2)} = R_s \Rightarrow R_s = \frac{L}{RC} \quad 1 - LCW^2 = 0$$

$W^2 = \frac{1}{LC}$	(۱۰۶)
----------------------	-------

و اگر فرض کنیم :  $R_s = \alpha R$  خواهیم داشت :

$W^2 = \frac{1}{LC}$	(۱۰۷)
----------------------	-------

$\frac{L}{C} = \alpha R^2$	(۱۰۸)
----------------------------	-------

در این حالت  $\alpha$  هر مقداری می تواند باشد .

روش آزمایش :

وسایل لازم : نوسان نگار ، نوسان ساز

۱- می خواهیم توان ماکزیم به مقاومت  $R=3.3K\Omega$  انتقال یابد ، مقاومت منبع  $R_S=10K\Omega$  و سلف موجود  $L=16mH$  است . تحت چه فرکانسی و به ازای چه خازنی عمل تطبیق صورت می گیرد . مدار را بسته و فرکانس تطبیق را اندازه گیری کنید . در فرکانس تطبیق ماکزیمم ولتاژ به  $R$  منتقل می شود و ولتاژ  $AB$  نصف ولتاژ  $V_s$  خواهد بود . ( $V_s$  در حالت بی باری )  $4V_{P-P}$ .

۲- به ازای فرکانسهای مختلف در جدول  $B$  ، ولتاژ خروجی را اندازه بگیرید و در جدول مذکور ثبت کنید .

۳- توان بار را یکبار بدون مدار تطبیق و بار دیگر با مدار تطبیق ( $V_S=4V_{P-P}$ ) اندازه گیری و مقایسه نمایید.

جدول ۱۰ - جدول  $A$  ( $F_m$  فرکانس تطبیق است).

$f(KHz)$	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۴۵	$f_m$	۵۰	۶۰	۷۵	۸۵	۱۰۰
$V_0(P-P)$											

$f(KHz)$											
$V_0(p-p)$											

سئوالات :

(۱) مشخصه پاسخ دامنه را برای جدول A رسم کنید و از روی آن فرکانس قطع را بدست آورده و با مقدار تئوری آن مقایسه کنید ؟

(۲) در مدار شکل (۵۷) و (۵۸) اگر به جای منبع  $V_s$  سینوسی ، یک منبع dc بکار رو ولتاژی در خروجی وجود خواهد داشت ؟ چرا ؟

(۳) اگر در مدار شکل (۵۷) ، جای L و C عوض گردد ، می توان تحت شرایطی تطبیق امپدانس را ایجاد نمود ؟ چرا ؟

(۴) با استفاده از مدار شکل (۵۷) ، L ، C مناسبی برای تطبیق امپدانس بین مقاومت های  $R=22K\Omega$  و  $R_s=5.6K\Omega$  در فرکانس تعیین کنید ؟

(۵) مشخصه پاسخ دامنه را برای جدول B رسم کنید و از روی آن فرکانس قطع را بدست آورده و با مقدار تئوری آن مقایسه کنید ؟

(۶) آیا امکان تطبیق امپدانس در فرکانس دیگری در مدار شکل (۵۸) وجود دارد؟

آیا در این حالت وجود خازنهای C و سلف L ضرورتی دارد؟ چرا؟

(۷) با استفاده از مدار شکل (۵۸) ، L و C مناسبی برای تطبیق امپدانس بین مقاومت های  $R=5.6K\Omega$  و  $R_s=22K\Omega$  و در فرکانس  $f_m=10KHz$  تعیین کنید .

۸) در مدار شکل (۵۸)، اگر جای دو مقاومت  $R$  و  $R_s$  را عوض کنیم، برای تطبیق امپدانس، چرا خازن  $C$  تغییری

نمی کند. آیا عمل تطبیق در همان فرکانس قبلی بدست می آید؟

۹) دو مدار شکل (۵۷) و (۵۸) را با هم مقایسه کنید؟

۱۰) سوال (۴) را برای  $R_L = 12\Omega$  در مدار شکل زیر تعیین کنید؟

(شکل ۵۹)

