

## فصل نهم

### مدارهای هماهنگ

#### هدف کلی: تحلیل مدارهای RLC و فیلترها



هدف رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می رود که:

- ۱- امپدانس مدار LC سری و موازی را محاسبه کند.
- ۲- دیاگرام برداری ولتاژها و جریان مدار LC سری و موازی را اندازه بگیرد.
- ۳- امپدانس مدار RLC سری و موازی را محاسبه کند.
- ۴- دیاگرام برداری مدار RLC سری و موازی را رسم کند.
- ۵- رزونانس را تعریف کند و تعریف رزونانس مدارهای LC سری و موازی را محاسبه کند.
- ۶- پهنای باند و ضریب کیفیت مدار RLC سری و موازی را محاسبه کند.
- ۷- توان در مدارهای RLC در جریان متناوب را محاسبه کند.
- ۸- امپدانس و فرکانس رزونانس مدار RLC سری و موازی را اندازه بگیرد.
- ۹- فیلترهای پایین گذر، بالا گذر، میان گذر و میان نگذر را تعریف کند.
- ۱۰- فرکانس قطع فیلترهای پایین گذر و بالا گذر را محاسبه کند.
- ۱۱- منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر RC پایین گذر و بالا گذر، میان گذر و میان نگذر را اندازه گیری و رسم کند.
- ۱۲- فرکانس قطع فیلترهای پایین گذر، بالا گذر، میان گذر و میان نگذر را اندازه گیری کند.
- ۱۳- اهداف رفتاری در حیطه‌ی عاطفی که در فصل اول آمده است را اجرا کند.

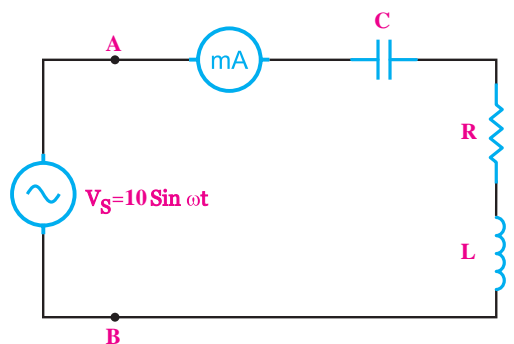
ساعت آموزش			توانایی شماره‌ی ۹
نظری	عملی	جمع	
۶	۱۲	۱۸	



## پیش آزمون فصل (۹)

۱- در شکل زیر میلی آمپر AC ، ده میلی آمپر را نشان

می دهد . امپدانس مدار از دو نقطه A و B چند اهم است ؟



الف ( ۱۰۰۰ )      ب ( ۱۰۰ )

ج ( ۷۰۷/۱ )      د ( ۷۰/۷۱ )

۲- مقدار مؤثر ولتاژ متناوب سینوسی معادل ..... است که

می تواند در زمان معین و بار معین، گرمای یکسانی را ایجاد کند .

الف ( ولتاژ مستقیم DC

ب ( پیک ولتاژ متناوب

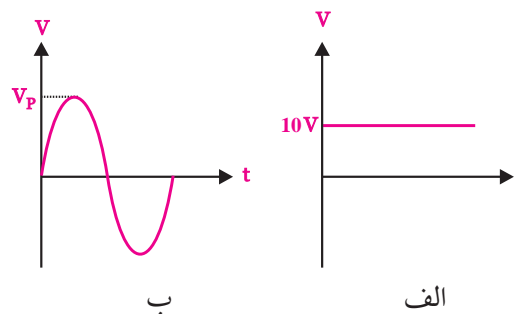
ج ( پیک تو پیک ولتاژ متناوب

د ( متوسط یک ولتاژ متناوب

۳- اگر دو ولتاژ مستقیم (DC) و متناوب (AC) مانند

شکل موج های الف و ب در یک بار معین در زمان معین

حرارت یکسان ایجاد کند کدام گزینه صحیح است ؟



الف ( مقدار مؤثر شکل موج ( ب ) برابر مقدار موج ( الف ) است .

ب ( پیک ولتاژ موج ( ب ) برابر مقدار موج ( الف ) است .

ج ( معدل ولتاژ موج ( ب ) با مقدار موج ( الف ) یکسان است .

د ( پیک تا پیک ولتاژ موج ( ب ) با مقدار موج ( الف ) یکسان است .

۴- جریان در یک مدار سلفی ایده آل نسبت به ولتاژ

مدار از نظر فاز چه وضعیتی دارد ؟

الف ( ۹۰ درجه پس فاز

ب ( ۹۰ درجه پیش فاز

ج ( هم فاز

د ( ۴۵ درجه پس فاز

۵- کدام گزینه درباره ی اختلاف فاز بین جریان نسبت به

ولتاژ در مدار خازن خالص صحیح است ؟

الف ( ۹۰ درجه پس فاز

ب ( ۹۰ درجه پیش فاز

ج ( ۴۵ درجه پس فاز

د ( ۴۵ درجه پیش فاز

۶- در یک مدار RL سری کدام گزینه در مورد محاسبه

جریان مدار صحیح است ؟

$$I_T = \frac{V_S}{R} \quad \text{ب} \quad I_T = \frac{V_S}{R + X_L} \quad \text{الف}$$

د) ۱۴

ج) ۲/۲۹

۱۱- کدام گزینه در مورد امپدانس مدار RLC سری در

حالت رزونانس صدق می کند ؟

الف)  $R$  (ب)  $\frac{1}{R}$  (ج)  $X_C$  (د)  $X_L$

۱۲- اگر شروع یک موج از موج دیگری زودتر باشد ،

در اصطلاح می گویند آن موج ..... است .

۱۳- در مدارهای RLC چنان چه فرکانس تغییر کند ،

هیچ گاه مقایر  $X_C = X_L$  نمی شود .

☐ غلط

☐ صحیح

۱۴- اگر مدار RLC موازی در حالت رزونانس باشد

جریان کل مدار حداکثر است .

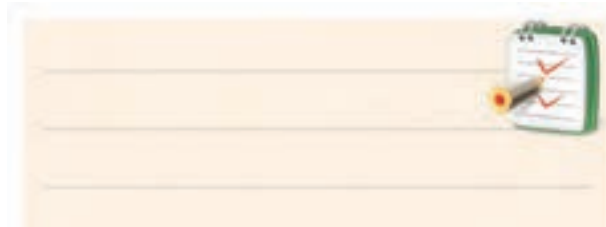
☐ غلط

☐ صحیح

۱۵- مقدار سلف معادل چند سیم پیچ به صورت موازی ،

از مقدار هر یک از سلف های مدار ..... است .

۱۶- ضریب کیفیت را تعریف کنید.



۱۷- پاسخ های صحیح را از ستون سمت چپ به ستون

سمت راست ارتباط دهید . ( از رنگ های مختلف استفاده

کنید.)

$$I_T = \frac{V_S}{Z} \quad (د) \quad I_T = \frac{V_S}{X_L} \quad (ج)$$

۷- کدام گزینه درباره ی امپدانس در مدارهای LC سری

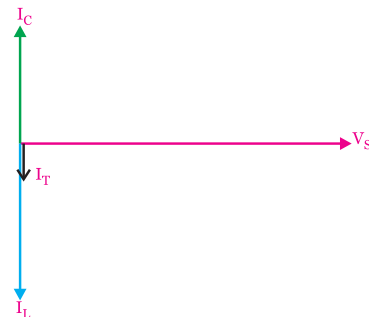
در حالت رزونانس صدق می کند ؟

الف)  $Z=0$  (ب)  $Z=Z_{max}$

ج)  $Z=R$  (د)  $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$

۸- کدام گزینه مربوط به دیاگرام برداری مدار شکل

زیر است ؟



الف) LC سری  $X_L > X_C$

ب) LC سری  $X_C > X_L$

ج) LC موازی  $X_L > X_C$

د) LC موازی  $X_C > X_L$

۹- در مدار LC موازی اگر فرکانس مدار بیشتر از

فرکانس رزونانس شود، کدام گزینه درباره ی مدار صدق

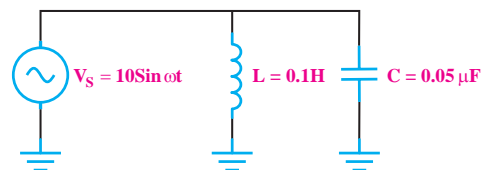
می کند؟

الف) خازنی  $X_C < X_L$  (ب) خازنی  $X_C > X_L$

ج) سلفی  $X_C < X_L$  (د) سلفی  $X_C > X_L$

۱۰- فرکانس رزونانس در مدار شکل زیر چند کیلوهرتز

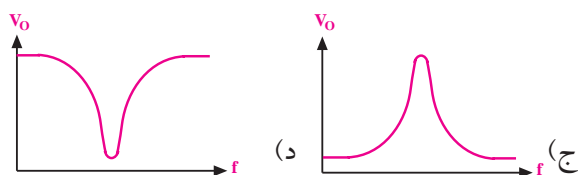
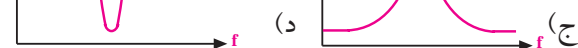
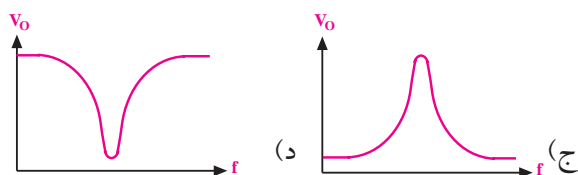
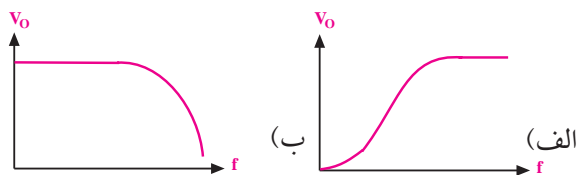
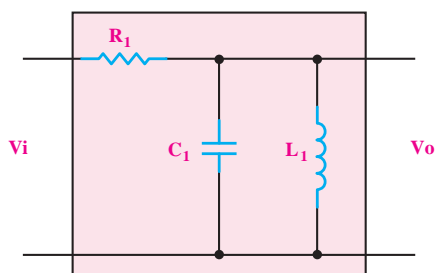
است ؟



ب) ۷/۰۷

الف) ۳/۱

۱۸- منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر زیر کدام است ؟



• LC سری

$$Z = \frac{X_L \cdot X_C}{|X_L - X_C|}$$

$$Z = |X_C - X_L|$$

• LC موازی

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

$$Z = \infty \text{ رزونانس}$$

• RLC سری

$$Z = 0 \text{ رزونانس}$$

$$Z = \text{حداقل رزونانس}$$

$$Z = \text{حداکثر رزونانس}$$

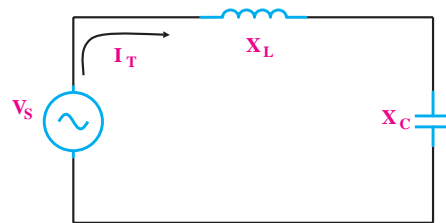
• RLC موازی

## ۹-۱ مدار LC

### ۹-۱-۱ مدار LC سری

اگر یک سلف ایده آل را با یک خازن مطابق شکل ۹-۱ به صورت سری به یک دیگر اتصال دهید و آن را به یک منبع ولتاژ متناوب وصل کنید، جریانی از مدار عبور می کند که مقدار آن از رابطه ی زیر به دست می آید .

$$I_T = \frac{V_S}{Z} = \frac{V_{eff}}{Z}$$

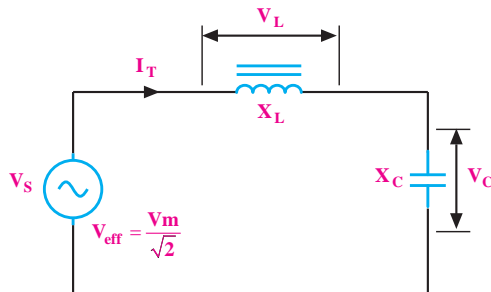


شکل ۹-۱ مدار LC سری

رابطه ی زیر محاسبه می شود ، شکل ۹-۲ .

می خوانیم  $Z$  مساوی قدر مطلق  $X_C - X_L$  است.

$$Z = |X_C - X_L|$$



شکل ۹-۲ امپدانس کل مدار

**نکته :** قدر مطلق به معنی در نظر گرفتن مقدار عددی ، بدون علامت آن است .

در مدار LC سری، جریان سلف و خازن با یک دیگر برابر است ، لذا می توانیم ولتاژ دو سر سلف و خازن را به صورت زیر بنویسیم :

$$V_L = I_{eff} \cdot X_L \text{ ولتاژ معادل ولتاژ مؤثر در دو سر سلف}$$

$$V_C = I_{eff} \cdot X_C \text{ ولتاژ معادل ولتاژ مؤثر در دو سر خازن}$$

$$I_{eff} = \frac{V_{eff}}{|X_L - X_C|}$$

$$V_S = |V_L - V_C|$$

**توجه**

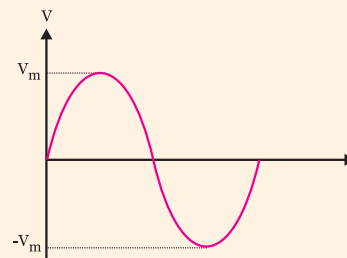
**در مدار LC سری:**

ولتاژ منبع برابر با جمع برداری ولتاژ دو سر سلف و خازن است.



**توجه:**

در مدارهای جریان متناوب سینوسی منظور از  $I_{eff}$  و  $V_{eff}$  مقدار جریان و ولتاژ موثری است که از روابط  $\frac{I_m}{\sqrt{2}}$  و  $\frac{V_m}{\sqrt{2}}$  محاسبه می شود.



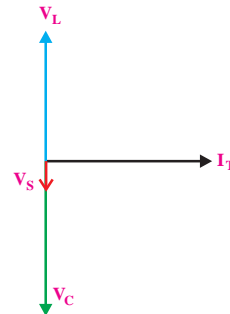
**امپدانس**

در مدار LC سری چنانچه راکتانس سلف برابر با  $X_L$  و راکتانس خازن برابر با  $X_C$  باشد ، امپدانس کل مدار ( $Z$ ) از

## دیاگرام برداری :

دیاگرام برداری ولتاژها را در شکل ۳-۹ مشاهده

می کنید.



شکل ۳-۹ دیاگرام برداری مدار LC سری

در مدار LC سری اگر  $V_L$  با  $V_C$  مساوی باشد ، حالت

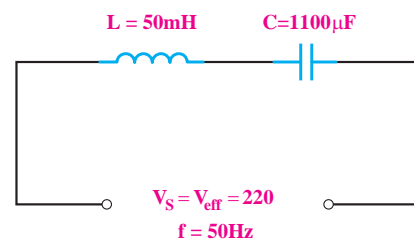
رزونانس ( تشدید ) به وجود می آید، اگر  $V_L$  بزرگتر از  $V_C$

باشد مدار خاصیت سلفی و اگر  $V_C$  بزرگتر از  $V_L$  باشد مدار

خاصیت خازنی دارد .

**مثال ۱ :** جریان مدار شکل ۴-۹ چند آمپر است ؟

$$\pi \cong 3$$



شکل ۴-۹

**حل :** ابتدا مقدار امپدانس های  $X_L$  و  $X_C$  را محاسبه

می کنیم :

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_L = 2 \times 3 \times 50 \times 50 \times 10^{-3}$$

$$X_L = 15\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fc}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \times 3 \times 50 \times 1100 \times 10^{-6}}$$

$$X_C = 3\Omega$$

چون مقدار  $X_L$  بزرگتر از مقدار  $X_C$  است پس مدار

خاصیت سلفی دارد ، رابطه ی امپدانس را به صورت زیر به

$$Z = |X_L - X_C| \quad \text{کار می بریم :}$$

$$Z = |15 - 3| = 12\Omega$$

جریان مدار را محاسبه می کنیم

$$I_T = \frac{V_S}{Z} = \frac{220}{12} = 18.3 \text{ A}$$

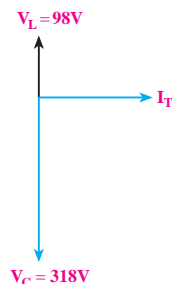
$$I_T = 18.3 \text{ A}$$

**مثال ۲ :** دیاگرام برداری یک مدار LC سری مطابق

شکل ۵-۹ است در صورتی که مقدار راکتانس خازنی ۳۱۸

اهم باشد ، مقدار راکتانس سلف ، ضریب خود القا و ولتاژ

کل مدار را محاسبه کنید . (هرتز  $f = 50$ )



شکل ۵-۹ دیاگرام برداری LC سری

**حل :**

با توجه به مدار LC سری و روابط مربوطه داریم :

$$V_S = |V_L - V_C|$$

$$V_S = |-318 + 98| = 220 \text{ V}$$

$$V_S = 220 \text{ V}$$

با استفاده از ولتاژ دو سر خازن جریان مدار را محاسبه

می کنیم :

$$V_C = X_C \cdot I \Rightarrow I = \frac{V_C}{X_C}$$

$$I = \frac{318}{318} = 1A$$

با استفاده از  $V_L$  و  $I$  مقدار  $X_L$  را به دست می آوریم .

$$V_L = X_L \cdot I \Rightarrow X_L = \frac{V_L}{I} \Rightarrow X_L = \frac{98}{1} = 98$$

$$X_L = 98 \text{ اهم}$$

مقدار  $L$  را با استفاده از  $F$  و  $X_L$  محاسبه می کنیم .

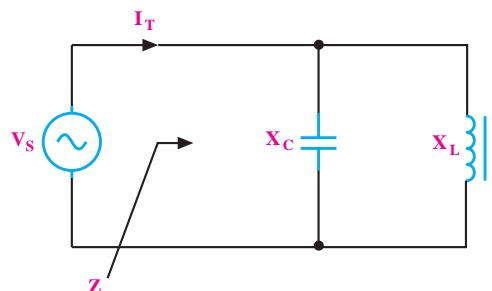
$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{98}{2 \times 3.14 \times 50}$$

$$L = 0.31 \text{ هنری}$$

## ۹-۱-۲ مدار LC موازی

اگر یک سلف و یک خازن را مطابق شکل ۹-۶ به صورت موازی ببندیم و مجموعه را به یک منبع ولتاژ متناوب سینوسی متصل کنیم ، مقدار جریانی که از مدار می گذرد از رابطه ی زیر به دست می آید .

$$I_T = \frac{V_S}{Z} = \frac{V_{eff}}{Z}$$



شکل ۹-۶

## امپدانس

امپدانس کل مدار LC موازی از رابطه ی زیر محاسبه

می شود .

$$Z = \frac{X_L \cdot X_C}{|X_L - X_C|}$$

### مخصوص دانش آموزان علاقه مند :

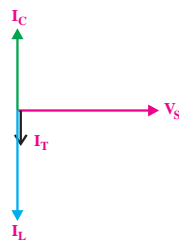
امپدانس کل مدار LC موازی را که از ساده کردن رابطه ی زیر به دست می آید ، محاسبه کنید .

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}$$

توجه داشته باشید که در عمل ، مدار LC (سری یا موازی) خالص وجود ندارد. زیرا هر نوع سلفی حتما دارای یک مقاومت اهمی مربوط به سیم پیچ است. لذا مدار خالص LC سری یا موازی صرفاً به صورت نظری و تئوری توجیه پذیر است و برای تحلیل تقریبی در مدارها به کار می رود.

## دیاگرام برداری

دیاگرام برداری جریان ها در مدار LC موازی در شکل ۹-۷ رسم شده است .



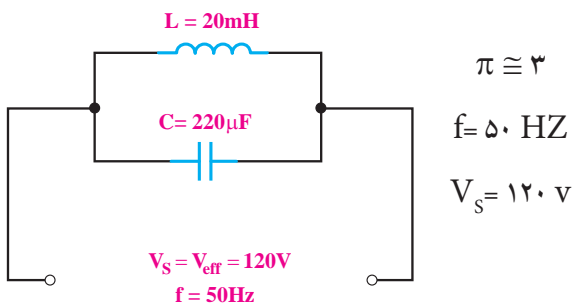
شکل ۹-۷ دیاگرام برداری مدار LC موازی

**مثال ۴:** در مدار شکل ۹-۹ مطلوب است:

الف - امپدانس مدار

ب - جریان کل مدار

ج - خاصیت مدار



شکل ۹-۹

**حل:**

الف - محاسبه‌ی امپدانس مدار:

$$X_L = 2\pi fL = 2 \times 3.14 \times 50 \times 20 \times 10^{-3} = 6.28 \Omega$$

$$X_L = 6.28 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 220 \times 10^{-6}} = 15.9 \Omega$$

$$Z = \frac{X_C \cdot X_L}{X_C - X_L} = \frac{15.9 \times 6.28}{15.9 - 6.28} = 10.0 \Omega$$

ب- محاسبه‌ی جریان کل مدار

$$I_T = \frac{V_S}{Z} = \frac{120}{10} = 12 \text{ A}$$

$$I_L > I_C \Rightarrow X_C > X_L \Rightarrow \text{مدار خاصیت سلفی دارد}$$

## ۲-۹ مدار RLC سری

### ۱-۲-۹ رفتار مدار RLC سری در ولتاژ DC

اگر یک مقاومت اهمی، یک سلف و یک خازن را مانند

شکل ۹-۱۰ به یکدیگر ببندیم، مدار RLC سری تشکیل

می‌شود.

به سبب مخالفت راکتانس سلف با خازن، اگر  $I_C$  با  $I_L$

مساوی باشد، جریان کل مدار در حالت رزونانس برابر با

صفر می‌شود.

چنانچه جریان سلف ( $I_L$ ) بیشتر از جریان خازن ( $I_C$ )

باشد، مدار خاصیت سلفی و اگر ( $I_C$ ) بزرگتر از ( $I_L$ ) باشد

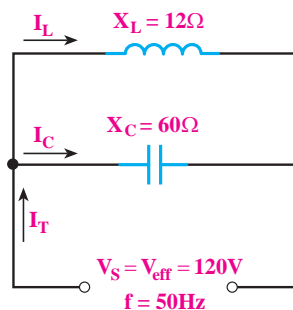
مدار خاصیت خازنی دارد.

$I_L > I_C \Rightarrow$  مدار خاصیت سلفی دارد

$I_C > I_L \Rightarrow$  مدار خاصیت خازنی دارد

**مثال ۳:** جریان کل و جریان هر شاخه را در مدار شکل

۸-۹ به دست آورید.



شکل ۸-۹

**حل:**

چون ولتاژ در مدار ثابت است، جریان هر شاخه با استفاده

از قانون اهم محاسبه می‌شود.

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{120}{12} = 10 \text{ A}$$

مدار خاصیت سلفی دارد

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{120}{60} = 2 \text{ A}$$

$$I_C = 2 \text{ A}$$

مدار خاصیت سلفی دارد.  $I_T = I_L - I_C \Rightarrow$

$$I_T = 10 - 2 = 8 \text{ A}$$

$$I_T = 8 \text{ A}$$



به روش دیگری نیز می توان  $R_{AB}$  را به دست آورد .

$$R_{AB} = R_S + X_L + X_C$$

در ولتاژ DC فرکانس  $f$  برابر صفر است لذا :

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi \times (0) \times L = 0 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi (0)C} = \frac{1}{0} = \infty$$

چون مقاومت خازنی در  $f=0$  برابر  $\infty$  می شود پس در

مدار DC مقدار  $R_{AB}$  برابر با بی نهایت ( $\infty$ ) است .

$$R_{AB} = R_S + 0 + \infty = \infty$$

## ۲-۲-۹ رفتار مدار RLC سری در جریان متناوب

اگر یک مقاومت اهمی ، یک سلف و یک خازن را

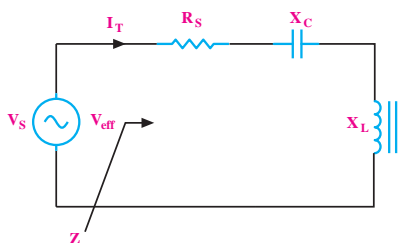
مطابق شکل ۹-۱۲ به صورت سری به یکدیگر وصل کنیم و

سپس این مدار را به یک منبع جریان متناوب سینوسی اتصال

دهیم، مقدار مؤثر جریانی که از مدار می گذرد از رابطه ی زیر

به دست می آید .

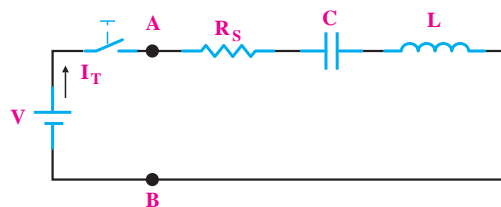
$$I_T = I_{eff} = \frac{V_{eff}}{Z}$$



شکل ۹-۱۲ مدار RLC سری

## تحقیق کنید: به چه دلیل در مدار RLC

سری مقدار جریان کل با جریان مؤثر برابر است.



شکل ۹-۱۰ مدار RLC سری

چون عکس العمل سلف و خازن در مدار یکسان نیست

اگر مدار RLC سری را به ولتاژ DC وصل کنیم ، بعد از

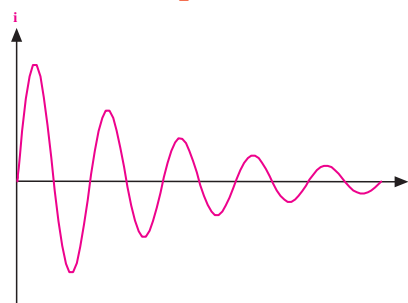
وصل کلید ، تا لحظاتی جریان در مدار تغییر می کند . شکل

جریان در مدار بستگی به مقدار عناصر دارد . ممکن است

برای لحظاتی به صورت شکل ۹-۱۱ باشد ولی صرف نظر از

این شکل موج ، بعد از مدتی جریان در مدار به صفر می رسد.

$$I=0$$



شکل ۹-۱۱ جریان مدار RLC سری در ولتاژ DC

اگر مقاومت ورودی را از دو نقطه ی A و B در مدار

شکل ۹-۱۰ محاسبه کنیم ، باید ولتاژ بین دو نقطه ی A و

B را بر جریان مدار تقسیم کنیم . چون خازن در مدار کاملاً

شارژ می شود و دیگر از منبع ، جریان نمی کشد بنابراین جریان

مدار صفر خواهد بود . پس مقاومت مدار از دو نقطه A و B

خیلی بزرگ و از نظر تئوری بی نهایت می شود .

$$\left. \begin{aligned} R_{AB} &= \frac{V_{AB}}{I} \\ I &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_{AB} = \infty$$

## امپدانس

در یک مدار RLC سری، مقدار  $Z$  (امپدانس) از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (\Omega)$$

## اختلاف فاز

در مدار RLC سری، اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ می‌تواند بین صفر تا ۹۰ درجه تغییر کند. مقدار دقیق اختلاف فاز به مقادیر  $R$  و  $X_L$  و  $X_C$  بستگی دارد.

روابط فازی بین ولتاژ و جریان در مدار به شرح زیر

است:

$V_L$  نسبت به  $I_T$ ، ۹۰ درجه پیش فاز است.

$V_C$  نسبت به  $I_T$ ، ۹۰ درجه پس فاز است.

$V_R$  با جریان  $I_T$  هم فاز است.

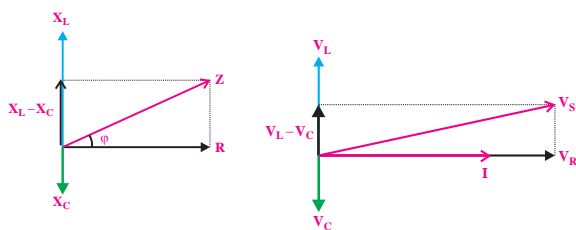
## دیاگرام برداری

مقادیر  $R_S$ ،  $X_L$  و  $X_C$  را به صورت برداری نیز نشان می‌دهند. همیشه بین جریان مدار و ولتاژ کل مدار اختلاف فاز وجود دارد. زاویه‌ی  $\phi$  اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ است و مقدار آن از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

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

مقدار  $\phi$  را می‌توانیم با استفاده از جدول مثلثاتی به دست

آوریم. در شکل ۱۳-۹ دیاگرام برداری امپدانس‌های مدار و دیاگرام برداری ولتاژها و جریان مدار رسم شده است.



ب- امپدانس

الف - ولتاژها و جریان

شکل ۱۳-۹ دیاگرام‌های برداری

## ولتاژهای مدار

در شکل ۱۴-۹ که یک مدار RLC سری است. ولتاژ دو

سر عناصر مدار از روابط زیر به دست می‌آید، چون  $I_T = I_{eff}$

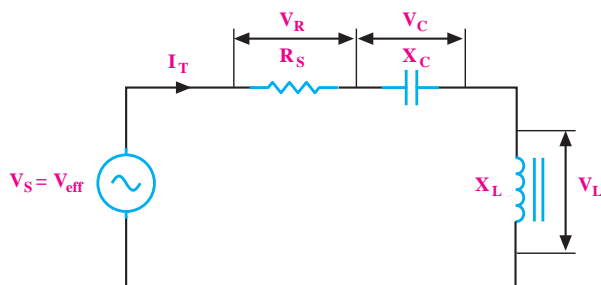
است پس می‌توانیم بنویسیم:

$$V_R = I_T \cdot R = I_{eff} \times R$$

$$V_L = I_T \cdot X_L = I_{eff} \times X_L$$

$$V_C = I_T \cdot X_C = I_{eff} \times X_C$$

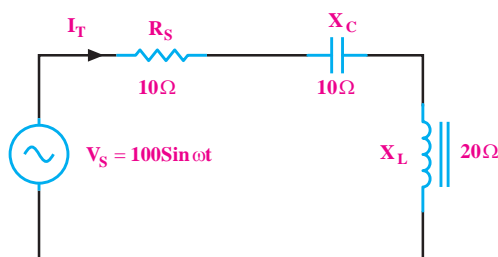
$$\text{ولتاژ کل مدار } V_S = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$



شکل ۱۴-۹ ولتاژهای مدار

**مثال ۵:** در مدار شکل ۱۵-۹ جریان موثر را به دست

آورید:



شکل ۱۵-۹ مثال ۵

برای به دست آوردن جریان مدار از رابطه‌ی زیر استفاده می‌کنیم:

$$I_T = I_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{eff}}}{Z}$$

مقدار  $Z$  را به دست می‌آوریم:

$$Z = \sqrt{(10)^2 + (20 - 10)^2} = \sqrt{200}$$

$$Z = 14.14 \, \Omega$$

مقدار ولتاژ مؤثر را اندازه می‌کنیم:

$$V_{\text{eff}} = \frac{100}{\sqrt{2}} = 70.7 \, \text{V}$$

مقادیر را در رابطه‌ی جریان جایگزین می‌کنیم.

$$I_{\text{eff}} = \frac{70.7}{14.14} = 5 \, \text{A}$$

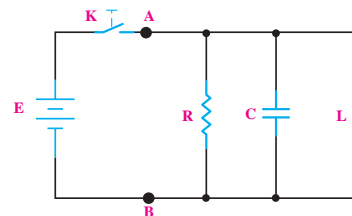
$$I_T = I_{\text{eff}} = 5 \, \text{A}$$

### ۳-۹ مدار RLC موازی

#### ۱-۳-۹ رفتار مدار RLC موازی در ولتاژ DC

اگر یک مقاومت اهمی، یک سلف و یک خازن را

مطابق شکل ۹-۱۶ با یکدیگر موازی ببندیم، مدار RLC موازی شکل می‌گیرد.



شکل ۹-۱۶ مدار RLC موازی

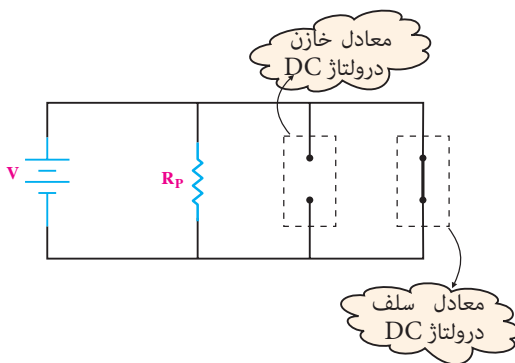
بعد از وصل کلید، خازن بلافاصله شارژ می‌شود و جریان

از مقاومت اهمی و بعد از مدتی جریان  $\frac{E}{r}$  (مقاومت اهمی خود سلف) از سلف عبور می‌کند.

مقاومت از دو نقطه‌ی A و B برابر  $R_{AB} = R \parallel r = \frac{R \cdot r}{R + r}$  است که معمولاً به دلیل کوچک بودن  $r$  بسیار کم است.

در ولتاژ DC فرکانس برابر صفر است. اگر از مقاومت اهمی سلف ( $r$ ) صرف‌نظر نماییم در ولتاژ DC سلف ایده‌آل مانند یک سیم اتصال کوتاه عمل می‌کند. بعد از وصل کلید، در ولتاژ DC خازن بلافاصله شارژ می‌شود و مقاومت آن بسیار زیاد و از نظر تئوری بی‌نهایت است. امپدانس مدار از دو نقطه‌ی A و B برابر با صفر می‌شود، شکل ۹-۱۷.

$$R_{AB} = 0$$

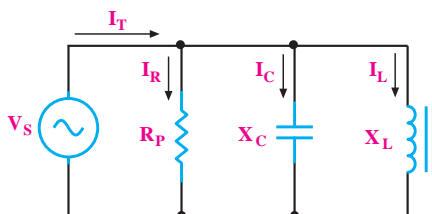


شکل ۹-۱۷

#### ۲-۳-۹ رفتار مدار RLC موازی در جریان متناوب

اگر مقاومت اهمی، سلف و خازن را مطابق شکل ۹-۱۸ به صورت موازی به یکدیگر وصل کنیم و سپس مجموعه را به یک منبع جریان متناوب اتصال دهیم، جریان کل مدار از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$I_T = I_{\text{eff}} = \frac{V_S}{Z}$$



شکل ۹-۱۸ مدار RLC موازی

## جریان‌های مدار

در یک مدار RLC موازی، روابط زیر برقرار است:

جریان عبوری از مقاومت R (جریان مؤثر)

$$I_R = \frac{V_S}{R}$$

جریان عبوری از سیم پیچ (جریان سلفی)

$$I_L = \frac{V_S}{X_L}$$

جریان عبوری از خازن (جریان خازنی)

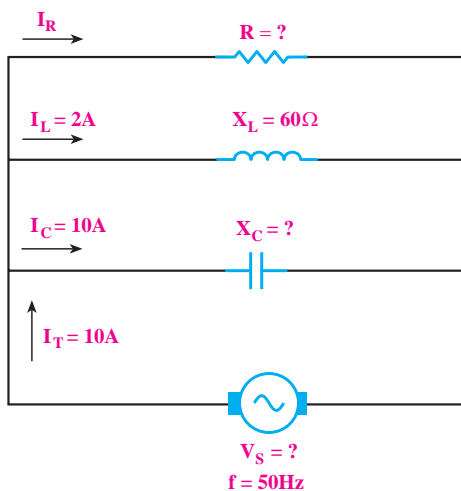
$$I_C = \frac{V_S}{X_C}$$

جریان کل مدار

$$I_T = I_{\text{eff}} = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

**مثال ۶:** در مدار شکل ۲۰-۹ با توجه به مقادیر

جریان‌های  $I_L$  و  $I_C$  و  $I_T$  مطلوبست:



شکل ۲۰-۹

الف - جریان  $I_R$

ب - ولتاژ مدار

ج - امپدانس مدار

د -  $R$  و  $X_C$

مخصوص دانش‌آموزان علاقه‌مند:

## امپدانس

مقدار امپدانس مدار ( $Z$ ) از رابطه‌ی

زیر محاسبه می‌شود:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R} + \left( \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \right)^2$$

مقدار امپدانس ( $Z$ ) از رابطه‌ی  $Z = \frac{V_S}{I_T}$  نیز محاسبه می‌شود.

می‌شود.

## اختلاف فاز

در مدار RLC موازی، اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ بین

صفر تا ۹۰ درجه می‌تواند تغییر کند.

روابط فازی بین جریان‌ها و ولتاژ کل مدار به شرح زیر

است:

۱ - نسبت  $I_L$  به  $V_S$ ، ۹۰ درجه پس فاز است.

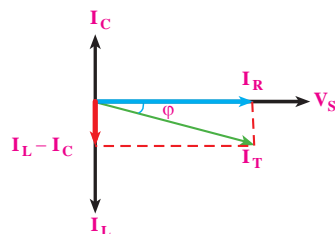
۲ - نسبت  $I_C$  به  $V_S$ ، ۹۰ درجه پیش فاز است.

۳ -  $I_R$  با جریان  $V_S$  هم فاز است.

## دیاگرام برداری

دیاگرام برداری جریان‌ها و ولتاژ مدار در شکل ۱۹-۹

نشان داده شده است.



شکل ۱۹-۹ دیاگرام برداری مدار RLC موازی

حل :

ابتدا مقدار  $I_R$  را محاسبه می کنیم .

$$I_T = I_{\text{eff}} = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

$$10 = \sqrt{I_R^2 + (10 - 2)^2} \Rightarrow I_R = 6 \text{ A}$$

$$I_R = 6 \text{ A}$$

با توجه به مقدار  $X_L$  مقدار  $V_S$  را به دست می آوریم :

$$V_S = X_L \cdot I_L = 60 \times 2 = 120 \text{ V}$$

$$V_S = 120 \text{ V}$$

با استفاده از مقادیر  $V$  و  $I_R$  مقدار  $R$  را محاسبه می کنیم:

$$R = \frac{V_S}{I_R} = \frac{120}{6} = 20 \Omega$$

$$R = 20 \Omega$$

به همین ترتیب مقادیر  $X_C$  و  $Z$  را به دست می آوریم :

$$X_C = \frac{V_S}{I_C} = \frac{120}{10} = 12 \Omega$$

$$X_C = 12 \Omega$$

$$Z = \frac{V_S}{I_T}$$

$$Z = \frac{120}{10} = 12 \Omega$$

توجه

در مدارهای RLC سری و موازی،  $R_S$  مقاومت سری و  $R_P$  مقاومت موازی است .



## تمرین کلاسی ۱ :

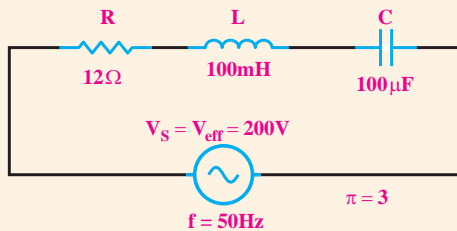
با در نظر گرفتن مدار شکل ۲۱-۹ مطلوب است :

الف - امپدانس مدار

ب - جریان مدار

ج - ولتاژ دو سر هر یک از قطعات

د - اختلاف فاز  $\phi$

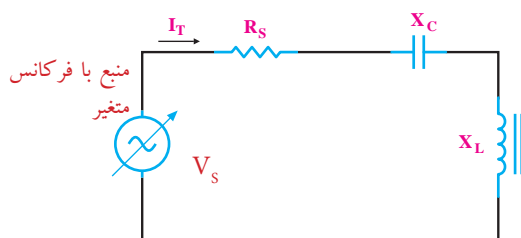


شکل ۲۱-۹

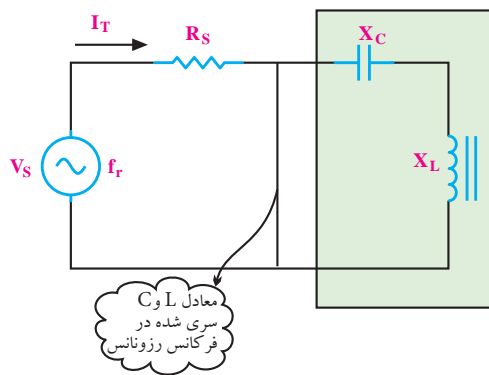
## ۴-۹ رزونانس در مدار RLC سری

### ۱-۴-۹ تعریف رزونانس

در یک مدار RLC سری، اگر فرکانس منبع تغذیه مدار قابل تغییر باشد، با تغییر فرکانس منبع در یکی از فرکانس‌ها (فقط و فقط به ازای یک فرکانس)،  $X_L = X_C$  می شود، شکل ۲۲-۹. این فرکانس را **فرکانس رزونانس** می نامند.



شکل ۲۲-۹ مدار RLC سری



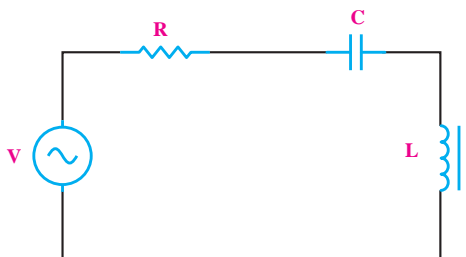
شکل ۹-۲۴ جریان مدار در حالت رزونانس سری

## ۲- ۴- ۹ فرکانس رزونانس در مدار RLC سری

در یک مدار RLC سری، هرگاه  $X_L = X_C$  شود، مدار به حال رزونانس یا تشدید در می آید، شکل ۹-۲۵. در این حالت مقدار  $X_C$  و  $X_L$  از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$X_L = 2\pi f L$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f c}$$



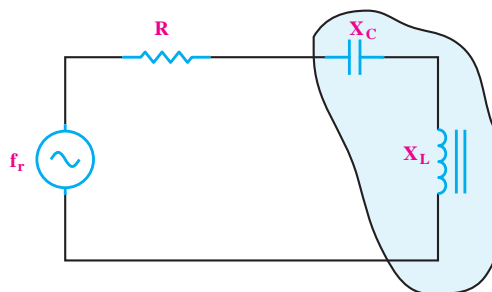
شکل ۹-۲۵ رزونانس در مدار RLC

در یک مدار RLC سری چنانچه  $X_L$  را مساوی  $X_C$  قرار دهیم، فرکانسی که در آن  $X_C$  و  $X_L$  با هم برابر می‌شوند را می‌توانیم به دست آوریم، مقدار این فرکانس برابر است با:

$$X_L = X_C = 2\pi f L = \frac{1}{2\pi f c}$$

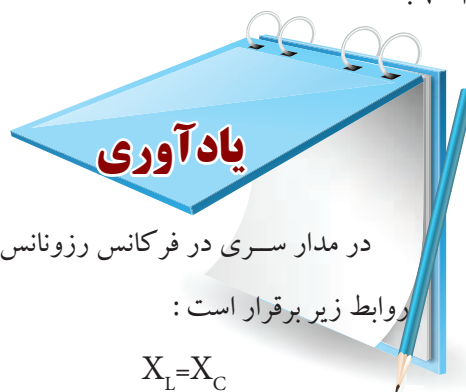
$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

در فرکانس رزونانس، سلف و خازن اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند. در این شرایط امپدانس مدار، می‌نیم و برابر با مقاومت اهمی مدار یعنی  $Z=R$  می‌شود. در این حالت می‌گوییم مدار در حال رزونانس یا تشدید است. فرکانسی که سبب این حالت خاص ( $X_L = X_C$ ) می‌شود را فرکانس رزونانس می‌نامند، شکل ۹-۲۳.



شکل ۹-۲۳ مدار RLC سری در حالت رزونانس

در مدار RLC سری در حالت رزونانس، امپدانس مدار حداقل است و جریان حداکثر از مدار می‌گذرد. جریان مدار همان جریان عبوری از مقاومت R است، شکل ۹-۲۴.



در مدار سری در فرکانس رزونانس روابط زیر برقرار است:

$$X_L = X_C$$

$$I_T = \frac{V_s}{R_s}$$

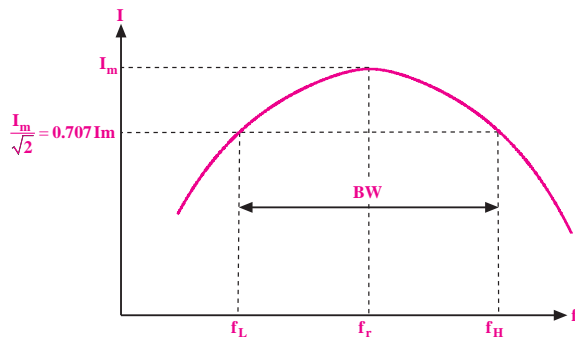
$$Z = R_s$$

امپدانس مدار حداقل و برابر با  $R_s$

است.

### ۳-۴-۹ پهنای باند

جریان در مدار RLC سری برحسب تغییرات فرکانس در شکل ۲۷-۹ ترسیم شده است.



شکل ۲۷-۹ منحنی جریان مدار RLC سری

مطابق شکل ۲۷-۹ طبق تعریف، محدوده‌ای از فرکانس‌ها که در آن جریان مدار بیش‌تر یا مساوی با  $0.707 I_m$  ( $\frac{I_m}{\sqrt{2}}$ ) یعنی تقریباً هفتاد درصد جریان در حالت رزونانس می‌شود را پهنای باند می‌گویند. پهنای باند را با BW نشان می‌دهند. در شکل ۲۷-۹ پهنای باند نشان داده شده است.

$$BW = f_H - f_L = \text{پهنای باند}$$

**مثال ۲:** اگر در یک مدار RLC سری در حالت رزونانس  $f_L = 580$  KHZ و  $f_H = 610$  KHZ باشد، پهنای باند را به دست آورید.

**حل:**

$$BW = f_H - f_L$$

$$BW = 610 - 580$$

$$BW = 30 \text{ KHZ}$$

### ۴-۴-۹ ضریب کیفیت در مدار رزونانس سری

طبق تعریف ضریب کیفیت (Quality factor) در یک مدار RLC سری، در حالت رزونانس به صورت زیر تعریف

می‌شود:

$$Q = \frac{2\pi \times (\text{ماکزیمم انرژی ذخیره شده})}{\text{انرژی تلف شده در یک سیکل}}$$

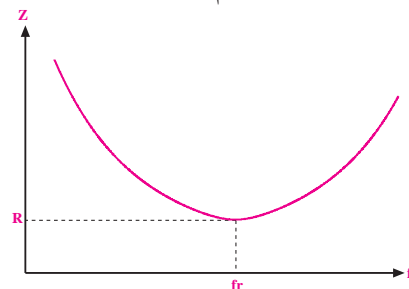
در یک مدار RLC سری، اگر مقدار فرکانس را از صفر به تدریج زیاد کنیم، در فرکانس‌های خیلی کم، راکتانس خازنی مدار با فرض ثابت بودن ظرفیت آن خیلی زیاد می‌شود. در این حالت با توجه به رابطه‌ی راکتانس خازن  $(X_C = \frac{1}{2\pi f C})$  چون  $f$  در مخرج کسر قرار دارد، هر قدر  $f$  کوچک‌تر باشد مقدار  $X_C$  بزرگ‌تر می‌شود. در صورتی که در این مدار فرکانس را به تدریج زیاد کنیم مقدار  $X_C$  کم خواهد شد.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

مقدار راکتانس سلفی مدار در فرکانس‌های کم بسیار کم است، زیرا مقدار راکتانس سلفی، رابطه‌ی مستقیم با فرکانس دارد. بنابراین هر قدر فرکانس را افزایش دهیم مقدار  $X_L$  نیز زیاد می‌شود.

$$X_L = 2\pi f L$$

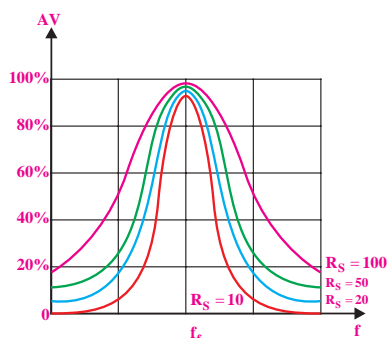
با توجه به سری کردن عناصر  $R$ ،  $L$  و  $C$ ، در یکی از فرکانس‌ها که آن را فرکانس رزونانس ( $f_r$ ) می‌نامند، مقدار  $X_L = X_C$  می‌شود و امپدانس مدار را به حد می‌نیم می‌رساند. در شکل ۲۶-۹ منحنی تغییرات امپدانس مدار RLC سری برحسب تغییرات فرکانس رسم شده است.



شکل ۲۶-۹ منحنی امپدانس مدار RLC سری

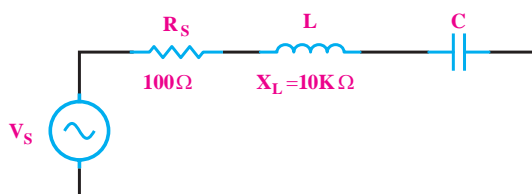
در این حالت در فرکانس رزونانس، جریان در مدار RLC به حداکثر مقدار خود افزایش می‌یابد. منحنی تغییرات

اگر رابطه‌ی  $Q$  را مورد توجه قرار دهیم می‌بینیم که با زیاد شدن مقاومت اهمی، مقدار  $Q$  کم و مقدار پهنای باند زیاد می‌شود. شکل ۲۹-۹ مقدار  $Q$  را در مدار رزونانس سری با مقادیر متفاوت  $R$  نشان می‌دهد.



شکل ۲۹-۹ اثر مقاومت روی  $Q$

**مثال ۸:** در صورتی که در مدار شکل ۳۰-۹ مقدار  $X_L = 10\text{K}\Omega$  و  $R = 100\Omega$  باشد مقدار  $Q$  را به دست آورید.



شکل ۳۰-۹

**حل:**

مقدار  $Q$  را با استفاده از  $X_L$  و  $R$  محاسبه می‌کنیم.

$$Q = \frac{X_L}{R_S}$$

$$Q = \frac{10\text{K}\Omega}{100\Omega}$$

$$Q = 100$$

این ضریب میزان تیزی منحنی تغییرات جریان و پهنای باند را تعیین می‌کند. بین مقدار  $Q$  و پهنای باند و فرکانس رزونانس ( $f_r$ ) رابطه‌ی زیر برقرار است:

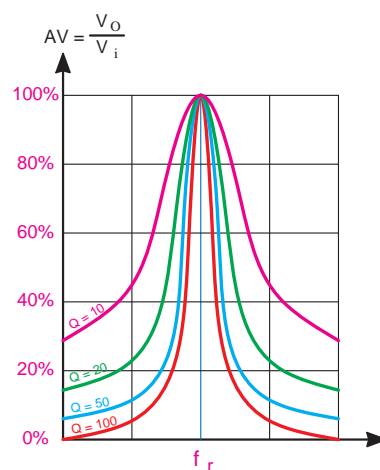
$$Q = \frac{f_r}{BW}$$

ضریب کیفیت  $Q =$

فرکانس رزونانس  $f_r =$

پهنای باند  $BW =$

هر قدر ضریب کیفیت ( $Q$ ) بیش‌تر باشد، منحنی مشخصه‌ی فرکانس تیزتر است. در شکل ۲۸-۹ منحنی مشخصه‌ی مدار RLC سری بر حسب تغییرات فرکانس رسم شده است. اگر شکل را مورد توجه قرار دهیم می‌بینیم که با افزایش مقدار  $Q$ ، پهنای باند کم‌تر می‌شود.



شکل ۲۸-۹ منحنی مشخصه‌ی فرکانس با  $Q$ های مختلف

مقدار  $Q$  مدار رزونانس بستگی به مقدار مقاومت اهمی مدار دارد و از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است.

$$Q = \frac{X_L}{R_S} \quad \text{یا} \quad Q = \frac{X_C}{R_S}$$

که در آن: ضریب کیفیت  $Q =$

راکتانس سلفی  $X_L =$

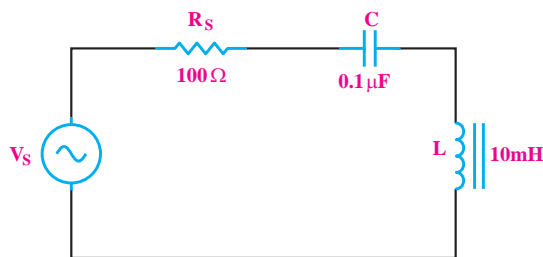
مقاومت اهمی مدار  $R_S =$



مثال ۹: در مدار شکل ۳۱-۹ فرکانس رزونانس، ضریب کیفیت و پهنای باند مدار را در فرکانس رزونانس به دست آورید.

در این صورت می گویند، مدار RLC موازی در حالت رزونانس یا تشدید قرار دارد.

فرکانسی که به ازای آن  $X_L = X_C$  می شود را فرکانس رزونانس می نامند و آن را با  $f_r$  نشان می دهند. در مدار RLC موازی در حالت رزونانس، امپدانس مدار حداکثر و جریان حداقل است.



شکل ۳۱-۹ مربوط به مثال ۸

حل:

محاسبه ی فرکانس رزونانس:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10 \times 10^{-3} \times 0.1 \times 10^{-6}}} \\ f_r = 5035 \text{ Hz}$$

محاسبه ی ضریب کیفیت:

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{2\pi \times 5035 \times 10 \times 10^{-3}}{100} = 316 \\ Q = 316$$

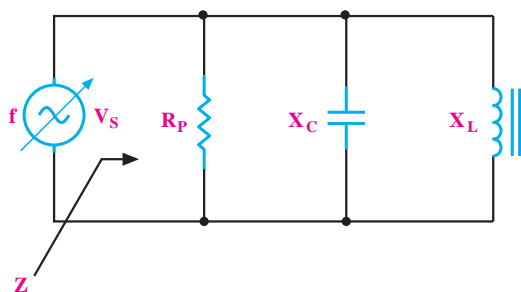
محاسبه ی پهنای باند:

$$BW = \frac{f_r}{Q} = \frac{5035}{316} = 1593 \text{ Hz} \\ BW = 1593 \text{ Hz}$$

## ۵-۹ رزونانس در مدار RLC موازی

### ۱-۵-۹ فرکانس رزونانس در مدار RLC موازی

در مدار RLC موازی شکل ۳۲-۹، اگر فرکانس منبع متغیر باشد، در یک فرکانس خاص  $X_L = X_C$  می شود



شکل ۳۲-۹ مدار RLC موازی

در فرکانس رزونانس روابط زیر برقرار است:

$$X_L = X_C$$

حداکثر مقدار امپدانس  $Z = R$

$$I = \frac{V_s}{R}$$

**بیشتر بدانیم:** همانطور که می دانید در مدار RLC

موازی در فرکانس رزونانس جریان عبوری از  $X_L$  (یعنی  $I_L$ ) و جریان عبوری از  $X_C$  (یعنی  $I_C$ ) باهم برابر می شوند. پس می توانیم بنویسیم:

$$I_L = \frac{V_s}{X_L} \text{ و } I_C = \frac{V_s}{X_C} \Rightarrow \frac{V_s}{X_L} = \frac{V_s}{X_C} \\ \Rightarrow \frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_C} \Rightarrow X_L = X_C$$

$$Q = \frac{f_r}{BW}$$

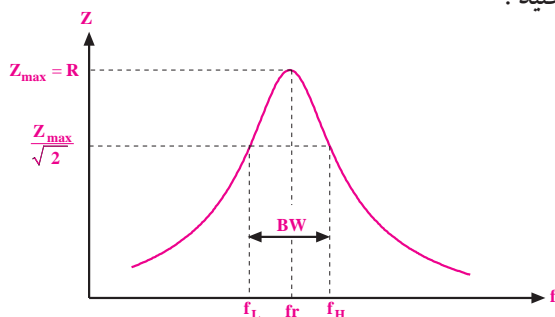
$$Q = \frac{R_p}{X_L} \quad \text{یا} \quad Q = \frac{R_p}{X_C}$$

اگر رابطه‌ی  $Q$  را مورد توجه قرار دهیم، می‌بینیم که در مدار RLC موازی با زیاد شدن مقاومت اهمی، مقدار  $Q$  زیاد و مقدار پهنای باند مدار کم می‌شود.

### ۳-۵-۹ پهنای باند در مدار RLC موازی

پهنای باند در مدار RLC موازی، به محدوده‌ای از فرکانس‌ها گفته می‌شود که امپدانس مدار برابر یا بزرگتر از  $\frac{R}{\sqrt{2}}$  یا  $0.707R$  باشد.

پهنای باند از رابطه‌ی  $BW = \frac{f_r}{Q_r}$  به دست می‌آید. در شکل ۳۴-۹ پهنای باند در مدار رزونانس موازی را مشاهده می‌کنید.



شکل ۳۴-۹ پهنای باند در مدار رزونانس موازی

### ۶-۹ مقایسه مدارهای رزونانس سری و موازی

**الف - فرکانس رزونانس در مدارهای RLC موازی و سری**  
از رابطه  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  به دست می‌آید، شکل ۳۵-۹.

در این مدار برای محاسبه‌ی فرکانس رزونانس کافی است که مقدار  $X_L$  را برابر با  $X_C$  قرار دهیم. بعد از جایگزینی، رابطه‌ی نهایی  $f_r$  به دست می‌آید:

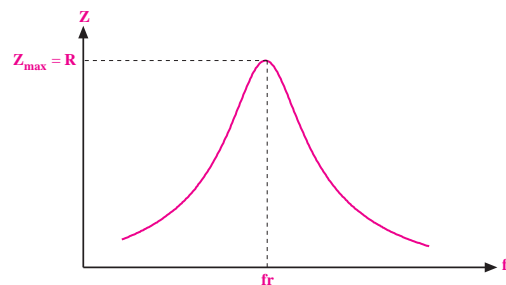
$$X_L = X_C \Rightarrow f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

### تحقیق کنید:

درستی رابطه  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  را در مدار RLC سری و مدار RLC موازی تحقیق کنید.



منحنی تغییرات امپدانس مدار RLC موازی را بر حسب تغییرات فرکانس در شکل ۳۳-۹ مشاهده می‌کنید.



شکل ۳۳-۹ منحنی تغییرات امپدانس مدار RLC موازی بر حسب تغییرات فرکانس

### ۲-۵-۹ ضریب کیفیت در مدار RLC موازی

ضریب کیفیت در مدارهای RLC موازی نیز مانند مدارهای RLC سری تعریف می‌شود:

$$Q = \frac{\text{ماکزیمم انرژی ذخیره شده}}{2\pi \times \text{انرژی تلف شده در یک سیکل}}$$

مقدار  $Q$  در فرکانس رزونانس از روابط زیر به دست

می‌آید:

ت - پهنای باند در مدارهای RLC سری و موازی از

رابطه‌ی زیر به دست می‌آید .

$$BW = \frac{f_r}{Q_r}$$

ث - ضریب کیفیت در مدارهای RLC سری از رابطه‌ی زیر

محاسبه می‌شود .

$$Q = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{\sqrt{\pi f_r C R}} \quad \text{یا} \quad Q = \frac{X_L}{R}$$

در مدارهای RLC موازی ضریب کیفیت از رابطه‌ی زیر

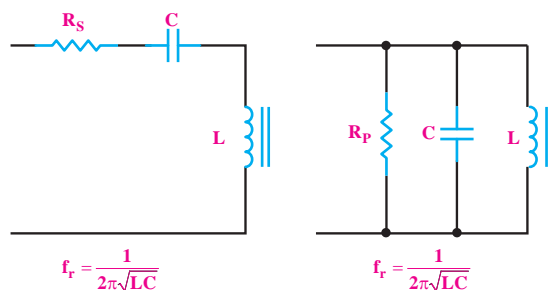
تعیین می‌شود.

$$Q_r = \frac{R}{X_C} = \sqrt{\pi f_r C R} \quad \text{یا} \quad Q = \frac{R}{X_L}$$

ج - امپدانس کل در مدار RLC سری در حالت تشدید

برابر با  $Z=R_s$  است و در مدار RLC موازی در حالت تشدید

مقدار امپدانس کل برابر با  $Z=R_p$  است .

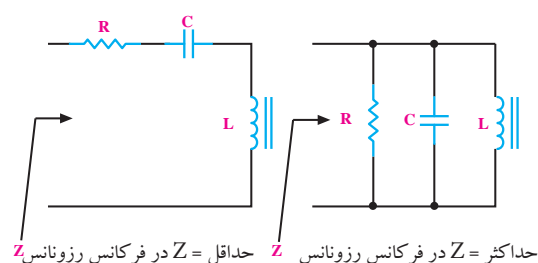


شکل ۹-۳۵

ب - امپدانس در مدار RLC سری در حال رزونانس

حداقل و در مدار RLC موازی در حال رزونانس حداکثر

است، شکل ۹-۳۶.



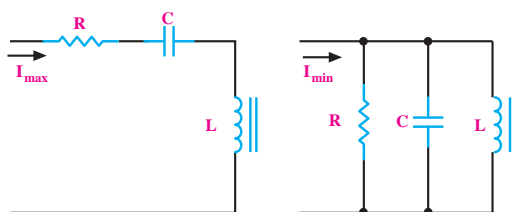
شکل ۹-۳۶ - مقایسه‌ی امپدانس مدار RLC سری و

موازی در حالت رزونانس

پ - جریان کل در مدار RLC سری در حالت رزونانس

حداکثر است ، در صورتی که جریان در مدار RLC موازی

در حال رزونانس به حداقل می‌رسد ، شکل ۹-۳۷.



شکل ۹-۳۷ - مقایسه‌ی جریان مدار RLC سری و موازی در حالت رزونانس

### توجه

در الکترونیک مدارهایی که  
سیم پیچ و خازن داشته باشند را  
مدار هماهنگ می‌نامند .



## ۷-۹ آزمایش شماره (۱)

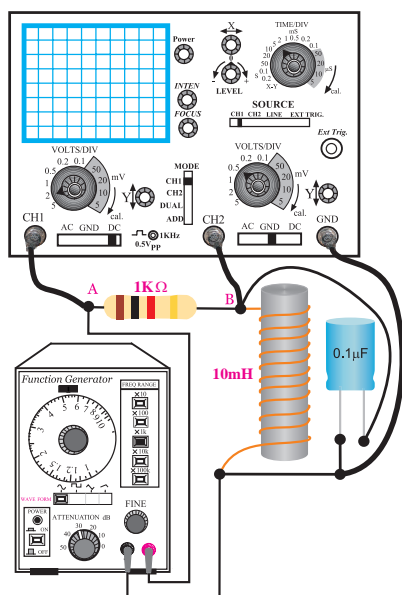
زمان اجرا: ۲ ساعت آموزشی

### ۷-۹-۱ هدف‌های آزمایش:

تعیین فرکانس و امپدانس در مدار هماهنگ موازی به

صورت عملی

### ۷-۹-۲ تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش



ب- مدار عملی

شکل ۹-۳۸ مدار عملی آزمایش

■ با استفاده از رابطه ی  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  فرکانس رزونانس مدار را محاسبه و یادداشت کنید.

$f_r = \dots\dots\dots$

■ کلید انتخاب موج را روی حالت سینوسی قرار دهید.

■ سیگنال ژنراتور را روی فرکانس رزونانس محاسبه شده و دامنه ی ولتاژ ۱۰ ولت پیک تو پیک سینوسی تنظیم کنید.

■ پروب کانال ۱ (CH ۱) را به نقطه ی A و پروب کانال ۲ (CH ۲) را به نقطه ی B وصل کنید و اسیلوسکوپ را روشن کنید.

■ شکل موج نمودار خروجی مدار را از روی صفحه اسیلوسکوپ بر روی شکل ۹-۳۹ رسم کنید و دامنه ی پیک تو پیک سیگنال خروجی و فرکانس را یادداشت کنید.

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	اسیلوسکوپ دو کانال	یک دستگاه
۲	سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۳	مولتی متر دیجیتالی	دو دستگاه
۴	برد برد	یک قطعه
۵	مقاومت اهمی $1K\Omega$	یک عدد
۶	خازن $0.1\mu f$	یک عدد
۷	سلف $10\text{ mH}$	یک عدد
۸	سیم رابط دو سر گیره سوسماری	چهار رشته
۹	سیم رابط یک سر گیره سوسماری	چهار رشته

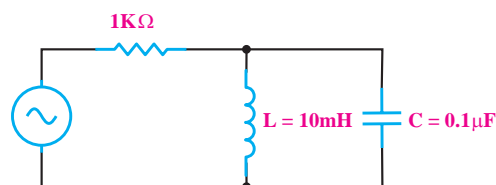
### ۷-۹-۳ مراحل اجرای آزمایش

الف - به دست آوردن فرکانس رزونانس در مدار هماهنگ

موازی

■ وسایل مورد نیاز را آماده کنید.

■ مدار شکل ۹-۳۸ را روی برد ببندید.



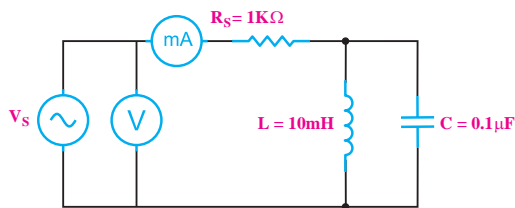
الف- نقشه ی فنی مدار

دامنه پیک تو پیک سیگنال خروجی	
$f_r - 300$	
$f_r - 200$	
$f_r - 100$	
$f_r$	
$f_r + 100$	
$f_r + 200$	
$f_r + 300$	

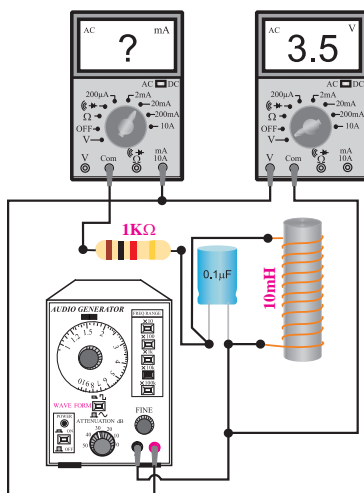
در صورت نیاز با توجه به تجهیزات و امکانات موجود در کارگاه مقادیر را تغییر دهید.

#### ب - تعیین امپدانس مدار هماهنگ موازی LC

■ مدار شکل ۹-۴۰ را روی برد برد ببندید.

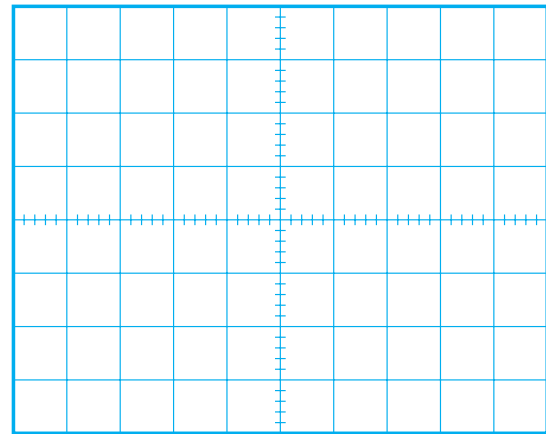


الف - نقشه ی فنی مدار



ب - مدار عملی

شکل ۹-۴۰ مدار آزمایش



شکل ۹-۳۹ شکل موج خروجی

$$V_{p-p} = \dots\dots\dots V$$

$$f = \dots\dots\dots \text{Hz}$$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را نزدیک عدد مربوط به فرکانس رزونانس که در مرحله ی قبل محاسبه شد، تغییر دهید و شکل موج خروجی مدار را مشاهده کنید.

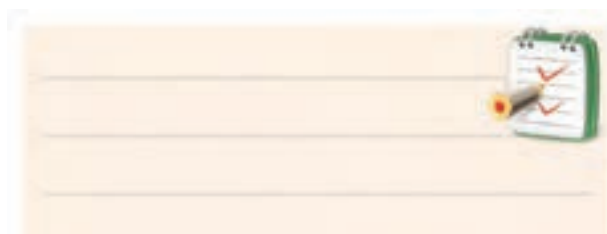
چون در مدار هماهنگ موازی در فرکانس رزونانس امپدانس مدار حداکثر است پس جریان در مدار به حداقل مقدار یعنی  $I_T = \frac{V_S}{R}$  می رسد.

■ در یک فرکانس خاص دامنه ی ولتاژ خروجی سیگنال (CH۲) دارای بیش ترین مقدار است. این فرکانس را یادداشت کنید.

$$f_r = \dots\dots\dots$$

**توضیح:** این فرکانس همان فرکانس رزونانس مدار است که از راه عملی به دست می آید.

■ مقدار فرکانس سیگنال ژنراتور را طبق جدول ۹-۱ تغییر دهید و دامنه ی پیک تو پیک سیگنال خروجی را یادداشت کنید.



#### ۴-۷-۹ نتایج آزمایش:

نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را به طور خلاصه

بیان کنید.

الف-

ب-

ج-

■ کلید سلکتور ولت متر را در حالت AUTO یا رنج ۲۰ V و کلید AC/DC را در حالت AC قرار دهید.

■ کلید سلکتور مولتی متری که به عنوان میلی آمپر متر، به کار برده‌اید را روی ۲۰ mA قرار دهید و کلید AC/DC را در حالت AC بگذارید.

■ ولتاژ خروجی سیگنال ژنراتور را روی  $10 V_{p-p}$  تنظیم کنید.

■ کلید انشعاب موج را روی حالت سینوسی قرار دهید.  
■ فرکانس سیگنال ژنراتور را روی ۱۶ KHz قرار دهید.

■ مقدار ولتاژی را که ولت متر و مقدار جریانی را که میلی آمپر متر نشان می‌دهد در جدول زیر بنویسید.

مقدار ولتاژ توسط ولت متر	V .....
مقدار جریان توسط میلی آمپر متر	mA .....

■ با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده مقدار امپدانس  $Z$  را محاسبه کنید.

$$Z = \frac{V(\text{ولت})}{I(\text{آمپر})} = \frac{V}{I} = \dots\dots\dots \Omega$$

■ مقدار  $Z$  را با استفاده از روابط ریاضی به دست آورید.

$$X = \frac{X_L \cdot X_C}{|X_L - X_C|}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

سؤال ۱: آیا مقدار  $Z$  به دست آمده از طریق محاسبه

با مقدار  $Z$  اندازه گیری شده تقریباً برابرند؟ توضیح دهید.

#### ۸-۹-۲ آزمایش شماره ۲

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

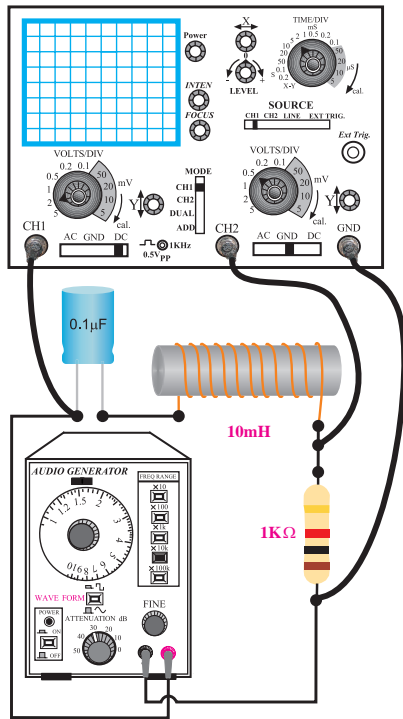
##### ۱-۸-۹ هدف های آزمایش:

به دست آوردن فرکانس رزونانس در مدار RLC سری

و موازی

## ۲- ۸- ۹ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز :

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۲	مولتی متر دیجیتالی	یک دستگاه
۳	برد برد	یک قطعه
۴	مقاومت اهمی $10K\Omega$ و $1K\Omega$	از هر کدام یک عدد
۵	خازن $0.1\mu F$ میکرو فاراد	یک عدد
۶	سلف $10mH$	یک عدد
۷	سیم رابط دو سرگیره سوسماری ۵۰ سانتی متری	چهار رشته
۸	سیم رابط یک سرگیره سوسماری ۵۰ سانتی متری	چهار رشته



ب- مدار عملی

شکل ۴۱-۹ مدار عملی آزمایش

■ با استفاده از رابطه  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  فرکانس

رزونانس مدار را محاسبه و یادداشت کنید .

$$f_r = \dots\dots\dots$$

■ کلید انتخاب موج را روی حالت سینوسی قرار دهید .

■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس رزونانس محاسبه

شده و دامنه‌ی ولتاژ  $10$  ولت پیک تو پیک سینوسی تنظیم کنید .

■ پروب کانال ۱ (CH۱) را به نقطه ی A و پروب

کانال ۲ (CH۲) را به نقطه ی B وصل کنید و اسیلوسکوپ را روشن کنید .

■ شکل موج سیگنال خروجی مدار (سیگنال CH۲) را

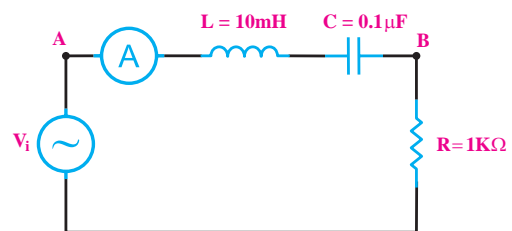
از روی صفحه اسیلوسکوپ در شکل ۴۲-۹ رسم کنید . و

## ۳- ۸- ۹- مراحل اجرای آزمایش

الف - به دست آوردن فرکانس رزونانس در مدار RLC سری

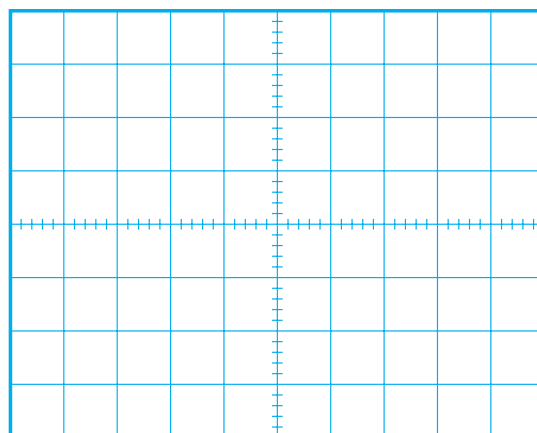
■ وسایل مورد نیاز را آماده کنید .

■ مدار شکل ۴۱-۹ را روی برد ببندید .



الف- نقشه‌ی فنی مدار

دامنه پیک تو پیک سیگنال خروجی و فرکانس را یادداشت کنید .



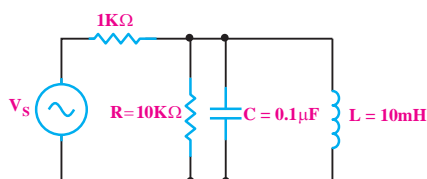
جدول ۹-۲

دامنه پیک تو پیک سیگنال خروجی فرکانس ولتاژ ورودی	
$f_r - 300$	
$f_r - 200$	
$f_r - 100$	
$f_r$	
$f_r + 100$	
$f_r + 200$	
$f_r + 300$	

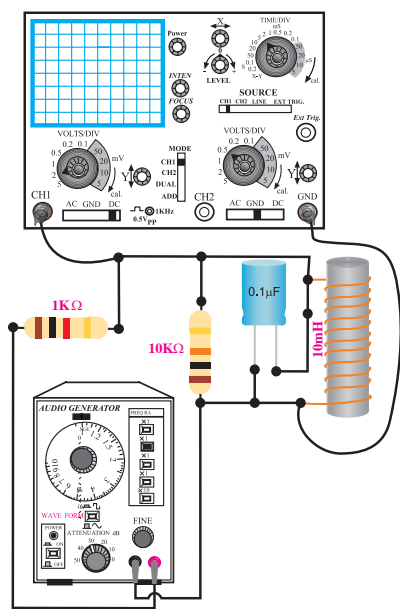
ب - به دست آوردن فرکانس رزونانس در مدار RLC موازی

■ وسایل مورد نیاز را آماده کنید .

■ مدار شکل ۴۳ - ۹ را روی برد برد ببندید .



الف - نقشه ی فنی مدار



ب- مدار عملی

شکل ۴۳-۹ مدار عملی آزمایش

شکل ۴۲-۹ شکل موج خروجی مدار

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را نزدیک عدد مربوط به

فرکانس رزونانس که در مرحله ی قبل محاسبه شده است تغییر دهید و شکل موج را مشاهده کنید .

چون در مدار هماهنگ سری در فرکانس رزونانس

، امپدانس مدار حداقل است ، پس جریان در مدار به

ماکزیمم مقدار یعنی  $I_T = \frac{V_s}{R}$  می رسد .

■ در یک فرکانس خاص دامنه ی ولتاژ خروجی بیشترین

مقدار را دارد . این فرکانس را یادداشت کنید .

$f = \dots\dots\dots$

■ این فرکانس همان فرکانس رزونانس مدار است که از

راه عملی به دست آمده است .

■ مقدار فرکانس سیگنال ژنراتور را طبق جدول ۲ - ۹

تغییر دهید و دامنه پیک تو پیک سیگنال خروجی را یادداشت کنید.



چون در مدار هماهنگ موازی در فرکانس رزونانس، امپدانس مدار حداکثر است، پس جریان در مدار به کمترین مقدار یعنی  $I_T = \frac{V_S}{R}$  می رسد.

■ با استفاده از رابطه‌ی  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  فرکانس رزونانس مدار را محاسبه و یادداشت کنید.  
 $f_r = \dots\dots\dots$

■ در یک فرکانس خاص دامنه‌ی ولتاژ خروجی بیشترین مقدار را دارد. این فرکانس را یادداشت کنید.

$f = \dots\dots\dots$

■ این فرکانس همان فرکانس رزونانس مدار است که از راه عملی به دست آمده است.

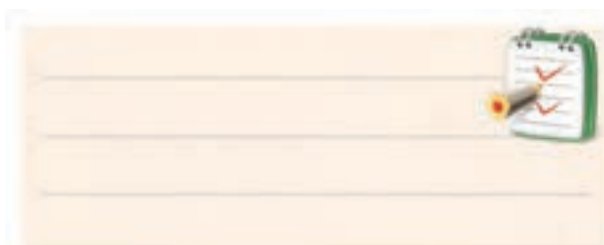
■ مقدار فرکانس سیگنال ژنراتور را طبق جدول ۳-۹ تغییر دهید و دامنه پیک تو پیک سیگنال خروجی را یادداشت کنید.

جدول ۳-۹

دامنه پیک تو پیک سیگنال خروجی	فرکانس ولتاژ ورودی
	$f_r - 300$
	$f_r - 200$
	$f_r - 100$
	$f_r$
	$f_r + 100$
	$f_r + 200$
	$f_r + 300$

#### ۴-۸-۹ نتایج آزمایش:

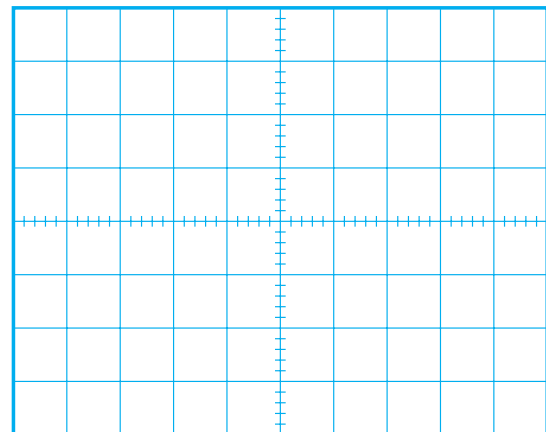
نتایج حاصل از آزمایش‌های الف و ب را به طور خلاصه بیان کنید.



■ کلید انتخاب موج را روی حالت سینوسی قرار دهید.  
 ■ فانکشن ژنراتور را روی فرکانس رزونانس محاسبه شده و دامنه‌ی ولتاژ ۱۰ ولت پیک تو پیک سینوسی تنظیم کنید.

■ پروب کانال ۱ (CH1) را به نقطه‌ی A وصل کنید و اسیلوسکوپ را روشن کنید.

■ شکل موج سیگنال خروجی مدار را از روی صفحه‌ی اسیلوسکوپ در شکل ۴۴-۹ رسم کنید. و دامنه‌ی پیک تو پیک سیگنال خروجی و فرکانس را یادداشت کنید.



شکل ۴۴-۹ شکل موج خروجی مدار

$V_{p-p} = \dots\dots\dots V$

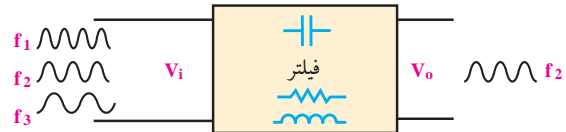
$f = \dots\dots\dots \text{HZ}$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را حول عدد مربوط به فرکانس رزونانس که در مرحله‌ی قبل محاسبه شده است تغییر دهید و شکل موج را مشاهده کنید.

## ۹-۹ فیلترها (Filters)

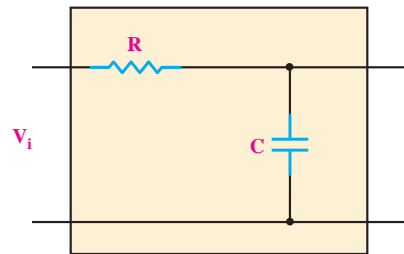
### ۹-۹-۱ تعریف فیلتر

فیلترها مدارهای الکتریکی یا الکترونیکی هستند که اجازه‌ی عبور قسمتی از فرکانس‌ها را از یک مدار به مدار دیگر نمی‌دهند. در حقیقت فیلتر سبب تضعیف دامنه‌ی فرکانس‌هایی می‌شود که نباید عبور کنند، شکل ۹-۴۵.



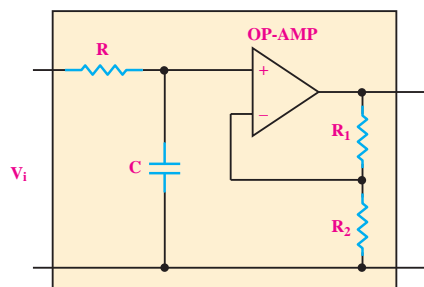
شکل ۹-۴۵ فیلتر

ساختمان بعضی از فیلترها از مقاومت اهمی، سلف و خازن تشکیل می‌شود. به این نوع فیلترها، فیلترهای غیر فعال می‌گویند، شکل ۹-۴۶.



شکل ۹-۴۶ فیلتر غیر فعال

دسته‌ی دیگری از فیلترها، از قطعات الکترونیک، سلف، خازن و مقاومت اهمی تشکیل می‌شوند که به آن‌ها فیلترهای فعال می‌گویند. در شکل ۹-۴۷ یک نمونه فیلتر فعال نشان داده شده است.



شکل ۹-۴۷ فیلتر فعال

به طور کلی دامنه‌ی سیگنال‌های ولتاژ متناوب سینوسی با فرکانس‌های مختلف که از فیلتر غیر فعال عبور می‌کنند تضعیف می‌شوند. در فیلترهای فعال برای تقویت دامنه‌ی سیگنال‌های عبوری، از تقویت کننده استفاده می‌شود.

### انواع فیلتر

در یک دسته بندی کلی فیلترها را می‌توان به چهار دسته به شرح زیر تقسیم کرد:

الف: فیلتر پایین گذر (Low pass filter – LPF)

ب: فیلتر بالاگذر (High pass filter – HPF)

ج: فیلتر میان گذر (فیلتر عبور باند)

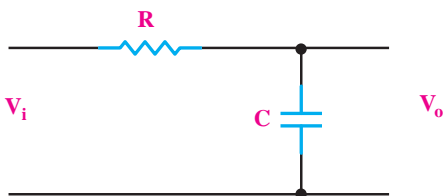
(Band Pass Filter – BPF)

د: فیلتر میان نگذر (فیلتر حذف باند)

(Band Reject Filter – BRF)

### ۹-۹-۲ فیلتر پایین گذر

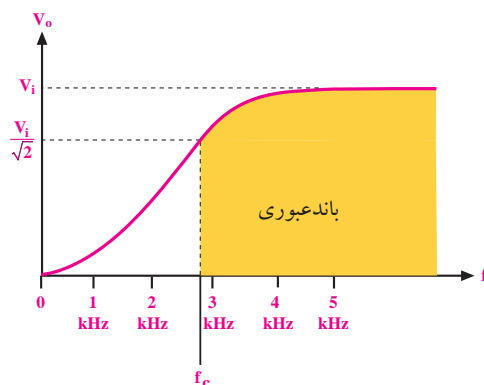
فیلتر پایین گذر، فیلتری است که از فرکانس معینی به پایین را به راحتی از خود عبور می‌دهد. در شکل ۹-۴۸ یک نمونه فیلتر پایین گذر RC نشان داده شده است.



شکل ۹-۴۸ فیلتر پایین گذر RC

این فیلتر فرکانس‌های خیلی کم (صفر) تا فرکانس  $f_c$  (فرکانس قطع) را از خود عبور می‌دهد. برای نشان دادن محدوده‌ی عبور فرکانس‌ها، از یک منحنی به نام منحنی پاسخ فرکانسی استفاده می‌شود، شکل ۹-۴۹.

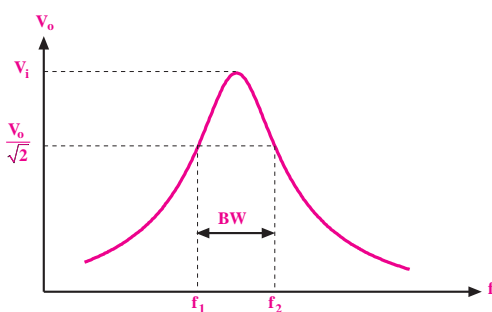
در شکل ۹-۵۱، منحنی پاسخ فرکانس فیلتر بالاگذر نشان داده شده است. همان‌طور که از منحنی پاسخ فرکانسی شکل ۹-۵۱ مشخص است، از فرکانس معینی به بالا را فیلتر از خود عبور می‌دهد. در فرکانس  $f_c$  و فرکانس‌های بیشتر از  $f_c$  دامنه ولتاژ خروجی فیلتر قابل قبول است. فرکانس قطع ( $f_c$ ) از رابطه‌ی  $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$  به دست می‌آید.



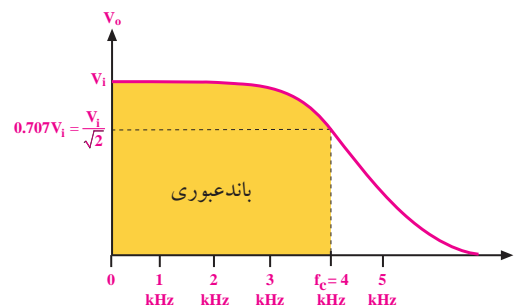
شکل ۹-۵۱ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر

#### ۹-۴-۹ فیلتر میان‌گذر

فیلتر میان‌گذر، فیلتری است که فقط محدوده‌ای از فرکانس‌ها را که بین دو مقدار  $f_p$  و  $f_p$  قرار دارد از خود عبور می‌دهد. در این نوع فیلتر، فرکانس‌های کم‌تر از  $f_p$  یا بیشتر از  $f_p$  با دامنه‌ی قابل قبول عبور نمی‌کند. منحنی پاسخ فرکانسی این نوع فیلتر در شکل ۹-۵۲ نشان داده شده است.



شکل ۹-۵۲ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر میان‌گذر (عبور باند)



شکل ۹-۴۹ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر پایین‌گذر

#### فرکانس قطع:

در شکل ۹-۴۹ در فرکانس ۴ KHz، دامنه‌ی ولتاژ خروجی برابر  $0.707 V_i$  است. لذا فرکانس ۴ KHz فرکانس قطع فیلتر محسوب می‌شود و بنابراین این نوع فیلتر فرکانس‌های صفر تا ۴ KHz را از خود عبور می‌دهد. در فرکانس‌های بیشتر از ۴ KHz، دامنه‌ی ولتاژ خروجی کاهش می‌یابد و قابل قبول نیست.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{فرکانس قطع فیلتر پایین‌گذر RC از رابطه‌ی}$$

به دست می‌آید.

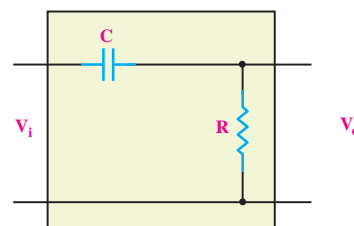
#### نکته‌ی مهم



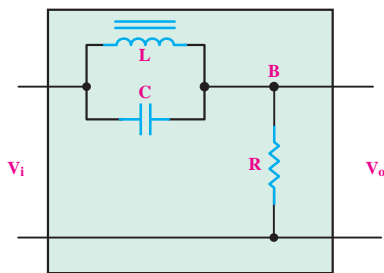
در فرکانس قطع مقدار دامنه‌ی ولتاژ خروجی  $0.707$  دامنه‌ی ولتاژ ورودی می‌شود.

#### ۹-۳-۹ فیلتر بالاگذر

فیلتر بالاگذر، فیلتری است که از فرکانس معینی به بالا را به راحتی از خود عبور می‌دهد. در شکل ۹-۵۰ یک نمونه فیلتر بالاگذر نشان داده شده است.



شکل ۹-۵۰ یک نمونه فیلتر بالاگذر



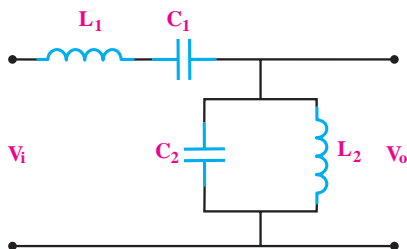
شکل ۹-۵۵ یک نمونه فیلتر میان‌نگذر (فیلتر حذف باند)

#### ۹-۶-۹ نحوه‌ی تشخیص نوع فیلتر

برای تشخیص نوع فیلتر میان‌گذر یا میان‌نگذر سه حد فرکانس  $f=0$ ،  $f=f_c$  و  $f=\infty$  را انتخاب می‌کنیم و وضعیت مدار را در این سه فرکانس مورد بررسی قرار می‌دهیم. برای این منظور ابتدا در رابطه‌ی راکتانس سلف ( $X_L$ ) و راکتانس خازن ( $X_C$ ) به جای فرکانس مقدار  $f=0$  را قرار می‌دهیم، سپس ولتاژ خروجی فیلتر را محاسبه می‌کنیم.

**مثال ۹:** فیلتر رسم شده در شکل ۹-۵۶ از نظر منحنی

پاسخ فرکانسی از چه نوع فیلتری است؟



شکل ۹-۵۶

**حل:**

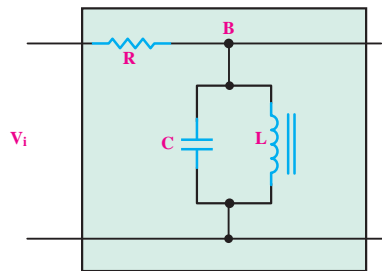
ابتدا راکتانس سلف و خازن را به ازای  $f=0$  به دست

می‌آوریم:

$$f=0 \Rightarrow \begin{cases} X_L = 2\pi fL = 2\pi \times 0 \times L = 0 \\ X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \times 0 \times C} = \frac{1}{0} = \infty \end{cases}$$

در شکل ۹-۵۳ یک نمونه فیلتر میان‌گذر نشان داده شده

است.

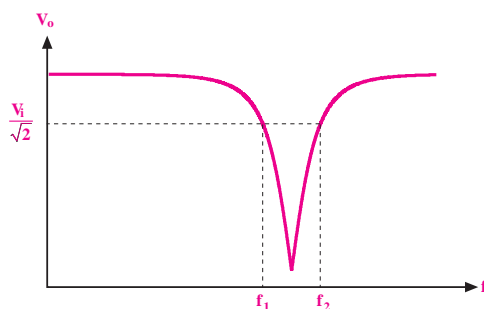


شکل ۹-۵۳ یک نمونه فیلتر میان‌گذر

فرکانسی که در آن ولتاژ خروجی دقیقاً برابر  $\frac{V_i}{\sqrt{2}}$  یا  $0.707 V_i$  باشد را فرکانس قطع فیلتر می‌گویند و آن را با  $f_c$  نشان می‌دهند.

#### ۹-۵-۹ فیلتر میان‌نگذر (فیلتر حذف باند)

فیلتر میان‌نگذر، فیلتری است که فقط محدوده‌ای از فرکانس‌هایی که بین دو مقدار  $f_1$  و  $f_2$  قرار دارد را عبور نمی‌دهد. این فیلتر فرکانس‌های کمتر از  $f_1$  و بیشتر از  $f_2$  را در خروجی ظاهر می‌کند. منحنی پاسخ فرکانس این نوع فیلتر در شکل ۹-۵۴ نشان داده شده است.



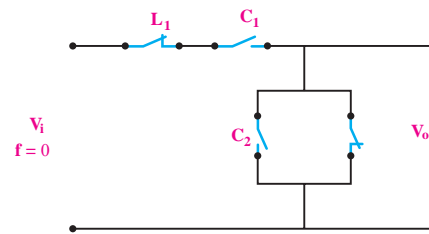
شکل ۹-۵۴ منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر میان‌نگذر (فیلتر حذف باند)

در شکل ۹-۵۵ یک نمونه فیلتر میان‌نگذر نشان داده شده

است.

مدار معادل فیلتر مورد نظر در این حالت، به صورت شکل

۹-۵۷ است.



شکل ۹-۵۷ مدار در فرکانس  $f=0$

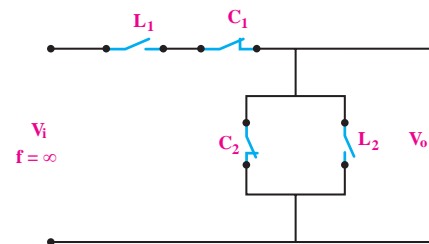
در ادامه مقدار فرکانس را  $f=\infty$  قرار می‌دهیم و مدار

معادل را رسم می‌کنیم.

$$f = \infty \Rightarrow \begin{cases} X_L = \pi f L = \pi \times \infty \times L = \infty \\ X_C = \frac{1}{\pi f C} = \frac{1}{\pi \times \infty \times C} = 0 \end{cases}$$

مدار معادل فیلتر را در فرکانس  $f=\infty$  رسم می‌کنیم، شکل

۹-۵۸.



شکل ۹-۵۸ مدار در فرکانس  $f=\infty$

در مدار شکل ۹-۵۷ به علت اتصال کوتاه بودن سیم‌پیچ

$L_2$  در فرکانس  $f=0$ ، ولتاژ خروجی صفر می‌شود. بنابراین

در مدار شکل ۹-۵۸ به علت اتصال کوتاه بودن خازن  $C_2$  در

فرکانس  $f=\infty$  ولتاژ خروجی صفر است.

پس ولتاژ خروجی در فیلتر مورد نظر، در فرکانس صفر

( $f=0$ ) و فرکانس بی‌نهایت ( $f=\infty$ ) برابر با صفر می‌شود. در

این مرحله عملکرد مدار را در فرکانس رزونانس ( $f_r$ ) بررسی

همان‌طور که می‌دانید در فرکانس رزونانس ( $f_r$ )،

امپدانس سیم‌پیچ ( $X_L$ ) و امپدانس خازن ( $X_C$ ) با هم برابر

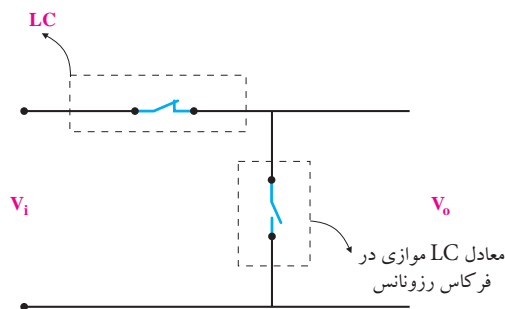
می‌شوند. به علت موازی بودن سلف و خازن در خروجی

فیلتر، در فرکانس رزونانس، بیشترین ولتاژ در خروجی ظاهر

می‌شود. عملکرد مدار در فرکانس رزونانس ( $f_r$ ) در شکل

۹-۵۹ نشان داده شده است.

معادل LC سری در فرکانس رزونانس



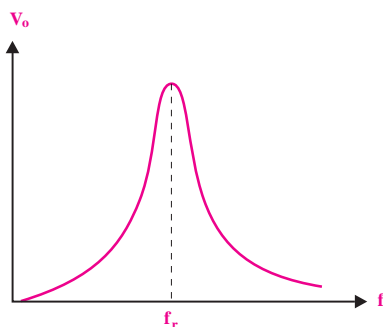
شکل ۹-۵۹ مدار در فرکانس رزونانس

همان‌طور که در شکل ۹-۵۹ مشاهده می‌کنید، در فرکانس

رزونانس عملکرد مدار LC سری و LC موازی نشان داده

شده است. پاسخ فرکانسی فیلتر مورد نظر مانند شکل ۹-۶۰

است.



شکل ۹-۶۰ پاسخ فرکانسی فیلتر

با توجه به پاسخ فرکانسی رسم شده در شکل ۹-۶۰

می‌بینیم که فیلتر مورد بحث از نوع فیلتر میان‌گذر است.

## ۹-۱۰ آزمایش شماره (۳)

زمان اجرا: ۶ ساعت آموزشی

### ۹-۱۰-۱ هدف‌های آزمایش

بررسی عملی انواع فیلترهای پایین‌گذر، بالاگذر، میان‌گذر و حذف‌باند

### ۹-۱۰-۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	سیگنال ژنراتور صوتی	یک دستگاه
۲	اسیلوسکوپ دو کانال	یک دستگاه
۳	مولتی‌متر دیجیتالی	یک دستگاه
۴	مقاومت اهمی $10K\Omega$ ، $100\Omega$ و $10K\Omega$	از هر کدام یک عدد
۵	خازن‌های $10nf$ و $22nf$	از هر کدام یک عدد
۶	بوبین $10\text{ mH}$	یک عدد
۷	سیم رابط یک سرگیره سوسماری $50$ سانتی‌متری	دو رشته
۸	سیم رابط یک سرگیره سوسماری $50$ سانتی‌متری	چهار رشته

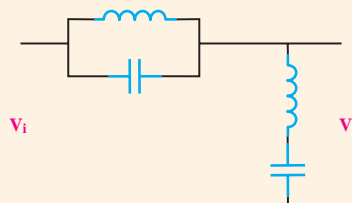
### توجه

با توجه به قطعات موجود در آزمایشگاه می‌توانید مقادیر سلف و خازن را در کلیه‌ی آزمایش‌ها تغییر دهید.



### تمرین کلاسی ۲: فیلتر شکل ۹-۶۱ از نظر

منحنی پاسخ فرکانسی، چه نوع فیلتری است؟

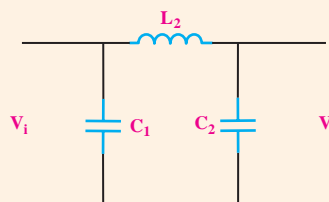


شکل ۹-۶۱



### تمرین کلاسی ۳: فیلتر شکل ۹-۶۲ از چه

نوع فیلتری است؟



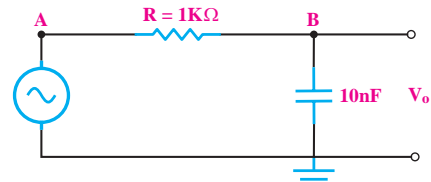
شکل ۹-۶۲



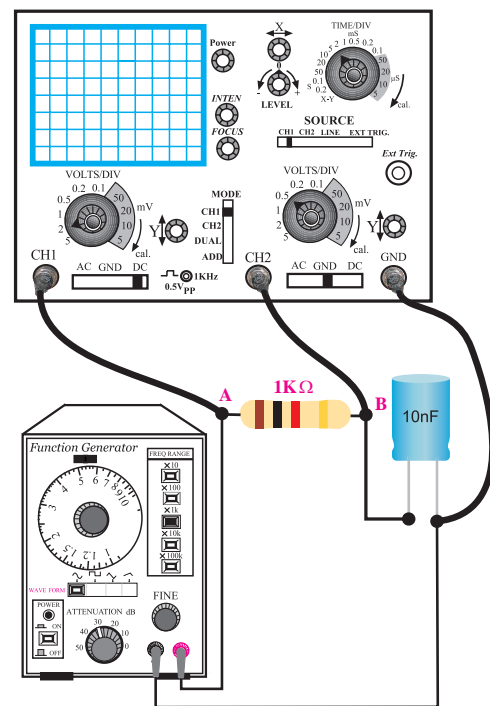
### الف- بررسی فیلتر پایین گذر و اندازه گیری فرکانس قطع

#### فیلتر

مدار شکل ۹-۶۳ را روی بردبرد ببندید.



الف - نقشه ی فنی مدار



ب- مدار عملی

شکل ۹-۶۳ مدار آزمایش

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و روی فرکانس ۱۵KHz

سینوسی و دامنه ی ولتاژ ۱۰ ولت پیک تو پیک تنظیم کنید.

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم های لازم را روی

■ پروب کانال ۱ (CH ۱) را به نقطه ی A و پروب

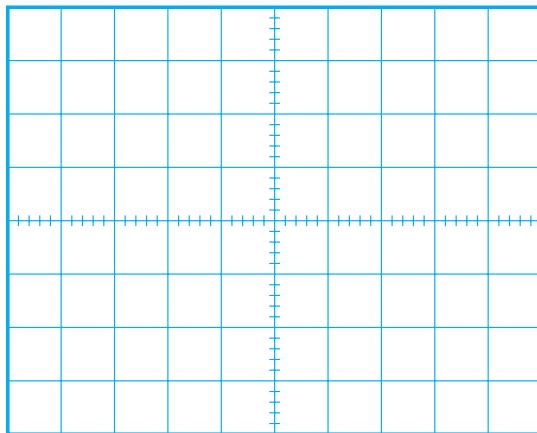
کانال ۲ (CH ۲) را به نقطه ی B وصل کنید.

■ سیگنال های ولتاژ ورودی و خروجی مدار را به کمک

اسیلوسکوپ روی نمودارهای شکل ۹-۶۴ و ۹-۶۵ با مقیاس

مناسب رسم کنید. مقدار پیک تو پیک و فرکانس سیگنال ها

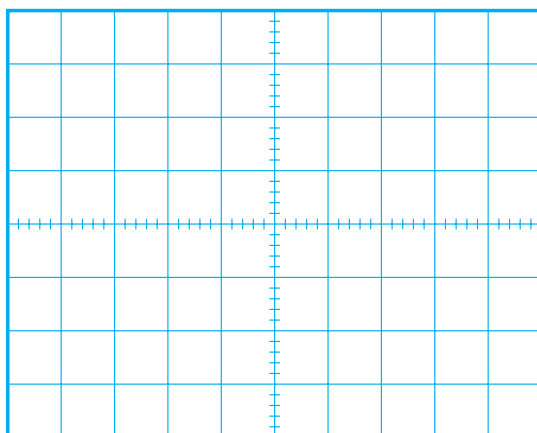
را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.



$f = \dots\dots\dots \text{Hz}$

$V_{i_{p-p}} = \dots\dots\dots \text{V}$

شکل ۹-۶۴ سیگنال ورودی



$f = \dots\dots\dots \text{Hz}$

$V_{o_{p-p}} = \dots\dots\dots \text{V}$

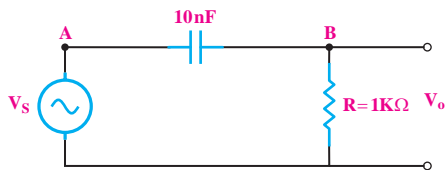
شکل ۹-۶۵ سیگنال خروجی

## ب- بررسی فیلتر بالا گذر و اندازه گیری فرکانس قطع فیلتر

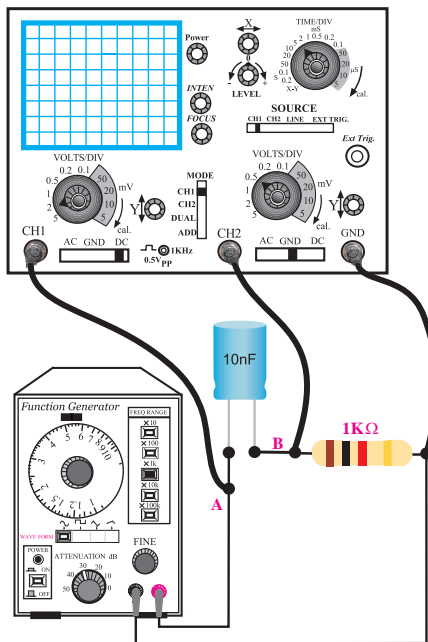
مدار شکل ۹-۶۶ را روی بردبرد ببندید.

### توجه

اگر محل اتصال مقاومت و خازن را در آزمایش قبل جابه جا کنید، در این حالت فیلتر پایین گذر به فیلتر بالاگذر تبدیل می شود.



الف - نقشه فنی مدار



ب- مدار عملی

شکل ۹-۶۶

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و روی فرکانس

۱۶KHz سینوسی و دامنه‌ی ولتاژ ۱۰ ولت پیک تو پیک

تنظیم کنید.

■ با استفاده از رابطه‌ی  $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$  فرکانس قطع فیلتر پایین گذر را محاسبه و یادداشت کنید.

$$f_c = \dots\dots\dots \text{Hz}$$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را روی فرکانس قطع ( $f_c$ )

محاسبه شده تنظیم کنید. در این حالت دامنه‌ی ولتاژ خروجی را اندازه بگیرید و در جدول ۹-۴ یادداشت کنید.

جدول ۹-۴

ولتاژ خروجی $V_{P-P}$	ولتاژ ورودی $V_{P-P}$	فرکانس سیگنال ژنراتور
		$f_c - 3 \text{ KHz}$
		$f_c - 2 \text{ KHz}$
		$f_c - 1 \text{ KHz}$
		$f_c$
		$f_c + 1 \text{ KHz}$
		$f_c + 2 \text{ KHz}$
		$f_c + 3 \text{ KHz}$

■ طبق جدول ۹-۴ فرکانس سیگنال ژنراتور را تغییر

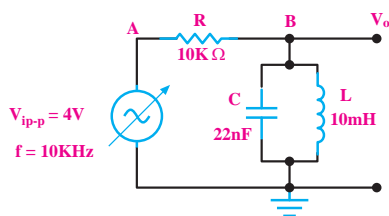
دهید. در هر مرحله دامنه‌ی پیک تو پیک ورودی و خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

**سوال ۲:** با توجه به جدول ۹-۴ بیشینه‌ی ولتاژ خروجی

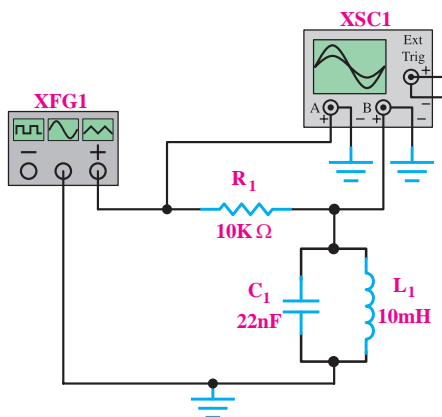
برای کدام سیگنال ورودی به وجود می آید؟ چرا؟







الف - نقشه فنی مدار



ب- مدار عملی

شکل ۶۷-۹ مدار آزمایش

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و روی فرکانس ۱۰ KHz سینوسی و دامنه‌ی ولتاژ  $V_{p-p} = 10$  تنظیم کنید.

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید.

■ پروب کانال ۱ (CH ۱) را به نقطه‌ی A و پروب کانال ۲ (CH ۲) را به نقطه‌ی B وصل کنید.

■ با تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور، بیشینه‌ی دامنه‌ی سیگنال خروجی را اندازه بگیرید.

$$V_o = \dots\dots\dots V \text{ بیشترین مقدار ولتاژ خروجی}$$

■ در چه فرکانسی دامنه‌ی ولتاژ خروجی بیشترین مقدار را دارد، یادداشت کنید.

$$f_r = \dots\dots\dots$$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را آنقدر کاهش دهید تا

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید.

■ پروب کانال ۱ (CH ۱) را به نقطه‌ی A و پروب

کانال ۲ (CH ۲) را به نقطه‌ی B وصل کنید.

با استفاده از رابطه‌ی  $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$  فرکانس قطع فیلتر بالا گذر را محاسبه کنید و مقدار آن را بنویسید.

$$f_c = \dots\dots\dots \text{Hz}$$

■ با تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور، بیشینه‌ی دامنه‌ی

سیگنال خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_o = \dots\dots\dots V \text{ بیشترین مقدار ولتاژ خروجی}$$

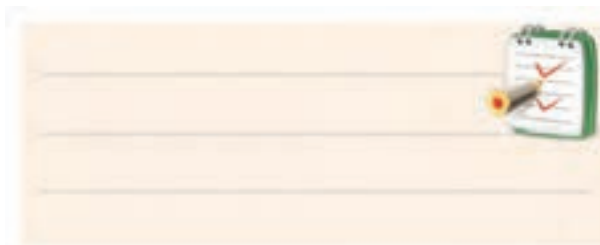
■ فرکانس سیگنال ژنراتور را آنقدر تغییر دهید تا دامنه‌ی سیگنال خروجی به ۷۰٪ درصد بیشترین مقدار ولتاژ خروجی برسد.

فرکانس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$f_c = \dots\dots\dots \text{Hz}$$

**سوال ۳:** آیا مقدار فرکانس اندازه‌گیری شده با مقدار

فرکانس  $f_c$  محاسبه شده در مراحل قبل یکسان است؟ توضیح دهید.



**ج: بررسی فیلترهای میان‌گذر و میان‌نگذر و اندازه‌گیری**

فرکانس رزونانس ( $f_r$ )، فرکانس قطع پایین ( $f_L$ ) و فرکانس قطع بالا ( $f_H$ ).

■ مدار شکل ۶۷-۹ را روی بردبرد ببندید.

■ سیگنال ژنراتور را روشن کنید و روی فرکانس ۱۰ KHz سینوسی و دامنه‌ی ولتاژ  $V_{p-p} 16$  تنظیم کنید.

■ اسیلوسکوپ را روشن کنید.

■ پروب کانال ۱ (CH ۱) را به نقطه‌ی A و پروب کانال ۲ (CH ۲) را به نقطه‌ی B وصل کنید.  
■ با تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور، کمترین دامنه‌ی سیگنال خروجی را اندازه بگیرید.

$V_o = \dots\dots\dots V$  کم‌ترین مقدار ولتاژ خروجی

■ در چه فرکانسی دامنه‌ی ولتاژ خروجی کم‌ترین مقدار را دارد.

$f_r = \dots\dots\dots V$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را آن‌قدر افزایش دهید تا دامنه‌ی سیگنال خروجی به ۷۰/۷ درصد بیشترین مقدار ولتاژ ورودی برسد.

■ فرکانس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$f_H = \dots\dots\dots Hz$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را آن‌قدر کاهش دهید تا دامنه‌ی سیگنال خروجی به ۷۰/۷ درصد بیش‌ترین مقدار ولتاژ ورودی برسد.

■ فرکانس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

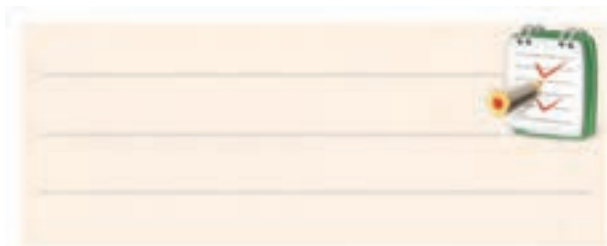
$f_L = \dots\dots\dots Hz$

■ پهنای باند فیلتر میان‌گذر را اندازه‌گیری کنید.

$BW = f_H - f_L = \dots\dots\dots KHz$

#### ۴-۱۰-۹ نتایج آزمایش:

نتایج حاصل از آزمایش‌های الف، ب، ج را به‌طور خلاصه بنویسید.



دامنه‌ی سیگنال خروجی به ۷۰/۷ درصد بیشترین مقدار ولتاژ خروجی برسد.

■ فرکانس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$f_L = \dots\dots\dots Hz$

■ فرکانس سیگنال ژنراتور را آن‌قدر افزایش دهید تا دامنه‌ی سیگنال خروجی به ۷۰/۷ درصد بیشترین مقدار ولتاژ خروجی برسد.

■ فرکانس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$f_H = \dots\dots\dots Hz$

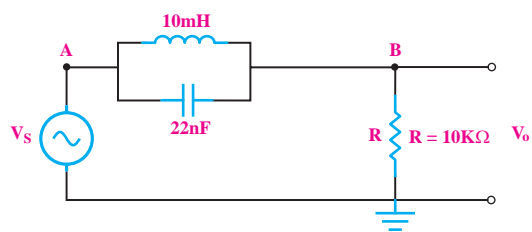
■ پهنای باند فیلتر میان‌گذر را اندازه‌گیری کنید.

$BW = f_H - f_L = \dots\dots\dots Hz$

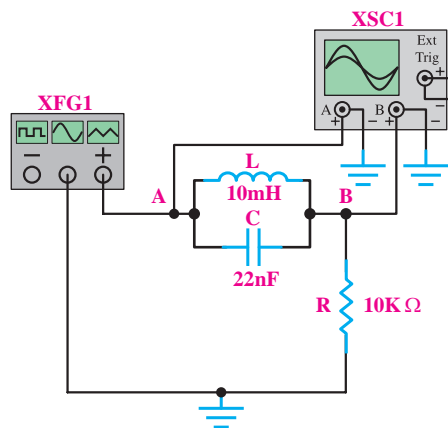
#### نکته‌ی مهم

اگر محل اتصال مقاومت R با محل اتصال مدار رزونانس LC جابه‌جا شود، فیلتر میان‌گذر به فیلتر میان‌نگذر تبدیل می‌شود.

■ مدار شکل ۶۸-۹ را روی بردبرد ببندید.



الف - نقشه فنی مدار



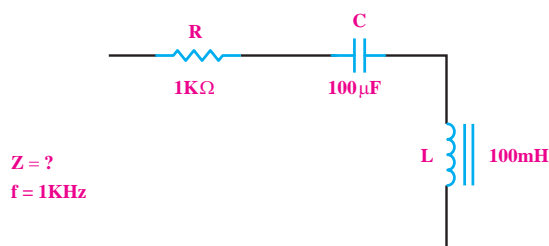
ب- مدار عملی

شکل ۶۸-۹

## آزمون پایانی فصل ۹

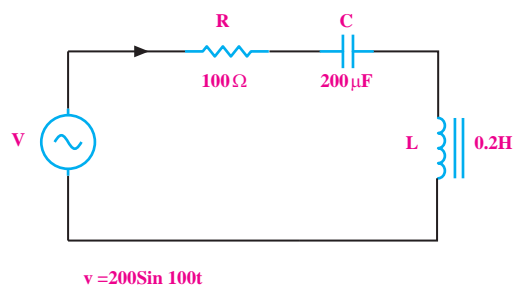


۱- در شکل ۹-۶۹ امپدانس مدار را محاسبه کنید.



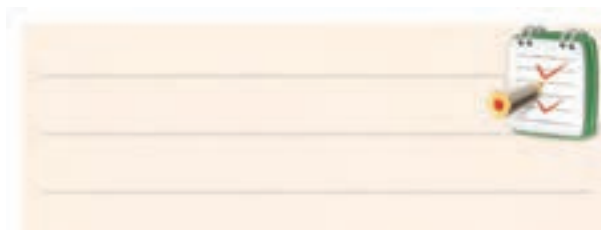
شکل ۹-۶۹

۲-  $X_C$  و  $X_L$  را در مدار شکل ۹-۷۰ محاسبه کنید.

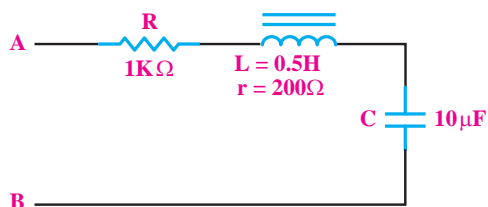


شکل ۹-۷۰

۳- در مدار شکل ۹-۷۰ جریان مؤثر مدار و توان تلف شده در مقاومت ۱۰۰ اهم را حساب کنید.



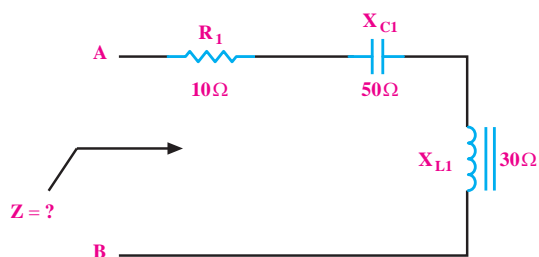
۴- در شکل ۹-۷۱ اگر به دو سر A و B یک اهم متر وصل کنیم، اهم متر چند اهم را نشان می دهد.



شکل ۹-۷۱

الف- ۱۲۰۰ ب- ۲۰۰ ج-  $\infty$  د- صفر

۵- در شکل ۹-۷۲ مقدار Z چند اهم است؟

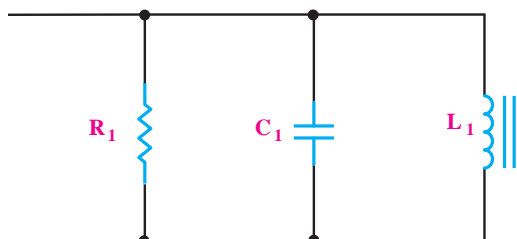


شکل ۹-۷۲

الف-  $\sqrt{1900}$  ب-  $\sqrt{500}$  ج- ۹۰ د- ۳۰

۶- در شکل ۹-۷۳ فرکانس رزونانس از کدام رابطه به

دست می آید؟

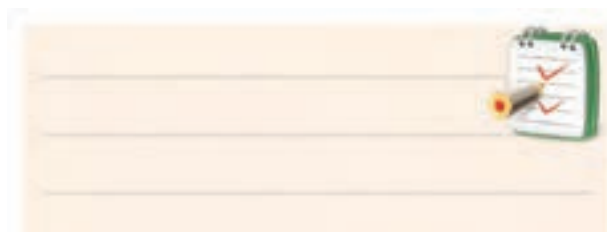


شکل ۹-۷۳

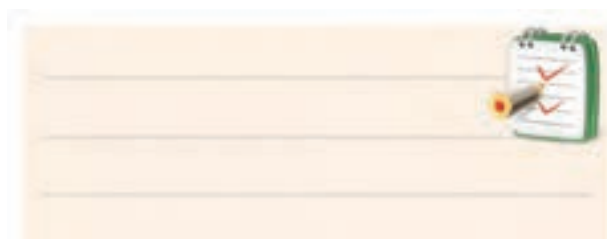
الف-  $\frac{1}{2\pi RC}$  ب-  $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

ج-  $\frac{1}{2\pi LC}$  د-  $\frac{1}{2\pi\sqrt{RC}}$

۱۲- در مدار RLC موازی رابطه‌ی امپدانس را در فرکانس رزونانس بنویسید.



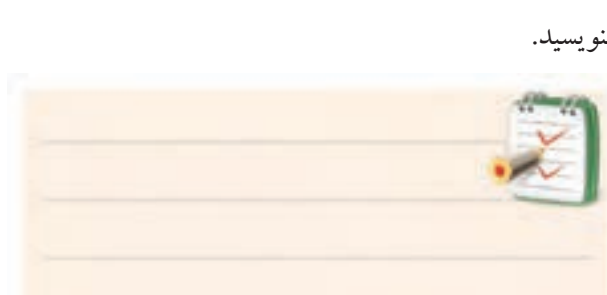
۱۳- رزونانس را تعریف کنید.



۱۴- در یک مدار RLC سری در حال رزونانس امپدانس مدار ..... است.

الف) حداقل (ب) حداکثر

۱۵- رابطه‌ی فرکانس رزونانس در یک مدار RLC را بنویسید.



۱۶- مفهوم پهنای باند را دقیقاً شرح دهید.



۷- در مدار RLC موازی در حال تشدید یا رزونانس، امپدانس مدار ..... است.

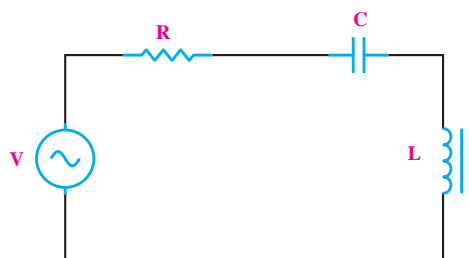
الف- حداقل ب- حداکثر

۸- پهنای باند در یک مدار RLC سری در حالت

رزونانسی از کدام رابطه به دست می‌آید؟

الف-  $\frac{f_r}{Q_r}$  ب-  $\frac{Q_r}{f_r}$

۹- در شکل ۹-۷۴ در فرکانس رزونانس ولتاژ دو سر مقاومت ..... است.



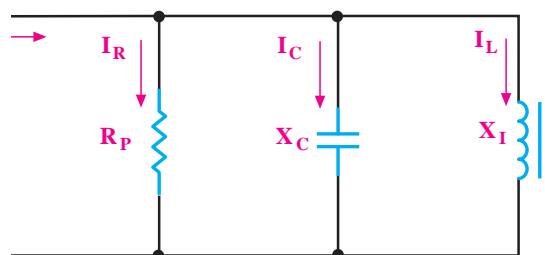
شکل ۹-۷۴

الف- حداکثر ب- حداقل

۱۰- در شکل ۹-۷۴ در فرکانس رزونانس مقدار Z کدام است؟

الف)  $\sqrt{R}$  ب)  $R^2$  ج)  $R$  د)  $\frac{R}{2}$

۱۱- در شکل ۹-۷۵ در فرکانس رزونانس کدام رابطه درست است؟



شکل ۹-۷۵

الف-  $I = I_C$  ب-  $I = I_L$  ج-  $I = I_R$

۱۷- رابطه‌ی ضریب کیفیت در مدار RLC سری کدام

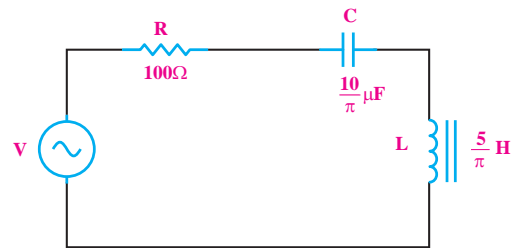
است؟

(الف)  $\frac{(\text{ماکزیمم انرژی ذخیره شده})}{\text{انرژی تلف شده در یک سیکل}} \times 2\pi$

(ب)  $\frac{(\text{انرژی تلف شده در یک سیکل})}{\text{ماکزیمم انرژی ذخیره شده}} \times 2\pi$

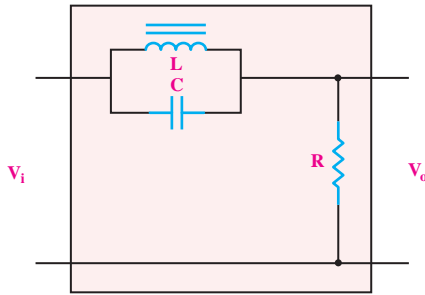
۱۸- در مدار شکل ۹-۷۶ فرکانس رزونانس را به دست

آورید.



شکل ۹-۷۶

۲۱- شکل ۹-۷۷ چه نوع فیلتری است؟



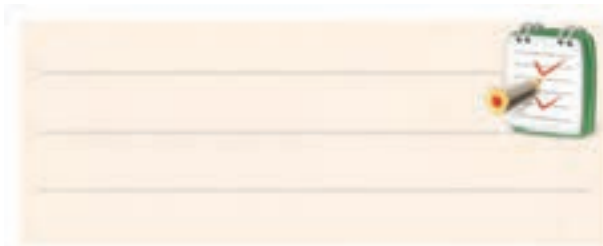
شکل ۹-۷۷

(الف) پایین گذر (ب) بالا گذر

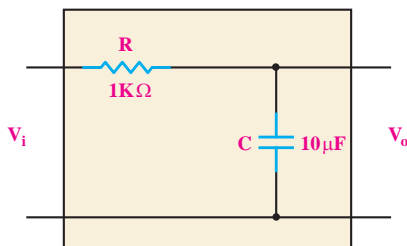
(ج) میان گذر (د) میان نگذر

۲۲- منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر، چه نوع اطلاعاتی در

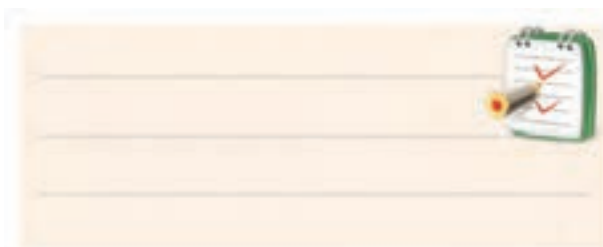
اختیار ما می گذارد؟



۲۳- فرکانس قطع را در فیلتر شکل ۹-۷۸ به دست آورید.



شکل ۹-۷۸



۱۹- در یک مدار RLC موازی،  $f_r = 10 \text{ KHz}$  و  $Q_r = 5$

است. پهنای باند چند هرتز است؟

(الف)  $\frac{200}{\pi}$  (ب)  $\frac{2000}{\pi}$  (ج) ۲۰۰ (د) ۲۰۰۰

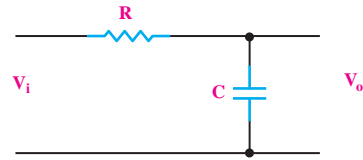
۲۰- در فرکانس قطع یک فیلتر RC، رابطه‌ی  $X_C$ ، R

کدام است؟

(الف)  $R > X_C$  (ب)  $R = X_C$  (ج)  $R < X_C$

۲۴- فیلتر RC شکل ۹-۷۹ فرکانس های زیاد را از خود

عبور ..... .



شکل ۹-۷۹

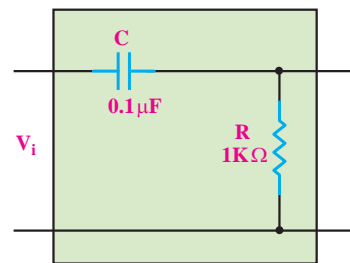
الف) می دهد      ب) نمی دهد

۲۷- فرکانس تشدید مدار RLC سری با مقادیر زیر را

محاسبه کنید.

$$R=40\Omega \text{ و } L=300\mu\text{H} \text{ و } C=300\text{PF}$$

۲۵- فرکانس قطع فیلتر شکل ۹-۸۰ چند هرتز است؟



شکل ۹-۸۰

الف- ۱۰۰      ب- ۱۰۰۰

ج-  $\frac{100}{\pi}$       د-  $\frac{5000}{\pi}$

۲۸- در یک مدار فیلتر بالاگذر RC مقدار مقاومت

$16\text{ K}\Omega$  است. مقدار C حداقل چقدر باشد تا موجی با

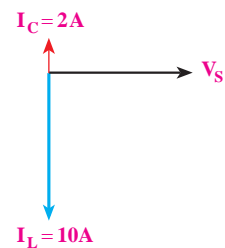
فرکانس ۱ KHz به خوبی عبور کند؟

۲۶- دیاگرام برداری یک مدار LC موازی مطابق شکل

۹-۸۱ است. در صورتی که مقدار راکتانس خازنی  $50\text{ اهم}$

باشد مقدار راکتانس سلف و جریان کل مدار چقدر است؟

$$(f=50\text{ Hz})$$



شکل ۹-۸۰