آزمایش شماره

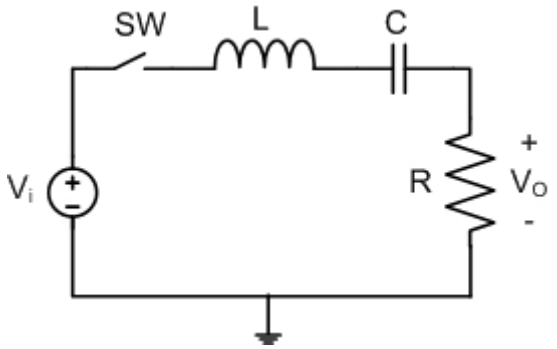
مدارهای مرتبه دوم *RLC*

آشنایی با مدارهای مرتبه دوم RLC

- **پاسخ گذاری مدار RLC**

مدار RLC سری:

با توجه به اینکه در کارکرد یک مدار RLC سری ابتدا سلف تاثیرات عمیقی در پاسخ مدار ایجاد می کند و سپس خازن اثرات خود را در انتها ظاهر می سازد، انتظار می رود مداری شامل هر دوی این عناصر مضاف بر مقاومت که عامل میرایی است، رفتاری ارائه کند که در یک محدوده زمانی شبیه رفتار یک مدار RL و در محدوده زمانی دیگری رفتاری شبیه به مدار RC داشته باشد. این رفتار در نمودارهایی که خواهیم دید بنا به مقادیر R، L و C مشهود است. در تمامی این نمودارهای که ولتاژ دو سر مقاومت به عنوان خروجی مدار در نظر گرفته شده است، مشاهده می شود که ابتدای مدار یک نمایی افزایشی یعنی مبتدا به صفر و انتهای آن یک نمایی منتهی به صفر است زیرا در ابتدا سلف شدیدا اثر خود را اعمال و خازن تقریبا اتصال کوتاه است و بنا براین یک مدار RL (پایین 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 تقریبا شارژ شده خواص خازنی خود را شدیدا ظاهر می سازد و یک مدار RC (بالاگذر) خواهیم داشت که قاعدتا ولتاژ دو سر مقاومت باید در آن نزولی باشد.



شکل(۱)

هنگامیکه این مدار با یک ولتاژ پله ای تحریک می شود، پاسخ گذاری مدار دارای دو شکل کاملا متمایز خواهد بود. برای تعیین معادله پاسخ، معادله ولتاژ مدار را پس از بسته شدن کلید می نویسیم:

$$V_i = L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int idt + Ri$$

که با مشتق گرفتن از طرفین معادله حاصل می شود:

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

که دارای معادله مشخصه زیر با ریشه های s_1 و s_2 می باشد.

$$s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC} = 0$$
$$s_1 = \frac{-R}{2L} + \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$$
$$s_2 = \frac{-R}{2L} - \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$$

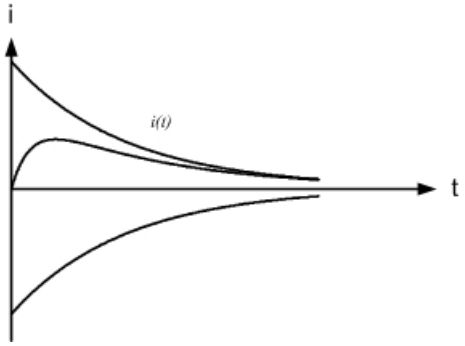
بنابراین خواهیم داشت:

$$i(t) = k_1 e^{s_1 t} + k_2 e^{s_2 t}$$
$$i(0) = 0$$
$$\frac{di(0)}{dt} = \frac{V_i(0)}{L}$$

برحسب اینکه $\frac{R}{2L}$ بزرگتر از، مساوی با و 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 سوی صفر میل می کند. این پاسخ به حالت فوق میرایی موسوم است که در آن:

$$i(t) = \frac{V}{L\omega} e^{-t/\tau} \left[\frac{e^{\omega t} - e^{-\omega t}}{2} \right]$$
$$\omega = \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$$
$$\tau = \frac{2L}{R}$$



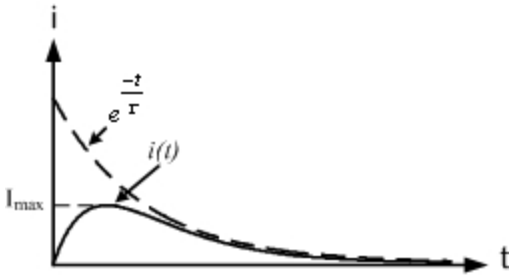
شکل(۲)

نکته جالب توجه مقدار ثابت زمانی است که دو برابر مقدار آن در مدار RL می باشد. البته ثابت زمانی واقعی این مدار چندان مشخص نیست زیرا عوامل ω و $-\omega$ نیز در ایجاد آن نقش دارندو تنها تحت

شرایطی که ω خیلی کوچک باشد می توان گفت که تقریبا ثابت زمانی $\frac{2L}{R}$ است که این وضعیت در حالت میرای بحرانی محسوس تر است.

۲. اگر $\frac{R}{2L}=\frac{1}{\sqrt{LC}}$ باشد جریان به مقدار ماکزیمم $I_{\max}$ می رسد و با ثابت زمانی $\tau=\frac{2L}{R}$ به سمت صفر میل می کند. این حالت به میرای بحرانی یا *Critically Damped* موسوم است.

$$i(t)=\frac{V}{L}te^{-t/\tau}$$
$$\tau=\frac{2L}{R}$$
$$I_{\max}=\frac{V\tau}{L}e^{-1}$$



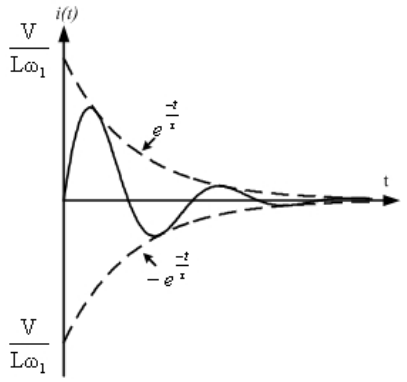
شکل(۳)

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 یا *Oscillatory Damped* موسوم می باشد.

$$i(t)=\frac{V}{L\omega_1}e^{-t/\tau}\sin\omega_1 t$$
$$\omega_1=\sqrt{\frac{1}{LC}-\frac{R^2}{4L^2}}$$

و فرکانس نوسانات برابر است با:

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

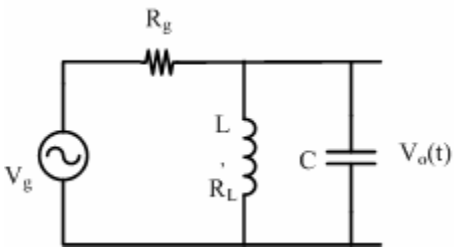


شکل(۴)

جمله $\frac{R^2}{4L^2}$ اثر کمی روی f_1 دارد زیرا معمولا در مقایسه با $\frac{1}{LC}$ خیلی کوچک است. در این حالت می توان مقدار f_1 را به صورت $f_1 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ نوشت.

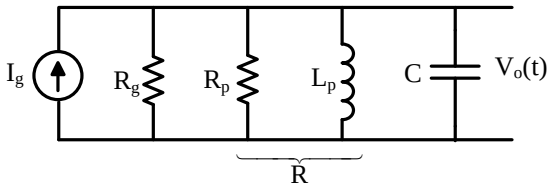
مدار RLC موازی:

شکل زیر مدار RLC موازی را نمایش می دهد:



شکل(۵)

با توجه به اینکه مدار فوق را می توان به صورت زیر نمایش داد:



شکل(۶)

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

$$I_g = \frac{V_0}{R} + \frac{1}{L_p}\int V_o dt + C\frac{dV_0}{dt} \;\Rightarrow\; \frac{d^2V_0}{dt^2} + \frac{1}{RC}\frac{dV_0}{dt} + \frac{1}{L_pC} = 0$$

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

$$s_1, s_2 = \frac{-1}{2RC} \pm \sqrt{\left(\frac{1}{2RC}\right)^2 - \frac{1}{L_pC}}$$

نظیر مداری سری سه حالت زیر در پاسخ گذرا مشاهده می شود:

۱. $\frac{1}{2RC} > \frac{1}{\sqrt{L_pC}}$ حالت فوق میرایی یا *Over Damped* خواهد بود.

۲. $\frac{1}{2RC} = \frac{1}{\sqrt{L_pC}}$ حالت میرایی بحرانی یا *Critically Damped* خواهد بود.

۳. $\frac{1}{2RC} < \frac{1}{\sqrt{L_pC}}$ حالت نوسانی میرا یا *Oscillatory Damped* خواهد بود.

با توجه به اینکه مقاومت موجود در سلف بسیار کوچک است می توان از آن صرف نظر نمود. در این صورت R_p بسیار بزرگ و $R = R_p \,||\, R_g \approx R_g$ و $L_p \approx L$ خواهد بود. همچنین توجه داریم که در حالات ۲ و ۳ ثابت زمانی برابر است با:

$$\tau = 2RC$$

ضریب میرایی یا *Damping Factor* نسبت $\alpha = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{2RC}$ را می گویند.

مقاومت بحرانی یا *Critical Resistance* مقدار $R_C = \frac{1}{2}\sqrt{L/C}$ می باشد.

- **پاسخ فرکانسی مدار RLC**

مدار RLC سری:

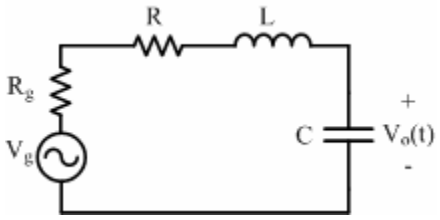
مدار RLC سری را می توان برای نمایش هر نوع شبکه به کار برد، زیرا کلیه شبکه ها ترکیبی از مقاومت و خازن و سلف می باشند. ترکیب سری و یا موازی اجزا R، L و C اصولا دارای یک پاسخ طبیعی با فرکانس طبیعی معینی می باشد. هنگامیکه این مدارها با یک منبع سینوسی که فرکانس آن برابر و یا نزدیک به فرکانس طبیعی مدار است تحریک می شوند اثر جالبی از آنها بروز می کند، که به پدیده تشدید موسوم است. در این آزمایش مدار تشدید سری RLC را مورد بررسی قرار می دهیم.

الف:خروجی ولتاژ خازن

شکل زیر مدار RLC سری را نشان می دهد که خروجی از دو سر خازن گرفته شده است. هنگامیکه 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:

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

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



شکل(۷)

بررسی رابطه فوق نشان می دهد که در فرکانس:

$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

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:

$$I = I_s = \frac{V_g}{R_t}$$

فرکانس f_s که در آن مدار بصورت یک مقاومت خالص در می آید، به فرکانس تشدید موسوم است. نکته جالب در فرکانس تشدید روابط بین ولتاژ دو سر خازن و دو سر سلف با ولتاژ منبع است که عبارتند از:

$$|V_{Cs}| = \frac{1}{\omega_s C} I_s = \frac{1}{\omega_s C} . \frac{V_g}{R_t} = Q_s V_g$$

$$|V_{Ls}| = \omega_s L I_s = \omega_s L . \frac{V_g}{R_t} = Q_s V_g$$

که در آن $Q_s = \frac{1}{\omega_s C R_t} = \frac{L\omega_s}{R_t}$ ضریب کیفیت مدار سری در فرکانس تشدید است. روابط فوق نشان می دهند که دامنه ولتاژ دو سر خازن و سلف در فرکانس تشدید برابر هستند و در صورتیکه $Q_s > 1$ باشد (که غالبا چنین است) ولتاژ دو سر خازن و سلف Q_s برابر ولتاژ منبع است و به این ترتیب مدار فوق به شکل یک تقویت کننده ولتاژ عمل می کند.

با توجه به شکل مدار نشان داده شده برای RLC سری، خواهیم داشت:

$$A_V = \frac{V_o}{V_g} = \frac{1}{1 - LC\omega^2 + JR_t C\omega}$$

$$|A_V| = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - LC\omega^2\right)^2 + R_t^2 C^2 \omega^2}}$$

$$\varphi = Arctg\left(\frac{R_t C\omega}{1 - LC\omega^2}\right)$$

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

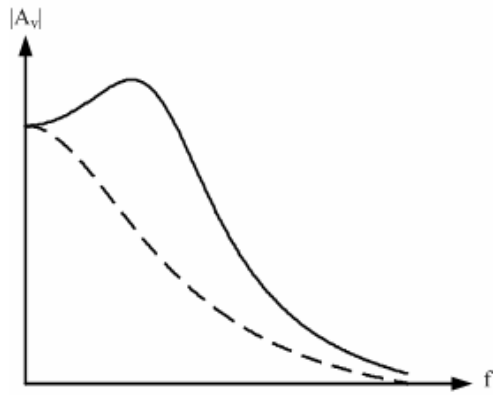
$$|A_V|' = \frac{d|A_V|}{d\omega} = 0 \;\Rightarrow\; \omega_1 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R_t^2}{2L^2}} \;\Rightarrow\; f_1 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R_t^2}{2L^2}}$$

$$f_1 < f_s$$

$$|A_V| = \frac{Q_s}{\sqrt{1 - \frac{R_t^2 C}{4L}}}$$

شرط $Q_s > 1$ همان $R_t^2 < \frac{L}{C}$ است ولی شرط وجود نقطه ماکزیمم برای ولتاژ خازن $R_t^2 < \frac{2L}{C}$ می باشد.

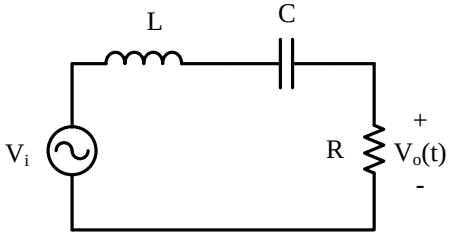
مشخصه پاسخ دامنه برای ولتاژ خازن بصورت یک فیلتر پایین گذر می باشد و در بعضی از حالتها با برقراری شرط $R_t^2 < \frac{2L}{C}$ دارای یک ماکزیمم نیز خواهد بود.



شکل(۸)

ب: خروجی ولتاژ مقاومت

معمولا منظور از پاسخ مدار RLC سری ولتاژ دو سر مقاومت است. شکل زیر را در نظر بگیرید.



شکل(۹)

پاسخ فرکانسی مدار عبارت است از (مقدار R_g در نظر گرفته نشده است):

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{R + J\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}$$

که می توان ان را بصورت زیر نوشت:

$$A_V = \frac{1}{1 + JQ_s\left(\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega}\right)} = |A_V|\angle\varphi$$

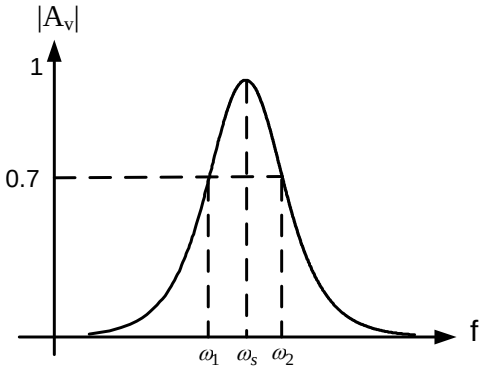
بطوریکه:

$$|A_V| = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_s^2\left(\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega}\right)^2}}$$

$$\varphi = Arctg\left(Q_s\left(\frac{\omega_s}{\omega} - \frac{\omega}{\omega_s}\right)\right)$$

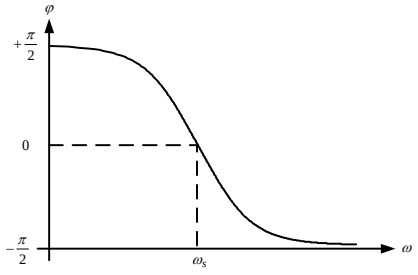
روابط فوق نشان می دهند که وقتی فرکانس منبع برابر $\omega = \omega_s$ باشد، $\left|\frac{V_o}{V_i}\right| = 1$ است و برای فرکانس $\omega << \omega_s$ و $\omega >> \omega_s$ با فرض $Q_s > 1$ ولتاژ خروجی تقریبا صفر است.($\left|\frac{V_o}{V_i}\right| \approx 0$) شکل زیر منحنی نمایش پاسخ دامنه را نشان می دهد. نقاط ω_s، ω_1 و ω_2 در این شکل حائز اهمیت زیادی هستند. نقاط ω_1 و ω_2 به فرکانسهای نصف قدرت یا فرکانس قطع معروفند. (فرکانسهایی که در آنها ولتاژ خروجی V_o به $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ولتاژ ماکزیمم خود V_i می رسد و در مقیاس لگاریتمی ، فرکانسی که به ازای آن ولتاژ خروجی به اندازه $3dB$ نسبت به مقدار ماکسیمم خود کاهش یابد). تفاضل $\omega_2 - \omega_1$ به عرض باند موسوم است که با BW نشان داده می شود. برای فرکانسهای نزدیک به فرکانس تشدید می توان نشان داد که:

$$BW = \omega_2 - \omega_1 \approx \frac{\omega_s}{Q_s} = \frac{R}{L}$$



شکل(۱۰)

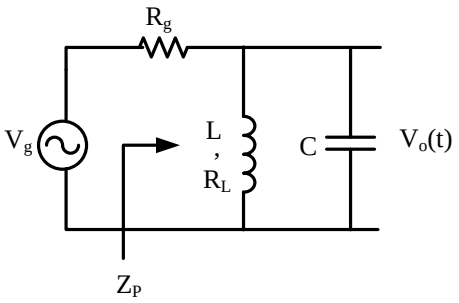
به این ترتیب مدار RLC سری که فرکانسهای میانی ω_1 تا ω_2 را به راحتی از خود عبور داده و فرکانسهای دیگر را به شدت تضعیف می کند به فیلتر میان گذر موسوم است. برای $\omega = \omega_s$ اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و ولتاژ خروجی صفر ($\varphi = 0$) و برای $\omega << \omega_s$، $\varphi \approx \frac{\pi}{2}$ و برای $\omega >> \omega_s$، $\varphi \approx -\frac{\pi}{2}$ است. شکل زیر پاسخ فاز این مدار را نشان می دهد.



شکل(۱۱)

مدار *RLC* موازی:

مدار *RLC* موازی را به شکل زیر در نظر می گیریم.



شکل(۱۲)

از ویژگیهای حالت تشدید در مدار آن است که V_o ماکسیمم، Z_p کاملا مقاومتی و V_o و V_g هم فاز هستند. به علت تبادل انرژی بین اجزا واکنشی حلقه خازن – سلف، مدار موازی را مدار تانک یا *Tank Circuit* و به جریان حلقه جریان تانک گفته می شود.

ادمیتانس مدار موازی عبارت است از:

$$Y = Y_L + Y_C$$

$$Y = \frac{1}{R_L + J\omega L} + J\omega C$$

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

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:

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

رابطه فوق به صورت زیر نیز نوشته می شود:

$$\omega_p = \omega_s \sqrt{1 - \frac{1}{Q_s^2}}$$

که در آن ω_s فرکانس تشدید مدار سری *RLC* است و $Q_s = \frac{L\omega_s}{R_L}$ ضریب کیفیت مدار سری در فرکانس تشدید ω_s است. بدیهی است که برای مقادیر بزرگ Q_s فرکانس مدار تشدید موازی ω_s برابر ω_s است. در فرکانس تشدید فاز جریان و فاز ولتاژ منبع یکی است. بع عبارت دیگر ضریب قدرت برابر واحد است و امپدانس ورودی Z_p مقاومت خالص و برابر است با:

$$Z_p = \frac{R_L^2 + L^2\omega_p^2}{R_L} = R_L + Q_p L\omega_p = R_L\left(1 + Q_p^2\right)$$

برای مقادیر بزرگ Q_p می توان نوشت:

$$Z_p = R_L Q_p^2$$
$$\omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad Q_s >> 1$$
$$Z_p = \frac{L}{CR_L} \quad Q_s, Q_p >> 1$$

با این ترتیب با انتخاب مناسب L و C می توان مقاومتهای ورودی متفاومتی 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 سلف با جریان منبع در فرکانس تشدید عبارت است از:

$$|I_C| \approx \frac{|V_o|}{|X_C|} = \omega_p C |V_o|$$
$$|I_g| \approx \frac{|V_o|}{|Z_p|} = \frac{CR_L}{L} |V_o|$$
$$\Rightarrow \ |I_C| = Q_p |I_g|$$

بنابراین می توان گفت که مدار بصورت یک تقویت کننده جریان عمل می کند. از این روست که در ورودی گیرنده های رادیویی یا تلویزیونی عموما از مدار تشدید موازی استفاده می کنند. (آنتن ها به منزله منبع جریان هستند)

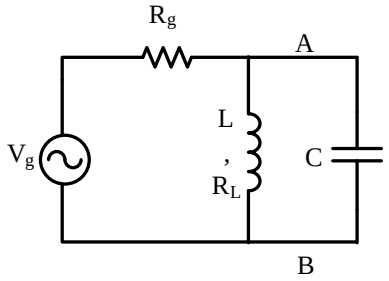
نظیر آنچه که در مدار سری دیدیم پاسخ فرکانسی مدار موازی نشان داده شده عبارت است از:

$$A_V = \frac{V_C}{V_g} = \frac{Z_p}{Z_p + R_g}$$

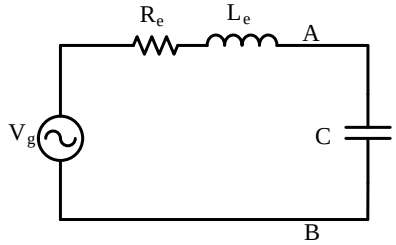
نظر به اینکه در فرکانس تشدید Z_p ماکزیمم مقدار خود را داراست لذا ولتاژ خروجی به حداکثر مقدار خود می رسد. در فرکانسهای کمتر و یا بیشتر از فرکانس تشدید ولتاژ خروجی کاهش می یابد. رابطه فرکانس های قطع و نیز عرض باند نظیر مدار سری عبارت است از:

$$BW = \frac{\omega_p}{Q_p}$$

با توجه به مدار معادل سری زیر پهنای باند به شکل زیر نوشته می شود:



شکل (۱۳-الف) - مدارموازی



شکل (۱۳-ب) مدار سری معادل با مدار موازی از دو سر A وB

$$\begin{cases} V_g{}' = \dfrac{R_L + J\omega L}{R_g + R_L + J\omega L}.V_g \\ R_e = \dfrac{R_g\left(R_g R_L + R_L^2 + \omega^2 L^2\right)}{\left(R_g + R_L\right)^2 + \omega^2 L^2} \\ L_e = \dfrac{R_g^2 L}{\left(R_g + R_L\right)^2 + \omega^2 L^2} \end{cases}$$

$$Q_s = \frac{\omega_s L_e}{R_e}$$

$$Q_s = \frac{R_g L \omega_s}{R_g R_L + R_L^2 + \omega^2 L^2}$$

$$BW = \frac{\omega_s}{Q_s} = \frac{R_g R_L + R_L^2 + \omega^2 L^2}{R_g L}$$

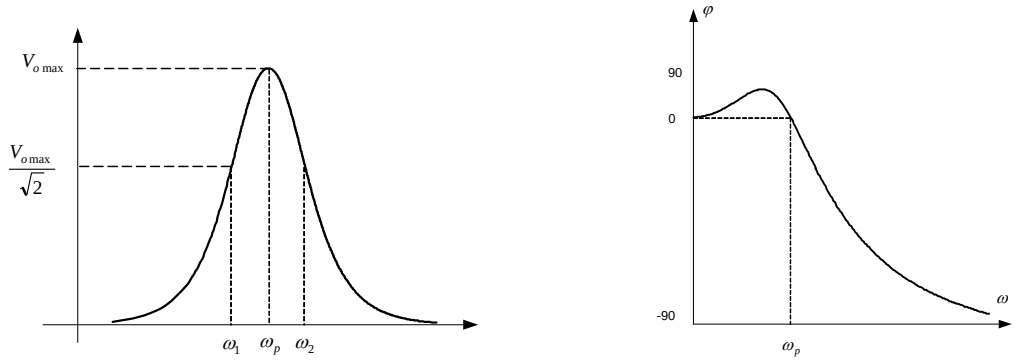
$$BW = \frac{R_L}{L}\left(1 + \frac{R_L}{R_g} + \frac{\omega_s^2 L^2}{R_g R_L}\right)$$

$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{L_e C}}$$

در حالت کلی منبع $V_g{}'$ برای یک مدار RLC سری دارای دامنه ای که تابعی از فرکانس باشد نیست. از این رو مساله پهنای باند وقتی که خروجی از دو سر خازن C گرفته می شود معنای درستی ندارد. در

حالتیکه در شکل فوق چون v_g' تابعی از فرکانس است لذا مشخصه پاسخ دامنه در دو سر A و B به صورت یک فیلتر میان گذر خواهد بود.

فرمول پنهای باند بدست آمده نشان می دهد که هر چقدر R_g بیشتر شود عرض باند کمتر و مدار سلکتیومتر است (خاصیت انتخاب کنندگی مدار مربوط به فرکانس می شود). بنابراین در مدار موازی استفاده از منبع با مقاومت بیشتر به سلکتیومتر بودن مدار کمک می کند. شکلهای زیر منحنی پاسخ دامنه و پاسخ فاز مدار موازی را نشان می دهند.



شکل(۱۴)

شرح آزمایش ۱: پاسخ حالت گذرای مدار *RLC* سری

مدار *RLC* سری را با مقادیر سلف ۱۵ میلی هانری و خازن ۳/۳ نانوفاراد و پتانسیومتر ۵ یا ۱۰ کیلواهم ساخته و یک ولتاژ مربعی به دامنه ۴ ولت V_{p-p} و دوره تناوب ۱ میلی ثانیه به آن اعمال می کنیم و خروجی را از دو سر خازن می بینیم.

۱-۱- با تغییر مقاومت، سه حالت پاسخ گذرای مدار شامل فوق میرا، میرای بحرانی و نوسانی میرا را روی اسیلوسکوپ مشاهده کرده و نمودار آن را به ازای یکی از مقادیر مقاومت در هر یک از حالات رسم نمایید.

۱-۲- ثابت زمانی و فرکانس نوسانات را در حالت نوسانی میرا وقتی مقدار R برابر ۱ کیلو اهم باشد به کمک روش پیشنهادی خودتان اندازه گرفته و سپس نسبت ولتاژ *Overshoot* خازن را به ولتاژ پایدار خازن اندازه گرفته و تعیین کنید که بعد از چند نوسان ولتاژ *Overshoot* به ۲ تا ۵ درصد ولتاژ نهایی می رسد. ولتاژ ۲ تا ۵ درصد معیار مناسبی است که بعد از آن می توان ولتاژ خازن را پایدار در نظر گرفت.

۱-۳- *Duty Cycle* سیگنال ورودی را کاهش داده به ۲ در صد دوره تناوب برسانید و دامنه سیگنال ورودی را تا ۱۰ ولت افزایش دهید. بدین ترتیب رفتار سیگنال ورودی تا حد زیادی شبیه به یک تابع ضربه خواهد شد. مقدار مقاومت را ۱ کیلو اهم قرار داده و با مشاهده شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت در مدار شکل(۱) ثابت زمانی و فرکانس میرایی را پس از اعمال سیگنال ضربه به مدار بدست آورید و با مقدار آن در صورت اعمال ولتاژ ضربه ایده آل مقایسه کنید. علت تفاوت ایجاد شده را بیان نمایید. ثابت زمانی و فرکانس میرایی مدار را با مقدار آن وقتی ولتاژ ورودی از نوع پله بود مقایسه نمایید. آیا باید در حالت ایده ال بین این دو مقدار تفاوتی موجود باشد یا خیر؟ توضیح دهید.

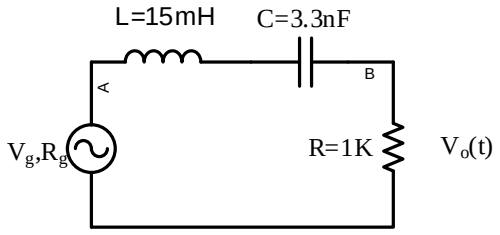
۱-۴- با استفاده از نرم افزار *Spice* موارد بند ۱-۱ الی ۱-۳ را شبیه سازی کنید. (در بند ۱-۱ از سه مقاومت که نشان دهنده رفتار مدار در سه حالت میرای شدید و بحرانی و نوسانی میرا است، استفاده کنید)

شرح آزمایش۲: پاسخ حالت دایمی سینوسی مدار *RLC* سری

الف- اثر تغییر مقاومت مدار بر روی Q_s :

۲-۱- در شکل(۱۵) با اعمال موج سینوسی مناسب به عنوان ورودی مدار و با توجه به رابطه تقریبی $Q_S \approx \frac{\omega_0}{BW}$، به ازای $R=1K$ و $R=2.2K$ و $R=10K$ مقدار BW و ω_0را اندازه گرفته و برای هر کدام مقدار Q_S را محاسبه کنید، سپس آن را با مقدار محاسبه شده از روابط مقایسه کنید.

۲-۲ با استفاده از نرم افزار *Spice* مورد بند ۲-۱ را شبیه سازی و پاسخ آن را با مقادیر اندازه گیری شده مقایسه کنید.



شکل(۱۵)

ب: بررسی مدار تشدید

به مدار شکل (۱۵) یک موج سینوسی با مقدار دامنه ۲ ولت (۴ ولت قله به قله) اعمال کنید.

۲-۳- حال فرکانس منبع را تغییر دهید تا جریان مدار ماکزیمم شود. در این حالت (تشدید)، مدار مقاومتی بوده و اگر سلف L ایده آل باشد ولتاژ دو سر AB صفر خواهد شد. اما چون در عمل سلف ایده آل نیست ماکزیمم جریان با مینیمم شدن ولتاژ دو سر AB حاصل می شود. در این حالت فرکانس

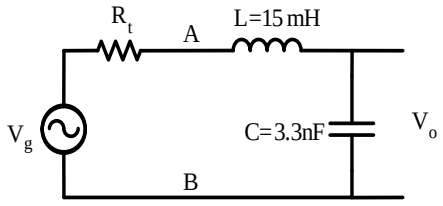
تشدید، f_s ، با ماکزیمم شدن V_R نیز بدست می آید. فرکانس تشدید را با اسکوپ اندازه گیری کرده و یادداشت کنید و میزان افت ولتاژ دو سر AB را در حالت تشدید بدست آورید.

۲-۴- در این قسمت یک موج سینوسی با مقدار ولتاژ قله تا قله ۴ ولت و فرکانسی برابر فرکانس تشدید به مدار اعمال نموده و مدار را به حالت تشدید قرار می دهیم. اکنون کلید وضعیت نوسان ساز را از وضعیت سینوسی به مربعی تغییر داده و موج ورودی و خروجی را رسم کنید و علت آنکه موج خروجی به شکل سینوسی در می آید را تشریح کنید.

۲-۵- با استفاده از نرم افزار *Spice* بند ۲-۴ را شبیه سازی کنید.

ج: پاسخ فرکانسی از دو سر خازن

۲-۶- ابتدا به ازای $R=6.8K$ با تغییر فرکانس نوع فیلتر و فرکانس $3dB$- را در مدار شکل(۱۶) مشخص کنید.



شکل(۱۶)

میدانیم:

a-اگر $R_t^2 < \frac{2L}{C}$ باشد Vc مقدار ماکسیمم نداشته و $Q_S < 1$ ، در نتیجه در فرکانس تشدید مدار به صورت تقویت کننده ولتاژ عمل نمی کند و به کمک ولتاژ خازن نمی توان فرکانس تشدید را پیدا کرد.

b- اگر $\frac{2L}{C} > R_t^2 > \frac{L}{C}$ باشد Vc مقدار ماکسیمم دارد اما $Q_S < 1$ ، در نتیجه باز هم در فرکانس تشدید مدار به صورت تقویت کننده ولتاژ عمل نمی کند، اما در محدوده خاصی از فرکانس که شامل فرکانس تشدید نمی شود تقویت کننده ولتاژ هست.

c- اگر $R_t^2 < \frac{L}{C}$ باشد Vc مقدار ماکسیمم داشته و $Q_S > 1$ ، در نتیجه در فرکانس تشدید مدار به صورت تقویت کننده ولتاژ عمل می کند.اما به ازای R_t های خیلی کوچک فرکانس ماکسیمم شدن Vc و فرکانس تشدید مدار بر هم منطبق می شود.

در نتیجه در صورت صفر شدن مقاومت مدار می توان از ولتاژ خازن برای یافتن فرکانس تشدید استفاده کرد.(در این حالت ماکسیمم Vc در فرکانس تشدید اتفاق می افتد.)

۲-۷- مقاومت مدار را صفر کرده و فرکانس تشدید را اندازه بگیرید و سپس آن را با مقدار اندازه گیری شده در قسمت ۲-۳ مقایسه کنید.

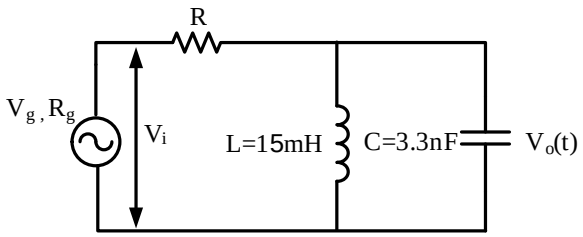
۲-۸- در حالتی که مقاومت مدار صفر شده است مقدار ولتاژ خروجی در حالت تشدید (یعنی ولتاژ خازن در حالت تشدید که تقریبا ماکسیمم است) و فرکانس قطع dB ۳- فیلتر ایجاد شده را بدست آورید.

۲-۱۰- با استفاده از نرم افزار *Spice* موارد بند ۲-۶ الی ۲-۸ را شبیه سازی کنید.

شرح آزمایش۳: پاسخ حالت دایمی سینوسی در مدار RLC موازی

مداری مطابق شکل (۱۷) با مقاومت $R=2.2K\Omega$ و $R=10K\Omega$ بدون در نظر گرفتن R_g بسازید (خروجی دو سر خازن) و یک موج سینوسی با مقدار دامنه ۲ ولت (۴ ولت قله به قله) به مدار اعمال نمایید.

۳-۱- با تغییر دادن فرکانس منبع، ابتدا نوع فیلتر را مشخص کرده و سپس ماکزیمم ولتاژی که در خروجی ظاهر می شود و فرکانس مربوط به آن (فرکانس تشدید) همچنین فرکانس (فرکانس ها) قطع dB ۳- فیلتر را اندازه بگیرید. پهنای باند مدار را به ازای هر یک از مقادیر مقاومت بیان شده بدست آورید.



شکل(۱۷)

۳-۲- در هر یک از شاخه های سلف و خازن یک مقاومت ۱۰ اهمی قرار داده و با اندازه گیری ولتاژ دو سر آنها جریان I_C و I_L را در فرکانس تشدید برای هر یک از دو مقدار مقاومت بیان شده اندازه بگیرید. همچنین جریان I مدار را با استفاده از مقاومت R اندازه گرفته و نسبت آن را با جریان های I_C و I_L بدست آورید.

۳-۳- با استفاده از نرم افزار *Spice* موارد بند ۳-۱ و ۳-۲ را شبیه سازی و پاسخ آن را با مقادیر اندازه گیری شده مقایسه کنید.