فصل ۴

فیلترها

هدف کلی

اصول کار انواع فیلترهای بالاگذر، پایین‌گذر، میان‌گذر و حذف باند

کل زمان اختصاص داده شده به فصل: ۹ ساعت آموزشی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود که: **زمان پیشنهادی**

۱ــ انتخاب گری ایستگاه را تعریف کند. ..... ۵′

۲ــ اجزای مدار انتخاب کننده ایستگاه را نام ببرد. ..... ۵′

۳ــ حساسیت را تعریف کند. . ..... ۱۰′

۴ــ نحوهٔ افزایش میزان حساسیت را توضیح دهد. ..... ۱۰′

۵ ــ تقویت کننده‌های زنجیره‌ای را شرح دهد و علل استفاده از آن را بیان کند. ..... ۱۰′

۶ــ بلوک دیاگرام تقویت کننده‌های زنجیره‌ای را تشریح کند. ..... ۱۰′

۷ــ نویز را تعریف کند و منابع آن را نام ببرد. ..... ۱۰′

۸ــ نسبت سیگنال به نویز را با ذکر مثال شرح دهد و محاسبه کند. ..... ۱۰′

۹ــ ضریب تقویت یا گین ولتاژ، جریان و توان را شرح دهد. ..... ۱۵′

۱۰ــ گین تقویت کننده چند طبقه را محاسبه کند. ..... ۱۰′

۱۱ــ افت توان و ضریب تضعیف را تشریح کند. ..... ۱۰′

۱۲ــ اثر تغییر فرکانس بر روی راکتانس سلف را تشریح کند ..... ۱۵′

۱۳ــ اثر تغییر فرکانس بر روی راکتانس خازن را شرح دهد ..... ۱۵′

۱۴ــ فیلتر را تعریف کند و فیلترهای مکانیکی را با فیلترهای الکترونیکی مقایسه کند. ..... ۱۰′

۱۵ــ فرکانس قطع، پهنای باند و ضریب کیفیت فیلترها را تعریف و محاسبه کند. ..... ۱۵′

۱۶ــ فیلتر واقعی و فیلتر ایده‌آل را با یکدیگر مقایسه کند. ..... ۱۰′

۱۷ــ انواع فیلترها را از نظر عبور باند و کاربرد نام ببرد و مدار آن را ترسیم کند. ..... ۶۰′

۱۸ــ محاسبات سادهٔ فیلترهای میان‌گذر، بالاگذر، پایین‌گذر و حذف باند را انجام دهد. ..... ۶۰′

۱۹ــ منحنی‌های پاسخ فرکانسی فیلترهای عبور باند را از نظر تغییر مقدار Q و R_S مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. ..... ۶۰′

۲۰ــ یک نمونه فیلتر کریستالی را رسم کند و کار آن را شرح دهد. .. ۱۰′

۲۱ــ با استفاده از نرم افزارهای مولتی سیم یا مشابه آن، مدارهای شبیه‌سازی شده فیلترها را مشاهده و در صورت امکان آن مدارها را شبیه‌سازی کند. ....

۲۲ــ در فرایند اجرای آموزش متناسب با شرایط و محتوی، آزمون‌های تشخیصی، تکوینی و پایانی را پاسخ دهد ..... ۴۵′

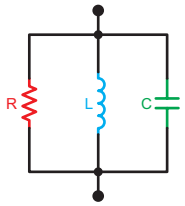
۲۳ــ هدف‌های رفتاری در حیطهٔ عاطفی که در فصل اول آمده است را در این فصل نیز اجرا نماید.

پیشگفتار

مدارهای هماهنگی و فیلترها از قسمت‌های اساسی مدارهای مخابراتی‌اند که کاربرد زیادی در فرستنده‌ها و گیرنده‌های رادیویی دارند. در این فصل به مباحث نحوهٔ انتخاب ایستگاه رادیویی و حساسیت گیرنده رادیویی و همچنین به بررسی اجمالی اصول کار انواع فیلترها و موارد کاربرد آنها درگیرنده‌های رادیویی می‌پردازیم.

۱ـ۴ـ قابلیت انتخاب ایستگاه

توانایی یک گیرنده‌رادیویی جهت انتخاب فرکانس سیگنال موردنظر از میان سایر فرکانس‌های ناخواسته به سلکتیویته (selectivity) یا قابلیت انتخاب ایستگاه معروف است. در گیرنده‌های رادیویی از مدارهای ترکیبی RLC به عنوان فیلتر برای انتخاب ایستگاه رادیویی استفاده می‌کنند. معمولاً مدار انتخاب کنندهٔ ایستگاه به صورت شکل ۱ـ۴ است. به این مدار، مدار هماهنگی (تشدید یا رزونانس) می‌گویند.



شکل ۱ـ۴ـ یک نمونه مدار هماهنگی RLC موازی

۲ـ۴ـ حساسیت گیرنده‌های رادیویی

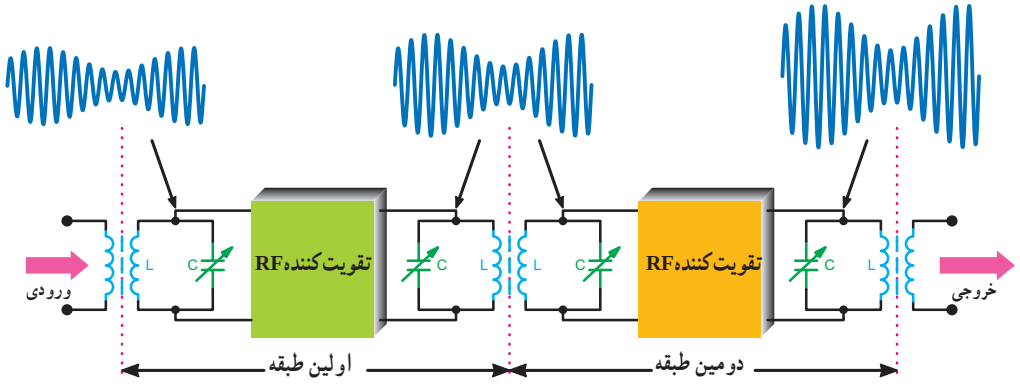
۱ـ۲ـ۴ـ حساسیت (sensitivity): توانایی یک گیرنده در ارتباط با دریافت حدّاقل سیگنال ورودی را حساسیت گیرنده می‌نامند. مقدار حساسیت گیرنده را برمبنای ضعیف ترین سیگنال دریافتی که بتواند خروجی قابل استفاده‌ای را فراهم سازد، اندازه‌گیری می‌کنند.

یکی از عیوب گیرنده‌های AM کم بودن حساسیت آن است. هنگامی که به وسیلهٔ یک گیرندهٔ رادیویی نتوانیم ایستگاه رادیویی قوی را به خوبی دریافت کنیم، ایستگاه ضعیف نیز دریافت شدنی نخواهد بود. حساسیت چنین گیرنده‌ای بسیار کم است.

در گیرنده‌های مخابراتی برای افزایش حساسیت، تعداد طبقات تقویت‌کنندهٔ RF را افزایش می‌دهند. هر تقویت‌کنندهٔ رادیویی معمولاً دارای مدار هماهنگی در ورودی و خروجی است. با استفاده از این مدارهای هماهنگی می‌توان فرکانس رادیویی موردنظر را انتخاب کرد. در شکل ۲ـ۴ یک نمونه تقویت‌کنندهٔ RF با مدار هماهنگی در ورودی و خروجی نشان داده شده است.

شکل ۲ـ۴ـ یک تقویت کننده رادیویی با مدار هماهنگی در ورودی و خروجی

۲ـ۲ـ۴ـ تقویت کننده‌های زنجیره‌ای: تقویت کننده‌های زنجیره‌ای را تقویت کننده های پشت سر هم یا کاسکاد (cascade) نیز می‌نامند. در تقویت کننده‌های زنجیره‌ای خروجی یک تقویت کننده به ورودی طبقهٔ بعد متصل می‌شود. با استفاده از این روش میزان حساسیت گیرنده افزایش می‌یابد. متناسب با شرایط مورد نیاز، ممکن است تعدادی تقویت کننده به صورت زنجیره‌ای به هم متصل شوند. شکل ۳ـ۴ یک نمونه تقویت کننده زنجیره‌ای دو طبقه را نشان می‌دهد.



شکل ۳ـ۴ـ اتصال تقویت‌کننده‌ها به‌صورت زنجیره‌ای به‌منظور افزایش حساسیت

تقویت کننده های زنجیره ای را تقویت کننده چند طبقه نیز می‌نامند. بـــرای اینکـه در مجموع بیشتر از یک طبقه تقویت کننده استفاده می‌شود، با استفاده از این مدار می‌توان سیگنال‌های خیلی ضعیف رادیویی را که از فواصل خیلی دور ارسال می‌شود دریافت و تقویت کرد.

یکی از پارامترهای مهم که باعث کاهش حساسیت تقویت کننده RF می‌شود نویز است. معمولاً نویز وارد سیستم شده و به همراه سیگنال اصلی تقویت می‌شود. ضمن این که نویز تولید شده در داخل سیستم نیز به آن افزوده می‌شود.

۴ـ۳ـ نویز (Noise) و منابع آن

همان‌طورکه در فصل اول اشاره شد یکی از منابع ایجاد اختلال در سیستم‌های مخابراتی نویز است. نویز ممکن است از منابع مختلفی تولید شود. بعضی از این منابع طبیعی و بعضی مصنوعی هستند. نویز حاصل از رعد و برق نویز طبیعی و نویز ناشی از سیستم‌های جرقه زنی در اتومبیل و موتورهای الکتریکی نویز مصنوعی است.

۱ـ۳ـ۴ـ نسبت سیگنال به نویز: نسبت توان سیگنال موردنظر به توان نویز را Signal to Noise Ratio (SNR) گویند و به صورت $\frac{S}{N}$ نشان می‌دهند. هر قدر نسبت $\frac{S}{N}$ بیشتر باشد، سیستم مخابراتی از نظر تأثیر نویز مقاوم‌تر است. لذا $\frac{S}{N}$ یک شاخص مهم برای سیستم‌های مخابراتی محسوب می‌شود. برای کاهش نویز در طبقات تقویت کننده از فیلتر استفاده می‌کنند. این فیلترها را حذف کنندهٔ نویز یا Noise Canceller می‌نامند.

مثال ۱ـ۴

ولتاژ خروجی یک تقویت‌کنندهٔ RF برابر با ۰/۵ ولت و دامنهٔ نویز خروجی آن ده میلی‌ولت است. اگر مقاومت بار خروجی برابر با R_L باشد، نسبت سیگنال به نویز $\left(\frac{S}{N}\right)$ را محاسبه کنید.

پاسخ:

$$\frac{S}{N}=\frac{(V_S)^2/R_L}{(V_N)^2/R_L}=\frac{V_S^2}{V_N^2}=\left(\frac{V_S}{V_N}\right)^2$$

$$\frac{S}{N}=\frac{۰/۲۵}{(۱۰\times۱۰^{-۳})^2}\Longrightarrow\frac{S}{N}=۲۵۰۰$$

۴ـ۴ـ ضریب تقویت یا گین (Gain)

نسبت ولتاژ، جریان یا توان خروجی به ولتاژ، جریان یا توان ورودی را در تقویت کننده‌ها ضریب تقویت یا گین ولتاژ، جریان یا توان می‌نامند. در روابط ۱ـ۴ تا ۳ـ۴ رابطهٔ ضریب تقویت ولتاژ، جریان و توان داده شده است.

$$G_V=\frac{V_o}{V_i}=\frac{V_۲}{V_۱} \qquad ۴ـ۱$$

$$G_I=\frac{I_o}{I_i}=\frac{I_۲}{I_۱} \qquad ۴ـ۲$$

$$Gp=\frac{P_o}{P_i}=\frac{P_۲}{P_۱} \qquad ۴ـ۳$$

۱ـ۴ـ۴ـ ضریب بهره تقویت‌کنندهٔ چند طبقه: در تقویت کننده‌های زنجیره‌ای، ضریب بهره از حاصل‌ضرب گین طبقات در یکدیگر به دست می‌آید. در رابطهٔ ۴ـ۴ ضریب تقویت ولتاژ، در رابطهٔ ۴ـ۵ ضریب تقویت جریان و در رابطهٔ ۴ـ۶ ضریب تقویت توان آمده است. در این روابط G_{VT}(Gain Voltage total)[۱] ضریب بهره ولتاژ کل، G_{IT}(Gain Intensity total) ضریب بهرهٔ جریان کل، G_{PT} (Gain Power total) ضریب بهره توان کل است.

$$G_{VT}=G_{V۱}.G_{V۲}.G_{V۳}.\ldots.G_{VN} \qquad ۴ـ۴$$

$$G_{IT}=G_{I۱}.G_{I۲}.G_{I۳}.\ldots.G_{IN} \qquad ۴ـ۵$$

$$G_{PT}=G_{P۱}.G_{P۲}.G_{P۳}.\ldots.G_{PN} \qquad ۴ـ۶$$

مثال ۲ـ۴

یک تقویت کنندهٔ کاسکاد سه طبقه دارای ضریب تقویت توان $G_{P۱}=۱۰۰$، $G_{P۲}=۵۰$ و $G_{P۳}=۱۰$ است. گین توان کل سیستم چه‌قدر است؟

۱ـ در G_{VT}، حرف G مخفف Gain، حرف V مخفف Voltage و حرف T مخفف کلمه Total است.

پاسخ :

$$G_{PT} = G_{P1} . G_{P2} . G_{P3}$$

$$G_T = ۱۰۰ \times ۵۰ \times ۱۰$$

$$G_T = ۵۰۰۰۰$$

مشاهده می‌شود که عدد به دست آمده عدد نسبتاً بزرگی است.

۲ـ۴ـ۴ـ افت توان (Power Loss): در خطوط انتقال، خطوط تلفنی و مواردی از این قبیل، هنگامی که انرژی از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر انتقال می‌یابد، به‌دلیل عواملی مانند مقاومت‌های موجود در خط انتقال، مقداری از توان کاهش می‌یابد. این کاهش توان را افت توان یا Power Loss می‌نامند.

در این شرایط، در صورتی که تقویت‌کننده‌ای در مسیر نباشد عملاً هیچ گونه تقویتی در مسیرانتقال صورت نمی‌گیرد و سیگنال تضعیف (Attenuation) می‌شود.

۳ـ۴ـ۴ـ ضریب تضعیف (Attenuation Factor): اگر توان خروجی از توان ورودی کمتر باشد نسبت توان ورودی به خروجی ضریب تضعیف نامیده می‌شود. ضریب تضعیف برای فیلترها، خطوط انتقال و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ مثلاً اگر ضریب تضعیف ولتاژ مداری برابر ۱۰۰۰ باشد معنی آن این است که ولتاژ خروجی مدار به اندازه ۱۰۰۰ برابر تضعیف شده است. به عبارت دیگر ولتاژ خروجی $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ ولتاژ ورودی است.

مثال ۳ـ۴

در صورتیکه توان صوتی تولید شده در یک خط تلفنی برابر با ۰/۰۰۰۱ ($۱۰^{-۴}$) وات باشد و در صورت انتقال این توان به فاصله ۱۶ کیلومتری مقدار آن به ۰/۰۰۰۰۰۱ ($۱۰^{-۶}$) وات کاهش یابد، ضریب تضعیف مدار را به‌دست آورید.

پاسخ :

$$\text{ضریب تضعیف} = \frac{\text{توان ابتدای خط}}{\text{توان انتهای خط}}$$

$$\text{ضریب تضعیف} = \frac{۰/۰۰۰۱}{۰/۰۰۰۰۰۱} = ۱۰۰$$

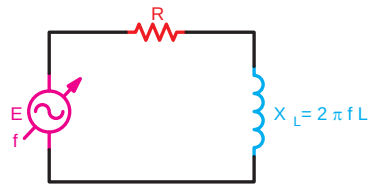
یعنی توان در انتهای خط به نسبت ۱۰۰ برابر کاهش یافته است.

ضریب تضعیف = ۱۰۰

نشان دادن ضریب تقویت و ضریب تضعیف، با توجه به اینکه اعداد بزرگی هستند مشکلاتی را در محاسبات به‌وجود می‌آورند. برای غلبه بر این مشکلات از واحدهای دیگری از قبیل بل(Bell)[۱] و دسی‌بل(decibell) استفاده می‌کنند.

۵ـ۴ـ مروری بر اثر تغییر فرکانس بر روی مقادیر راکتانس سلف (inductive reactance) و راکتانس خازن (capacitive reactance)

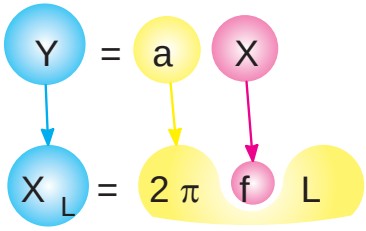
۱ـ۵ـ۴ـ اثر تغییرات فرکانس بر روی سلف (X_L): راکتانس (مقاومت القایی) سلف به فرکانس کار مدار بستگی مستقیم دارد، به‌طوری که با افزایش تدریجی مقدار فرکانس منبع تغذیهٔ شکل ۴ـ۴، مقدار راکتانس سلف (X_L) نیز بیشتر می‌شود.



شکل ۴ـ۴ـ سلف در مدار متناوب

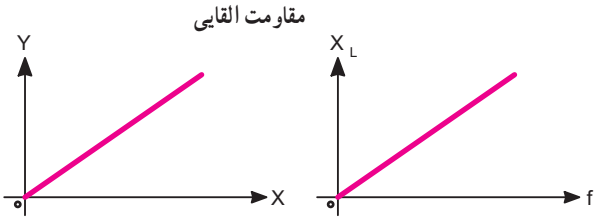
افزایش X_L را می‌توان با معادله خط راست (۷ ـ۴) مقایسه کرد.

۴ـ۷

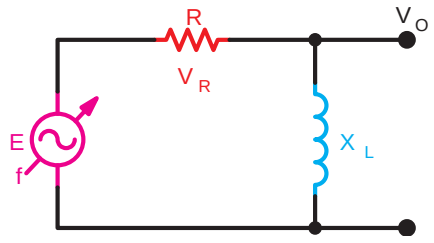


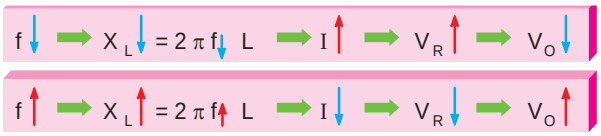
با توجه به رابطهٔ ۷ـ۴ و منحنی شکل ۵ـ۴ مشاهده می‌شود با کاهش مقدار فرکانس مقاومت القایی سلف کمتر می‌شود و جریان مدار زیاد می‌گردد و بالعکس با افزایش فرکانس، مقاومت القایی سلف افزایش و جریان مدار کاهش می‌یابد. شکل۶ـ۴ نمایش نمودار تغییرات فرکانس و اثر آن بر روی ولتاژ خروجی مدار است.

۱ـ Bell نام دانشمند آلمانی است که استفاده از این واحد را برای اولین بار توصیه کرد.



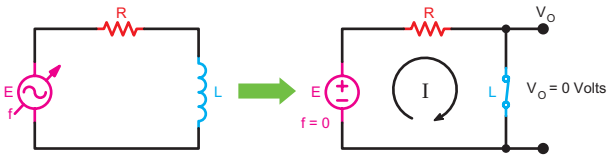
شکل ۵ــ۴ــ نمایش منحنی یک خط راست و
منحنی تغییرات X_L بر اثر تغییرات فرکانس





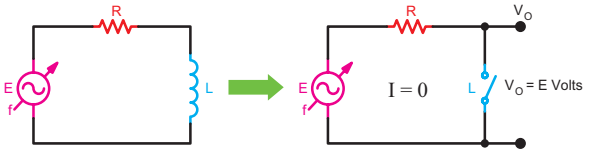
شکل ۶ــ۴ــ نمایش تغییرات فرکانس و اثر آن بر روی ولتاژ خروجی

می‌توان نتیجه گرفت که سلف در فرکانس‌های کم به‌عنوان یک مقاومت کم و در ولتاژ DC به‌عنوان یک کلید بسته عمل می‌کند (شکل ۷ــ۴).



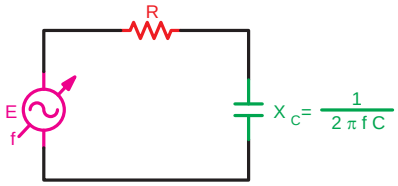
شکل ۷ــ۴ــ عملکرد سلف در ولتاژ DC (f=۰) مانند یک کلید بسته است.

سلف در فرکانس‌های خیلی زیاد مشابه یک کلید باز عمل می‌کند (شکل ۸ ــ۴).



شکل ۸ ــ۴ــ عملکرد سلف در فرکانس زیاد مانند یک کلید باز است.

۲ـ۵ـ۴ـ اثر تغییر فرکانس بر روی خازن: در یک مدار خازنی مانند شکل ۹ــ۴، مقاومت خازنی (عکس‌العمل خازنی ــ راکتانس)، با فرکانس مدار رابطهٔ معکوس دارد. افزایش فرکانس مدار، مقدار راکتانس خازنی مدار را کاهش می‌دهد و باعث کم‌شدن ولتاژ دو سر آن می‌شود. درصورتی‌که فرکانس کاهش یابد عمل عکس رخ می‌دهد و مقدار مقاومت خازنی و ولتاژ دو سر آن افزایش می‌یابد. رابطهٔ ۸ــ۴ و شکل ۱۰ــ۴ این شرایط را نشان می‌دهد.



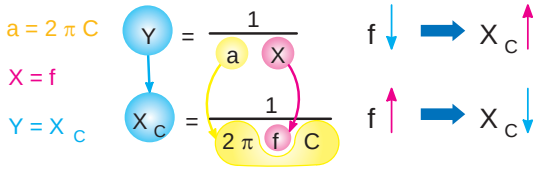
شکل ۹ــ۴ــ خازن در مدار متناوب

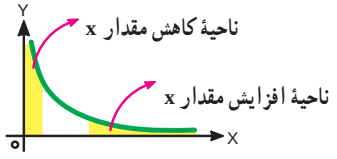
رابطهٔ (۸ ــ۴)

$$y = \frac{1}{ax}$$

$$a = 1, x = 0 \Rightarrow y = \infty$$

$$x \to \infty \Rightarrow y = 0$$





شکل ۱۰ــ۴ــ نمایش منحنی تغییرات تابع
کسری و مقایسه آن با رابطهٔ راکتانس خازنی

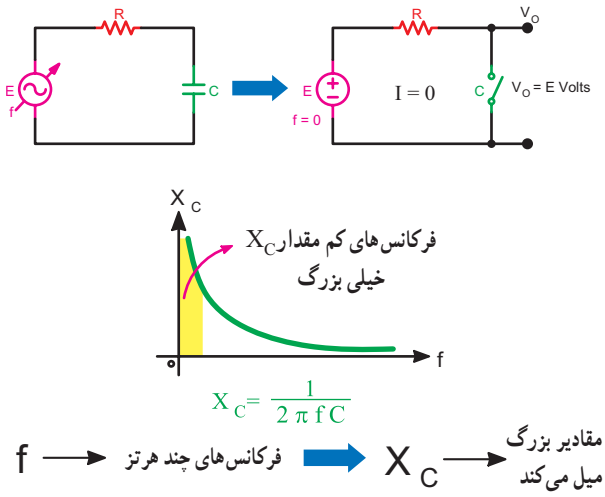
با رسم منحنی X_C به ازای تغییرات فرکانس می‌توان نتیجه گرفت که رفتار خازن در فرکانس‌های کم مشابه یک کلید باز است (شکل ۱۱ــ۴).

با استفاده از ترکیب‌های مختلف از مقاومت و سلف و خازن می‌توان محدوده‌ای از فرکانس‌ها را در مدارهای مخابراتی انتخاب یا حذف کرد که در این صورت به این مدارها فیلتر گویند.

کار با نرم‌افزار

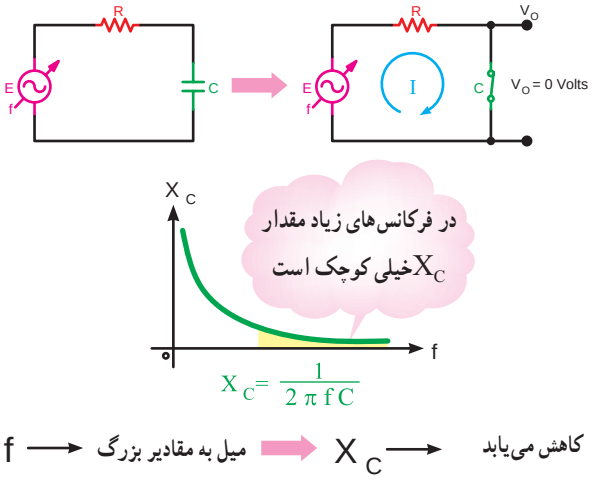
مربی محترم

توصیه می‌شود، با استفاده از نرم‌افزار مولتی سیم یا هر نوع نرم‌افزار مشابه دیگر، اثر تغییر فرکانس روی مقاومت، سلف و خازن را شبیه‌سازی کنید و به هنرجویان نشان دهید.



شکل ۱۱ــ۴ــ عملکرد خازن در ولتاژ DC (f=۰) مانند یک کلید باز است.

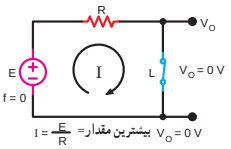
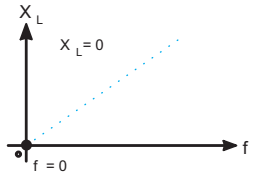
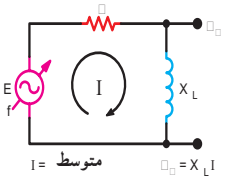
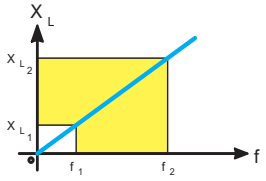
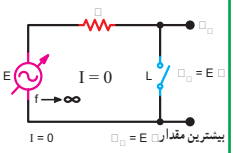
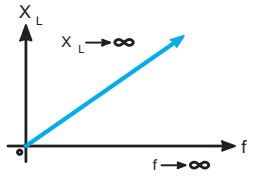
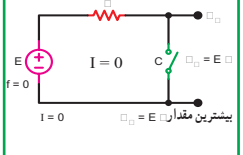
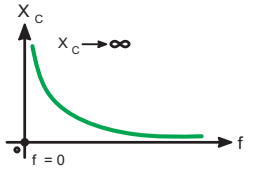
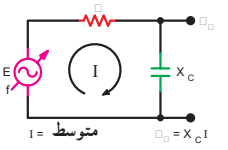
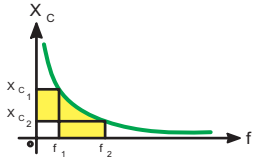
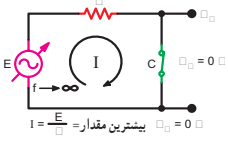
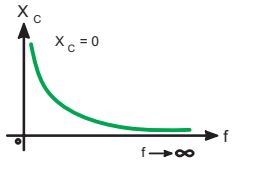
به‌همین ترتیب می‌توان گفت که خازن در فرکانس بالا دارای راکتانس (مقاومت خازنی) کم است و مانند یک کلید بسته عمل می‌کند. در شکل ۱۲ــ۴ منحنی تغییرات X_C به ازای افزایش فرکانس و عملکرد خازن در مدار نشان داده شده است.



شکل ۱۲ــ۴ــ عملکرد خازن در فرکانس زیاد مانند کلید بسته است.

خلاصهٔ عملکرد سلف و خازن در فرکانس‌های مختلف در جدول ۱ــ۴ آمده است.

جدول ۱ــ۴ــ خلاصهٔ عملکرد سلف و خازن در فرکانس‌های مختلف

جریان و ولتاژ در مدار	نمایش منحنی راکتانس سلفی راکتانس خازنی بر حسب فرکانس	مقاومت معادل	معادل قطعه	قطعه	منبع تغذیه
		$F = 0$ $X_L = 2\pi fL$ $X_L = 0$ سلف تقریباً اتصال کوتاه مانند کلید بسته		L	E f = 0
		$X_L = 2\pi fL$	X_L	L	E f
		$F = \infty$ $X_L = 2\pi fL$ $X_L \longrightarrow \infty$ سلف تقریباً مدار باز مانند کلید باز		L	E f → ∞
		$F = 0$ $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ $X_C \longrightarrow \infty$ خازن تقریباً مدار باز مانند کلید باز		C	E f = 0
		$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$	X_C	C	E f
		$F = \infty$ $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ $X_C = 0$ خازن تقریباً اتصال کوتاه مانند کلید بسته		C	E f → ∞

۶ـ۴ـ الگوی پرسش

کامل کردنی

۱ــ توانایی یک گیرنده را در ارتباط با دریافت ..... سیگنال ورودی ..... گیرنده می‌نامند.

کوتاه پاسخ

۲ــ رابطهٔ $\frac{S}{N}$ را در یک بار معین (R_L) بنویسید.

صحیح یا غلط

۳ــ نسبت توان خروجی به توان ورودی، ضریب تضعیف نامیده می‌شود. صحیح ☐ غلط ☐

چهارگزینه‌ای

۴ــ اگر توان صوتی در ابتدای خط تلفنی برابر با ۲۰ میلی‌وات و در انتهای خط به طول ۱۰km برابر ۰/۰۰۲ وات باشد ضریب تضعیف خط کدام است؟

۱) ۰/۰۱ ۲) ۰/۱ ۳) ۱۰ ۴) ۱۰۰

۵ ــ انتخاب‌گری فرکانس سیگنال ایستگاه رادیویی درگیرنده با چه مواردی اجرا می‌شود؟

۶ــ برای افزایش حساسیت گیرنده‌های رادیویی چه اقدامی لازم است؟

۷ــ نویز را تعریف کنید و نسبت سیگنال به نویز را شرح دهید.

۸ ــ رابطهٔ مربوط به گین ولتاژ، جریان و توان را در تقویت‌کننده‌های چند طبقه بنویسید.

۹ ــ راکتانس سلف به چه عواملی بستگی دارد؟ با کاهش فرکانس مقاومت القایی سلف چه تغییری می‌کند؟

۱۰ ــ افزایش فرکانس بر روی راکتانس خازنی چه اثری دارد؟ شرح دهید.

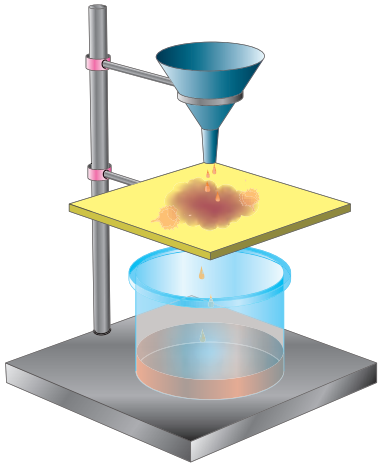
برای هنرجویان علاقه‌مند

با مراجعه به منابع مختلف قابل دسترس، اطلاعات بیشتری را دربارهٔ اثر فرکانس روی سلف و خازن به‌دست آورید. در صورت امکان تصاویر با پسوند **gif** را بیابید که به صورت پویا نمایی (تصویر متحرک) این اثرها را نشان دهد.

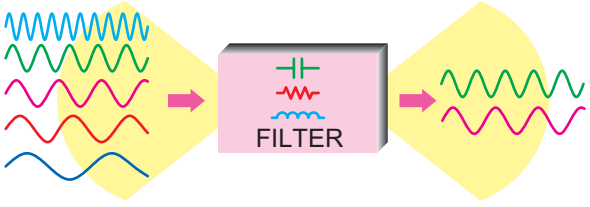
۷ـ۴ـ فیلترها (Filters)

فیلترها مدارهایی هستند که توسط آنها می‌توان فرکانس یا باند فرکانسی معینی را از میان سایر فرکانس‌ها انتخاب کرد. فیلترهای الکترونیکی از نظر نوع کار مشابه فیلتر هوای اتومبیل، فیلترآب و ... هستند. در شکل ۱۳ــ۴ مقایسهٔ فیلترهای الکترونیکی با فیلترهای معمولی آمده است.

در فیلترهای معمولی مکانیکی برای صاف‌کردن مایعات، هوا و ... از یک لایه نازک کاغذی، پارچه‌ای، پلاستیکی و ... استفاده می‌کنند. در فیلترهای الکترونیکی ترکیب اجزای الکترونیکی از قبیل سلف، خازن مقاومت و ... به‌کار می‌رود. در شکل ۱۳ــ۴ــ الف یک فیلتر مکانیکی، که برای جدا کردن مواد جامد از مایع به‌کار می‌رود، ترسیم شده است. در این فیلتر یک لایهٔ پارچه‌ای منفذدار نقش فیلتر را به‌عهده دارد و عمل جدا کردن مواد جامد از مایع را انجام می‌دهد. در شکل ۱۳ــ۴ــ ب فرکانس‌های ورودی به فیلتر الکترونیکی، پنج فرکانس مختلف است که از میان این پنج فرکانس دو فرکانس انتخاب و جدا شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است عمل فیلتر کردن توسط خازن، سیم‌پیچ و مقاومت صورت می‌گیرد.



الف ــ فیلتر مایعات



ب ــ فیلتر الکترونیکی (دو سیگنال خارج می‌شود).

شکل ۱۳ــ۴ــ فیلتر مایعات و فیلتر الکترونیکی

۱ـ۷ـ۴ـ محدودهٔ فرکانسی فیلتر (Filter Band width):

محدودهٔ فرکانسی فیلتر عبارت از مجموعهٔ فرکانس‌هایی است که فیلتر می‌تواند از خود عبور دهد. این محدوده فرکانسی را پهنای باند یا پاسخ فرکانسی فیلتر می‌نامند (شکل ۱۴ـ۴ ـ الف).

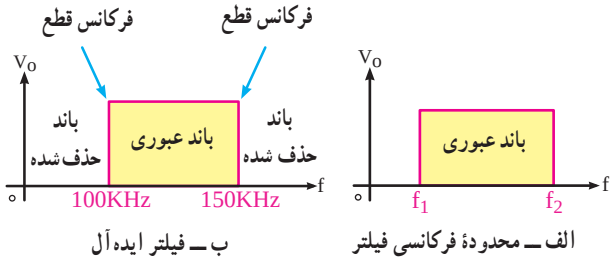
۲ـ۷ـ۴ـ فیلتر ایده‌آل: فیلتر ایده‌آل فیلتری است که در خروجی آن دقیقاً فرکانس‌های معین و مورد نظر ظاهر می‌شود. مثلاً اگر قرار است فرکانس‌هایی را که در محدودهٔ (باند) فرکانسی ۱۰۰ کیلوهرتز تا ۱۵۰ کیلوهرتز قرار دارد در خروجی داشته باشیم، دقیقاً این فرکانس‌ها در خروجی به دست آید؛ به طوری که اثری از فرکانس‌های نزدیک به این مقادیر در خروجی ظاهر نشود. در شکل ۱۴ـ۴ـ ب منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر ایده‌آل آمده است.

۳ـ۷ـ۴ـ فیلتر واقعی (Real filter): به علت استفاده از مقاومت، سلف و خازن در فیلترها نمی‌توانیم پاسخ فرکانسی ایده‌آل داشته باشیم. چرا که این عناصر نمی‌توانند مانند یک کلید عمل کنند و از عبور فرکانس‌های ناخواسته جلوگیری به‌عمل آورند. در این حالت دامنهٔ فرکانس‌های ناخواسته به تدریج کم می‌شود تا به صفر می‌رسد. در شکل ۱۴ـ۴ـ ج منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر واقعی، ترسیم شده است.

۴ـ۷ـ۴ـ فرکانس قطع فیلتر (Cut off frequency):

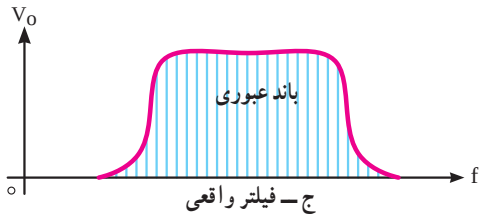
حد فرکانس قابل قبول در خروجی فیلتر را فرکانس قطع فیلتر می‌نامند. فیلترها با توجه به کاربرد و ساختمان می‌توانند دارای یک، دو یا چند فرکانس قطع باشند. در فیلترهای ایده‌آل فرکانس قطع دقیقاً روی فرکانس مورد نظر قرار می‌گیرد. در شکل ۱۴ـ۴ـ الف فرکانس‌های قطع فیلتر ایده‌آل برابر با F_1 و F_2 است.

در فیلترهای واقعی ولتاژ خروجی به تدریج به حداکثر ولتاژ ورودی، یا صفر می‌رسد، از این رو نقاط متعددی وجود دارد که می‌تواند به عنوان فرکانس قطع فیلتر انتخاب شود. طبق تعریف در فیلترهای واقعی، فرکانس قطع فیلتر عبارت از فرکانسی است که در آن فرکانس، تطابق توان صورت می‌گیرد و نیمی از توان ورودی به خروجی منتقل می‌شود. در این نقطه معمولاً[1] ۷۰/۷ درصد ولتاژ ورودی در خروجی ظاهر می‌شود. این نقطه را نقطه نصف قدرت نیز می‌نامند (شکل ۱۵ـ۴). این نقطه همان سطح ۳dB است. زیرا وقتی توان خروجی برابر با $\frac{1}{2}$ توان ورودی می‌شود مقدار توان به اندازهٔ ۳ دسی‌بل کاهش می‌یابد. در شکل ۱۵ـ۴ محور عمودی سمت راست برحسب درصد و محور عمودی سمت چپ برحسب dB است.



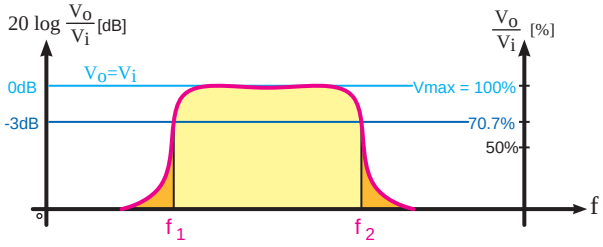
الف ــ محدودهٔ فرکانسی فیلتر

ب ــ فیلتر ایده‌آل



ج ــ فیلتر واقعی

شکل ۱۴ـ۴ـ پاسخ فرکانسی



شکل ۱۵ـ۴ـ فرکانس قطع فیلتر واقعی

چگونگی به‌دست آوردن فرکانس قطع و پهنای باند در کتاب آزمایشگاه به تفصیل آمده است.

بهره توان، ولتاژ، جریان یا ضریب تضعیف را در مدارهای مختلف برحسب دسی‌بل بیان می‌کنند.

$$A_V\,(dB) = 20 \log \frac{V_o}{V_{in}}, A_P\,(dB) = 20 \log \frac{P_o}{P_{in}}$$

۵ـ۷ـ۴ـ انواع فیلترها از نظر کاربرد: فیلترها از نظر کاربرد به چهار گروه زیر تقسیم‌بندی می‌شوند.

الف ــ فیلتر پایین گذر LPF (Low Pass Filter)

فیلتر پایین گذر فیلتری است که اجازه می‌دهد فرکانس‌هایی

۱ــ هنگامی که توان خروجی نصف توان ورودی است، ولتاژ خروجی برابر $\frac{1}{\sqrt{2}} \times V_{in}$ یا ۰/۷۰۷ V_{in} و جریان خروجی برابر $\frac{1}{\sqrt{2}} \times I_{in}$ یا ۰/۷۰۷ I_{in} است.

را از حد صفر تا مقدار معینی، که به عنوان فرکانس قطع مطرح می‌شود، از خود عبور دهد. در شکل ۱۶ــ۴ــ الف پاسخ فرکانسی این فیلتر را مشاهده می کنید. در شکل ۱۶ــ۴ ــ ب و ج دو نوع مدار فیلتر پایین گذر RL و RC ترسیم شده است.

در مدار شکل ۱۶ــ۴ــ ب در حالتی که فرکانس ورودی صفر است، سیم پیچ اتصال کوتاه می‌باشد. با افزایش فرکانس، مقدار X_L نسبت به R افزایش می‌یابد. بدین ترتیب مقدار امپدانس کل مدار افزایش می‌یابد و جریان مدار کم می‌شود. با کم‌شدن جریان، ولتاژ دو سر مقاومت R که ولتاژ خروجی است کاهش می‌یابد. با افزایش تدریجی فرکانس، به نقطه‌ای می‌رسیم که مقدار X_L آن قدر زیاد می‌شود که تقریباً تمام ولتاژ ورودی در دو سر X_L افت می کند و ولتاژی به خروجی مدار نمی‌رسد. فرکانسی را که در آن فرکانس مقدار $X_L=R$ می‌شود فرکانس قطع فیلتر پایین گذر می نامند و آن را با F_c نشان می‌دهند. فرکانس قطع از رابطهٔ ۹ــ۴ قابل محاسبه است.

$$X_L = R \Rightarrow L\omega = R \Rightarrow \omega = \frac{R}{L}$$

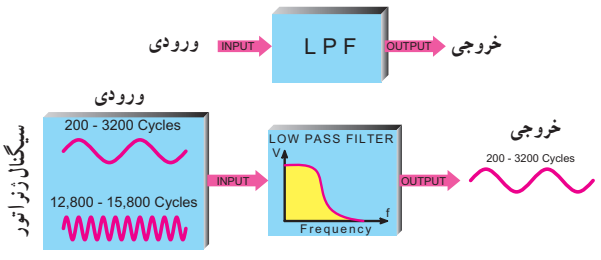
۹ــ۴ فرمول محاسبه فرکانس قطع فیلتر RL پایین گذر (LPF)

$$F_C = \frac{R}{2\pi L}$$

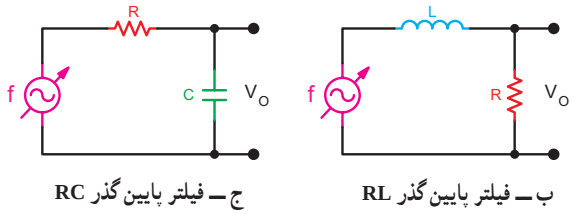
تحلیل مدار شکل ۱۶ــ۴ــ ج در قسمت خودآزمایی به عهدهٔ فراگیران گذاشته شده است. مقدار فرکانس قطع فیلتر پایین‌گذر RC از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود :

فرمول محاسبه فرکانس قطع فیلتر RC (LPF)

$$F_C = \frac{1}{2\pi RC}$$



الف ــ پاسخ فرکانسی فیلتر پایین گذر



ب ــ فیلتر پایین گذر RL

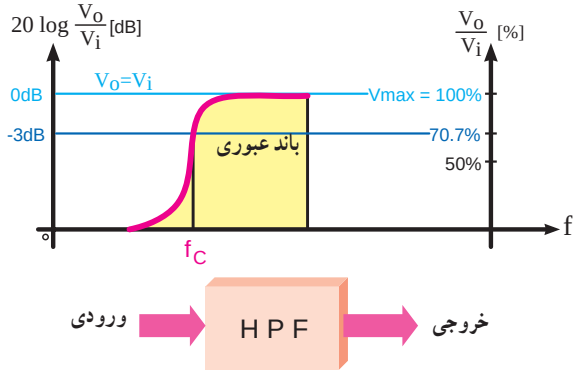
ج ــ فیلتر پایین گذر RC

شکل ۱۶ــ۴ــ فیلتر پایین گذر

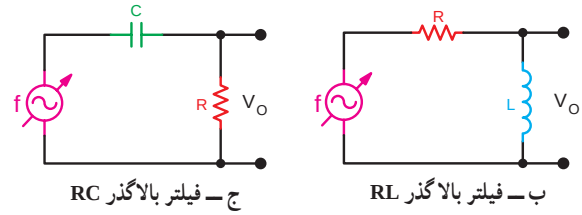
ب ــ فیلتر بالا گذر HPF (High Pass Filter) : این فیلترها از فرکانس معینی به بالا را از خود عبور می دهند. اصول کار و ساختمان فیلترهای بالا گذر مشابه فیلترهای پایین گذر است. با این تفاوت که خروجی های مدار جابه‌جا شده است. در شکل ۱۷ــ۴ــ ب فیلتر RL بالا گذر را ملاحظه می کنید. خروجی این مدار از دو سر X_L(دو سرسلف) دریافت شده است.

در شکل ۱۷ ــ۴ــ ج فیلتر بالا گذر RC ترسیم شده است. خروجی این مدار برخلاف فیلتر پایین گذر از دو سر مقاومت R دریافت شده است.

برای درک بهتر مطلب، مدارهای شکل ۱۷ــ۴ را با مدارهای شکل ۱۶ــ۴ مقایسه کنید. فرکانس قطع فیلتر بالا گذر مشابه فیلترهای پایین گذر است (شکل۱۷ــ۴ــ الف).



الف ــ پاسخ فرکانسی فیلتر بالا گذر



ب ــ فیلتر بالا گذر RL

ج ــ فیلتر بالاگذر RC

شکل ۱۷ــ۴ــ فیلترهای بالا گذر

کار با نرم‌افزار

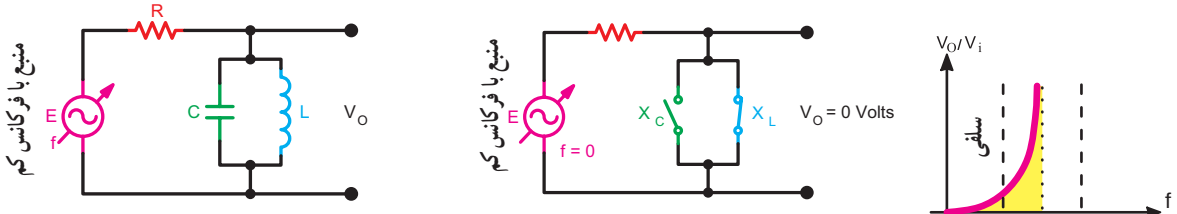
مربی محترم

توصیه می‌شود، با استفاده از نرم افزار مولتی سیم، انواع فیلترها را شبیه‌سازی کنید و برای هنرجویان به نمایش در آورید.

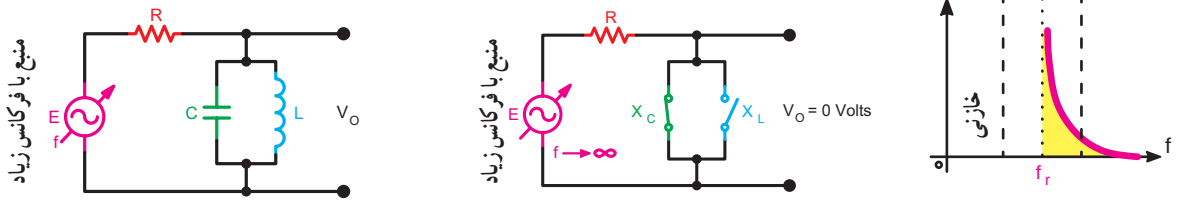
ج ــ فیلترهای میان‌گذر BPF (Band Pass Filters) :

فیلترهای میان گذر فیلترهایی هستند که اجازه عبور باند فرکانسی معینی را می‌دهند. این فیلترها را فیلترهای عبور باند نیز می‌نامند. در فیلترهای میان‌گذر از مدارهای رزونانس سری و موازی استفاده می‌شود.

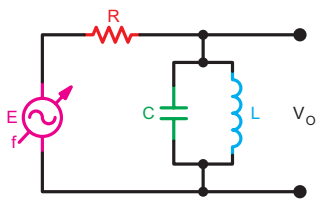
همان‌طور که در شکل ۱۸ــ۴ ملاحظه می‌شود ولتاژ خروجی از دو سر مدار رزونانس موازی دریافت می‌شود. در فرکانس‌های پایین سیم‌پیچ به‌صورت اتصال کوتاه و خازن به‌صورت اتصال باز عمل می‌کند و ولتاژ خروجی صفر می‌شود. در فرکانس‌های بالا، خازن به صورت اتصال کوتاه و سیم‌پیچ به‌صورت اتصال باز عمل می‌کند و ولتاژ خروجی صفر می‌شود. با توجه به اینکه امپدانس مدار رزونانس موازی در حالت رزونانس (تشدید) ماکزیمم است بیشترین ولتاژ را در خروجی خواهیم داشت. به عبارت دیگر در حالت رزونانس، ولتاژ خروجی تقریباً برابر با ولتاژ ورودی خواهد بود. زیرا سلف و خازن از مدار قطع شده‌اند و مانند مدار باز عمل می‌کنند و ولتاژ دو سر آنها با ولتاژ منبع ورودی برابر می‌شود.



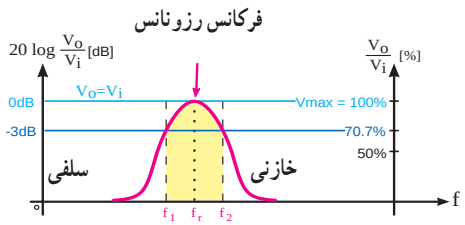
الف ــ رفتار مدار در فرکانس‌های کم، سلف مانند کلید بسته عمل می‌کند و باعث کاهش ولتاژ خروجی می‌شود.



ب ــ رفتار مدار در فرکانس‌های زیاد، خازن مانند کلید بسته عمل می‌کند و باعث کاهش ولتاژ خروجی می‌شود.



د ــ فیلتر میان گذر



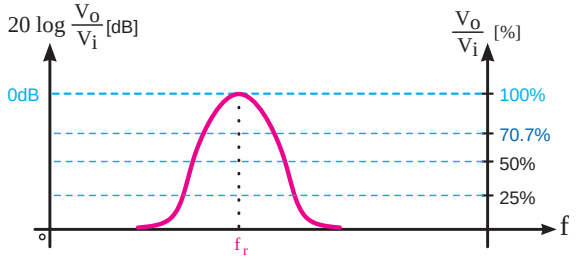
ج ــ پاسخ فرکانسی

شکل ۱۸ــ۴ــ فیلتر میان گذر

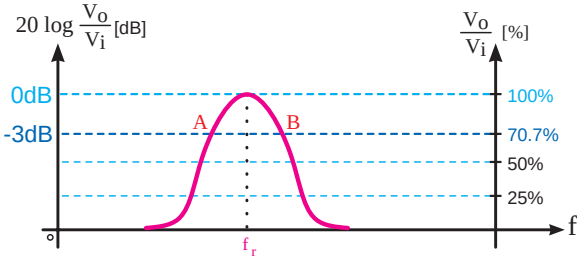
در فرکانس تشدید (رزونانس) مدار دارای خاصیت اهمی است و ولتاژ خروجی ماکزیمم است.

در مدار رزونانس موازی (فیلتر میان‌گذر) درفرکانس رزونانس مقاومت سلفی (X_L) و مقاومت خازنی (X_C) با هم برابر است ($X_L=X_C$) و مقاومت ظاهری معادل LC موازی خیلی بزرگ (کلید باز) است و به سمت بی‌نهایت میل می‌کند.

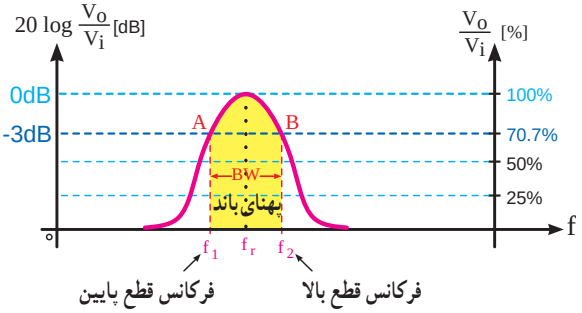
طرز تعیین فرکانس‌های قطع فیلتر میان‌گذر: برای به‌دست آوردن فرکانس قطع فیلتر میان گذر ابتدا با در دست داشتن منحنی پاسخ فرکانسی، فرکانس حداکثر خروجی را که در F_r به‌دست می‌آید، مشخص می‌کنیم (شکل ۱۹ــ۴ــ الف). سپس حد 3dB-، که همان ۷۰/۷ درصد ولتاژ ورودی یا ۵۰ درصد توان ورودی است را تعیین می‌کنیم (شکل ۱۹ــ۴ــ ب) و خطی موازی محور فرکانس‌ها می‌کشیم (شکل ۱۹ــ۴ــ ج)، این خط در دو نقطه A و B منحنی پاسخ فرکانسی را قطع می‌کند. از این دو نقطه بر محور افقی عمود می‌کنیم. فرکانس F_1 فرکانس قطع پایین و فرکانس F_2 فرکانس قطع بالای فیلتر میان‌گذر است. فاصله F_1 و F_2 پهنای باند فیلتر را تشکیل می‌دهد. فرکانس F_1 را با F_L (Low ــ کم) و فرکانس F_2 را با F_H (زیاد ــ High) نیز نشان می‌دهند.



الف ــ نقطه حداکثر را به دست می‌آوریم



ب ــ نقاط 3- db را تعیین می‌کنیم



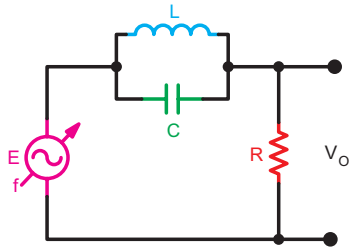
ج ــ از نقاط A و B به محور افقی عمود می‌کنیم و پهنای باند را به‌دست می‌آوریم

شکل ۱۹ــ۴ــ نحوهٔ به‌دست آوردن فرکانس قطع در فیلترهای میان گذر

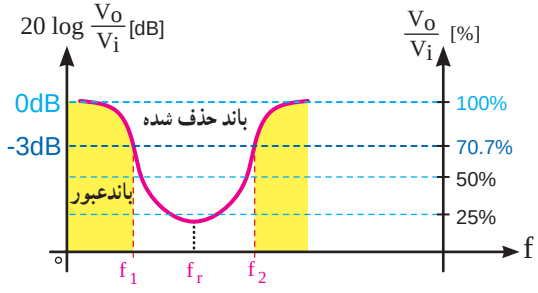
د ــ فیلترحذف باند

(Band Reject Filter -Notch filter) BRF :

فیلترهای حذف باند فیلترهایی هستند که باند معینی از فرکانس را حذف می‌کنند. این فیلترها از نظر نحوهٔ کار، مشابه فیلترهای میان گذرند. تنها تفاوت بین آنها نحوهٔ دریافت خروجی است. در شکل ۲۰ــ۴ــ الف یک نمونه فیلتر حذف باند و در شکل ۲۰ــ۴ــ ب پاسخ فرکانسی آن ترسیم شده است.



الف ــ فیلتر حذف باند



ب ــ پاسخ فرکانسی

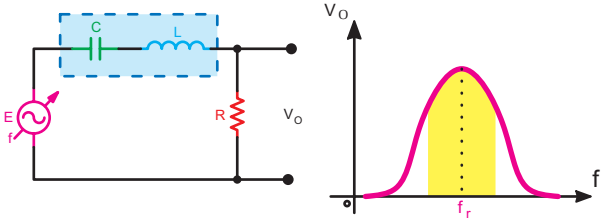
شکل ۲۰ــ۴ــ فیلتر حذف باند

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در فرکانس F_r مدار رزونانس LC موازی به صورت یک امپدانس زیاد عمل می‌کند و

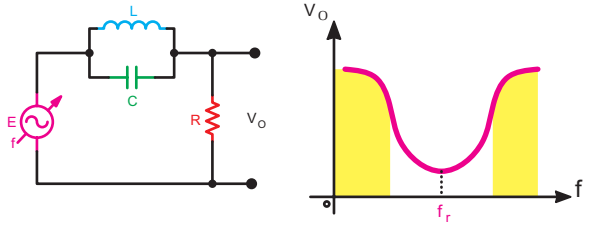
جریان مدار را آن‌قدر محدود می‌کند که در خروجی ولتاژ بسیار کمی ظاهر می‌شود که می‌توانیم عملاً آن را صفر در نظر بگیریم. در فرکانس‌های خیلی پایین، سیم‌پیچ به صورت اتصال کوتاه و خازن به‌صورت اتصال باز عمل می‌کند، در این حالت تمام ولتاژ ورودی در خروجی ظاهر می‌شود. در فرکانس‌های بالا، خازن اتصال کوتاه می‌شود و سلف به‌صورت اتصال باز عمل می‌کند، در این حالت تمام ولتاژ ورودی به خروجی می‌رسد.

۶ـ۷ـ۴ـ انواع فیلترهای میان‌گذر و حذف باند: فیلترهای میان‌گذر و حذف باند را از نظر نحوهٔ بستن مدار به دو دسته سری و موازی تقسیم می‌کنند.

الف ــ فیلترهای سری: در صورتی که مدار هماهنگی به‌صورت سری با خروجی قرار گیرد، نوع فیلتر را سری می‌گویند. فیلترهای سری، خود بر دو نوع فیلتر سری با مدار رزونانس سری (میان‌گذر) و فیلتر سری با مدار رزونانس موازی (حذف باند) تقسیم می‌شود. در شکل ۲۱ــ۴ــالف فیلتر میان‌گذر سری با مدار رزونانس سری و در شکل ۲۱ــ۴ــ ب فیلتر حذف باند سری با مدار رزونانس موازی ترسیم شده است.



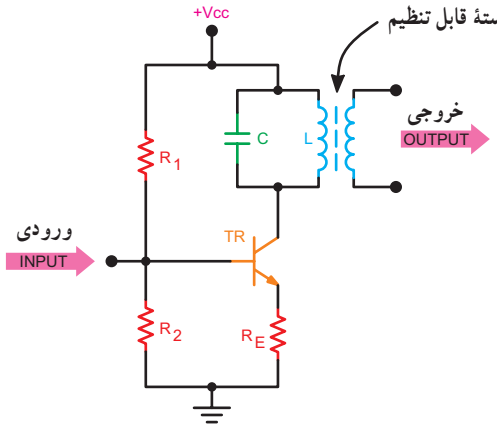
الف ــ فیلتر میان گذر سری با مدار رزونانس سری



ب ــ فیلتر حذف باند سری با مدار رزونانس موازی

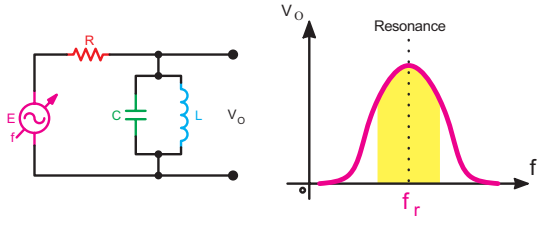
شکل ۲۱ــ۴ــ انواع فیلترهای سری

در مدارهای گیرندهٔ رادیو، اغلب از فیلترهای میان‌گذر با مدار رزونانس موازی استفاده می‌شود. این فیلترها به منظور انتخاب باند فرکانس معینی در طبقات مختلف گیرنده به کار می‌رود. درشکل ۲۲ــ۴ یک نمونه مدار عملی فیلتر میان‌گذر را که در گیرندهٔ رادیو استفاده می‌شود ملاحظه می‌کنید. خازن و سیم‌پیچ در این فیلتر ثابت و هسته سیم پیچ قابل تغییر است. با تنظیم هستهٔ سیم‌پیچ می‌توان فرکانس رزونانس فیلتر را روی مقدار معیّنی تنظیم کرد.

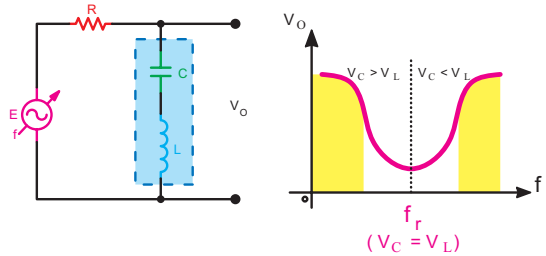


شکل ۲۲ــ۴ــ یک نمونه فیلتر عملی قابل استفاده در مدار رادیو

ب ــ فیلترهای موازی: اگر مدار رزونانس به صورت موازی با خروجی قرار گیرد فیلتر موازی شکل می‌گیرد. فیلترهای موازی در دو نوع فیلتر میان گذر با مدار رزونانس موازی شکل ۲۳ــ۴ــ الف و فیلتر حذف باند با مدار رزونانس سری شکل ۲۳ــ۴ــ ب تقسیم می‌شود. اساس کار فیلترهای موازی مشابه فیلترهای سری است.



الف ــ فیلترمیان‌گذر موازی با مدار رزونانس موازی



ب ــ فیلتر حذف باند موازی با مدار رزونانس سری

شکل ۲۳ــ۴ــ انواع فیلترهای موازی

۴ـ۷ـ۴ـ مشخصه‌های فیلتر میان گذر: به طور کلی برای فیلترهای میان‌گذر سه مشخصه به شرح زیر تعریف می‌شود :

الف ــ فرکانس رزونانس Fr

ب ــ پهنای باند Bw

ج ــ ضریب کیفیت Q

الف ــ فرکانس رزونانس (Resonance Frequency) :

فرکانس رزونانس فیلترهای میان‌گذر از رابطه ۴ــ۱۰ قابل محاسبه است.

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad ۴ــ۱۰$$

ب ــ پهنای باند (Band Width) : پهنای باند فیلتر میان‌گذر فاصله بین فرکانس‌های قطع بالا و قطع پایین است.

$$BW = F_2 - F_1 \qquad ۴ــ۱۱$$

فرکانس قطع پایین $F_L = F_1$ =، پهنای باند BW=، فرکانس قطع بالا $F_H = F_2$=

مقدار پهنای باند از طریق ترسیمی طبق شکل ۴ــ۱۹ به‌دست می‌آید.

مثال ۴ـ۴

در یک فیلتر میان گذر در صورتی که فرکانس قطع بالا برابر با ۶۱۰ کیلوهرتز و فرکانس قطع پایین برابر با ۵۸۰ کیلوهرتز باشد، پهنای باند را به دست آورید.

پاسخ :

$$BW = F_2 - F_1 \Rightarrow BW = ۶۱۰ - ۵۸۰ \Rightarrow BW = ۳۰ KHz$$

نمایش نرم‌افزاری

توصیه می‌شود، با استفاده از نرم‌افزار مولتی سیم، انواع فیلترهای میان‌گذر و حذف باند را شبیه‌سازی نمایید و برای هنرجویان نمایش دهید.

ج ــ ضریب کیفیت Q (Quality Factor) : این ضریب میزان تیزی منحنی مشخصه و پهنای باند را تعیین می‌کند.

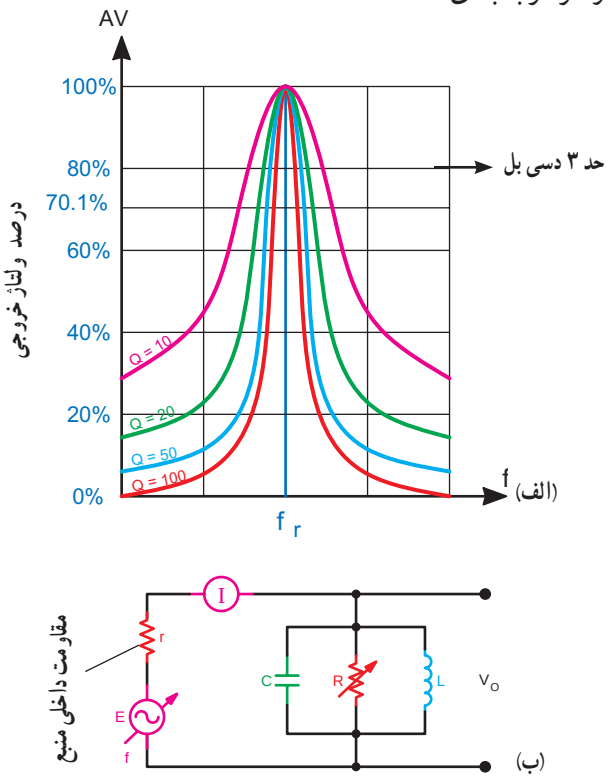
بین مقدار Q، پهنای باند و F_r رابطهٔ ۴ــ۱۲ برقرار است :

$$Q = \frac{F_r}{BW} \qquad ۴ــ۱۲$$

F_r = فرکانس رزونانس ، Q = ضریب کیفیت

BW = پهنای باند

هر قدر ضریب Q کمتر شود پهنای باند بیشتر می‌شود. در شکل ۴ــ۲۴ منحنی یک مدار رزونانس موازی با یک فرکانس رزونانس و مقادیر Q متفاوت رسم شده است. مقدار Q مدار رزونانس بستگی به مقدار مقاومت اهمی مدار دارد. در این شکل محور افقی برحسب فرکانس و محور قائم بر حسب درصد بهره ولتاژ درجه‌بندی شده است.



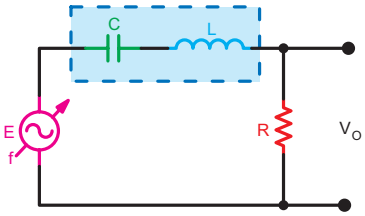
شکل ۴ــ۲۴ــ پاسخ فرکانسی مدار رزونانس موازی با Qهای متفاوت

۴ـ۷ـ۴ـ۸ـ مقدار Q در مدار رزونانس سری: در مدار شکل ۴ــ۲۵ یک مدار رزونانس سری رسم شده است. مقدار Q این مدار بستگی به مقاومت سری آن دارد و از رابطه ۴ــ۱۳ قابل محاسبه است.

$$Q=\frac{X_L}{R} \qquad ۴_۱۳$$

X_L = راکتانس سلفی، Q = ضریب کیفیت

R = مقاومت اهمی سری با سیم پیچ



شکل ۲۵ــ۴ــ مدار رزونانس سری

مثال ۵ـ۴

در صورتی که در مدار شکل ۲۵ــ۴ مقدار $X_L=۱۰K\Omega$ و مقدار $R=۱۰۰\Omega$ باشد مقدار Q را به دست آورید.

پاسخ :

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

$$Q=\frac{۱۰۰۰۰}{۱۰۰} \Rightarrow \boxed{Q=۱۰۰}$$

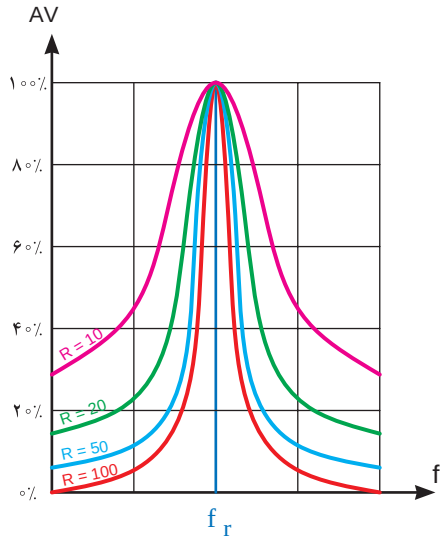
اگر در رابطهٔ $BW=\frac{F_r}{Q}$ به جای Q مقدار آن را در رابطه ۴ــ۱۳ قرار دهیم، داریم :

$$Q=\frac{X_L}{R} \quad ، \quad BW=\frac{F_r}{Q} \quad ، \quad BW=\frac{F_r}{X_L/R}$$

$$BW=\frac{F_r.R}{X_L} \qquad ۴_۱۴$$

$$R\uparrow \longrightarrow BW\uparrow \longrightarrow Q\downarrow$$

اگر رابطهٔ ۴ــ۱۴ را مورد توجه قرار دهیم می‌بینیم که با زیادشدن مقاومت اهمی سیم‌پیچ، مقدار Q کم و مقدار پهنای باند زیاد می‌شود. شکل ۲۶ــ۴ مقدار Q را در مدار رزونانس سری با مقادیر متفاوت R نشان می‌دهد.

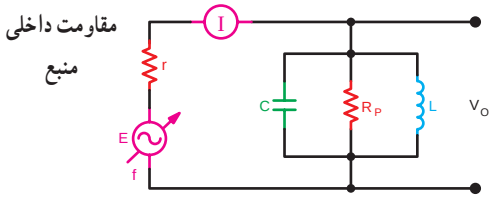


شکل ۲۶ــ۴ــ اثر مقاومت R روی Q در مدار رزونانس سری

۹ـ۷ـ۴ـ مقدار Q در مدار رزونانس موازی: مقدار Q در مدار رزونانس موازی بستگی به مقاومت موازی مدار دارد. مقدار Q در مدار شکل ۲۷ــ۴ از رابطهٔ ۴ــ۱۵ قابل محاسبه است.

$$Q_P=\frac{^{۱}R_P}{X_L} \qquad \text{رابطهٔ } ۴_۱۵$$

$$R\uparrow \longrightarrow BW\downarrow \longrightarrow Q\uparrow$$



شکل ۲۷ــ۴ــ مدار رزونانس موازی

اگر در رابطهٔ پهنای باند مقدار Q_P را قرار دهیم خواهیم داشت :

$$BW=\frac{F_r}{Q_P} \qquad Q_P=\frac{R_P}{X_L}$$

$$BW=\frac{F_r}{R_P/X_L}, \boxed{BW=\frac{F_r.X_L}{R_P}} \qquad ۴_۱۶$$

۱ــ R_P به معنی مقاومت موازی است و از Paralel گرفته شده است.

از مقاومت اهمی سری سلف صرف‌نظر شده است اگر بخواهیم این مقاومت را در نظر بگیریم سلف به مدار RL سری

تبدیل می‌شود که باید RL سری را به RL موازی تبدیل نمود و سپس R_P معادل موازی رامحاسبه کرد. بنابراین به علت پیچیدگی از طرح این محاسبات خودداری شد.

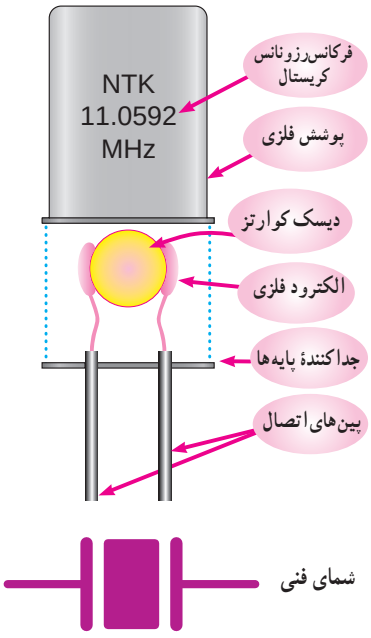
با بررسی رابطهٔ ۱۶ــ۴ و شکل ۲۴ــ ۴ــ الف در می‌یابیم که در مدار رزونانس موازی با افزایش مقدار R_P مقدار Q_P زیاد و پهنای باند مدار کم می‌شود. در مدارهای رادیو برای افزایش پهنای باند مقدار R_P را کاهش می‌دهند.

اگر هنگام پرسیدن سؤالی، در مورد سؤال خوب فکر کنید، می‌توانید با اعتماد به نفس و به طور دقیق سؤال خود را مطرح کنید و جواب منطقی دریافت نمایید.

۸ ـ۴ـ فیلترهای کریستالی (Crystal filter)

روش دیگر برای کنترل فرکانس در مدارهای رزونانسی استفاده از کریستال کوارتز (quartz crystal) است. کوارتز، یک ماده با اثر پیزوالکتریک (Piezoelectric effect) است، که هرگاه انرژی الکتریکی دریافت کند آن را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند و بالعکس انرژی مکانیکی را به سیگنال الکتریکی تبدیل می کند. کریستال کوارتز تمایل دارد که در فرکانس تشدید خود نوسان کند، که مقدار فرکانس رزونانس از مشخصات فیزیکی آن تعیین می‌شود. به همین منظور ضخامت کریستال تعیین کننده اصلی نقطه رزونانس است. در شکل ۲۸ــ۴ ساختمان داخلی و شمای فنی آن نشان داده شده است. برای تعیین مشخصات کریستال لازم است به برگهٔ اطلاعات (Data Sheet) کریستال مراجعه کنید.

به اثر ناشی از فشار برای تولید بارهای الکتریکی، اثر پیزوالکتریک می گویند.



الف ــ ساختمان داخلی و شمای فنی کریستال

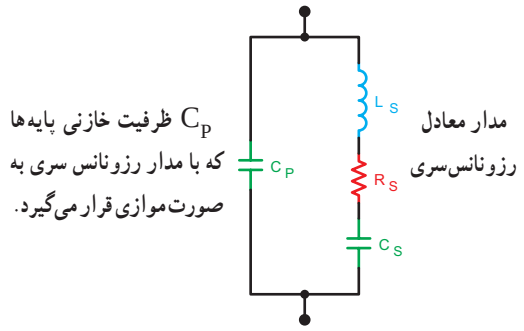
ب ــ شکل ظاهری چند نمونه کریستال

شکل ۲۸ــ۴ــ ساختمان داخلی، شمای فنی و شکل ظاهری کریستال

صفحهٔ دایره‌ای شکل (دیسک) کوارتز برای کار در فرکانس‌های بالا نازک است. در هر طرف صفحه (دیسک) یک الکترود فلزی تماس دارد. هرگاه یک ولتاژ متناوب Ac به دو سر الکترود اعمال شود کریستال به ارتعاش درمی‌آید. این ارتعاش در فرکانس رزونانس کریستال انجام می‌شود و در این حالت کریستال سیگنالی تولید می کند که فرکانس آن با فرکانس تشدید برابر است.

کریستال می تواند در مدارهای فرکانس بالا به راحتی کار کند و جایگزین مدارهای رزونانس سری و موازی RLC شود و حُسن آن پایداری فرکانس و ضریب کیفیت بالای آن است. مدار

معادل کریستال کوارتز را می‌توان با یک ترکیب سری و موازی RLC مطابق شکل (۲۹ــ۴) نشان داد.



شکل ۲۹ــ۴ــ مدار معادل کریستال کوارتز

برای هنرجویان علاقه‌مند

برای کسب اطلاعات بیشتر می‌توانید به برگهٔ اطلاعات (Data Sheet) انواع کریستال‌ها از جمله کریستال‌های سه‌پایه مراجعه کنید و سایر مشخصات کریستال را استخراج نمایید. از سایت AllDatasheet.com کمک بگیرید.

۹ـ۴ـ الگوی پرسش

تشریحی و محاسباتی

۱ــ فیلتر مکانیکی را با فیلتر الکترونیکی مقایسه کنید.

۲ــ فیلتر ایده‌آل و فیلتر واقعی را تعریف کنید و منحنی پاسخ فرکانسی آنها را با هم مقایسه کنید.

۳ــ فرکانس قطع فیلتر را تعریف کنید و نحوهٔ محاسبه آن را بنویسید.

۴ــ فیلترهای پایین گذر و بالا گذر RL و RC را شرح دهید و نحوهٔ محاسبه فرکانس قطع آنها را بنویسید.

۵ــ دو نمونه فیلتر میان‌گذر سری رسم کنید و طرز کار آن را بنویسید.

۶ــ ضریب کیفیت را تعریف کنید.

۷ــ در یک مدار رزونانس سری اگر مقدار R_s کاهش یابد، چه تأثیری روی پاسخ فرکانسی می‌گذارد؟ شرح دهید.

۸ــ در یک مدار رزونانس موازی مقاومت معادل مدار $R_P=۱۰۰kΩ$ ، $X_L=۱۰kΩ$ و $F_r=۵۰۰kHz$ است.

الف ــ مقدار BW و Q این مدار چقدر است؟

ب ــ اگر مقدار R_P را به ۱/۵ برابر افزایش دهیم چه تغییری در مدار پدید می‌آید؟ با استفاده از محاسبات شرح دهید.

۹ــ کاربرد کریستال کوارتز را بنویسید.

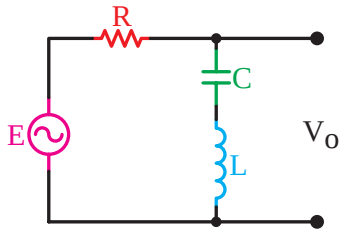
۱۰ــ مزیّت استفاده از کریستال کوارتز را بنویسید.

چهارگزینه‌ای

۱۱ــ فیلتر شکل ۳۰ــ۴ از نوع .... باند.... است.

۱) عبور ــ موازی ۲) حذف ــ سری

۳) حذف ــ موازی ۴) عبور ــ سری

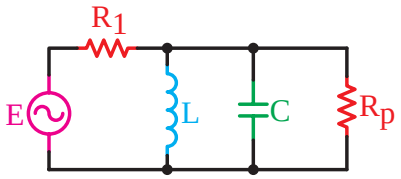


شکل ۳۰ــ۴

۱۲ــ در فیلتر شکل ۳۱ــ۴ اگر R_P افزایش یابد مقدار Q ..... می‌شود و BW..... می‌یابد.

۱) زیاد ــ کاهش ۲) زیاد ــ افزایش

۳) کم ــ افزایش ۴) کم ــ کاهش



شکل ۳۱ــ۴

از طرّاحان محترم سؤالات آزمون‌ها تقاضا می‌شود از مباحث «جهت دانش‌آموزان علاقه‌مند» و موارد مرتبط با «خلاقیت و ابتکار» و «زندگی‌نامه دانشمندان» تحت هیچ شرایطی سؤال طرح ننمایید.