

فصل ۴

فیلترها

هدف کلی

اصول کار انواع فیلترهای بالاگذر، پایین گذر، میان گذر و حذف باند

کل زمان اختصاص داده شده به فصل: ۹ ساعت آموزشی

زمان پیشنهادی

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

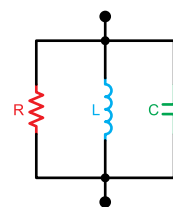
- ۱- انتخاب گری ایستگاه را تعریف کند. ۵'
- ۲- اجزای مدار انتخاب کننده ایستگاه را نام ببرد. ۵'
- ۳- حساسیت را تعریف کند. ۱۰'
- ۴- نحوه افزایش میزان حساسیت را توضیح دهد. ۱۰'
- ۵- تقویت کننده های زنجیره ای را شرح دهد و علل استفاده از آن را بیان کند. ۱۰'
- ۶- بلوک دیاگرام تقویت کننده های زنجیره ای را تشریح کند. ۱۰'
- ۷- نویز را تعریف کند و منابع آن را نام ببرد. ۱۰'
- ۸- نسبت سیگنال به نویز را با ذکر مثال شرح دهد و محاسبه کند. ۱۰'
- ۹- ضریب تقویت یا گین ولتاژ، جریان و توان را شرح دهد. ۱۵'
- ۱۰- گین تقویت کننده چند طبقه را محاسبه کند. ۱۰'
- ۱۱- افت توان و ضریب تضعیف را تشریح کند. ۱۰'
- ۱۲- اثر تغییر فرکانس بر روی راکتانس سلف را تشریح کند. ۱۵'
- ۱۳- اثر تغییر فرکانس بر روی راکتانس خازن را شرح دهد. ۱۵'
- ۱۴- فیلتر را تعریف کند و فیلترهای مکانیکی را با فیلترهای الکترونیکی مقایسه کند. ۱۰'
- ۱۵- فرکانس قطع، پهنای باند و ضریب کیفیت فیلترها را تعریف و محاسبه کند. ۱۵'
- ۱۶- فیلتر واقعی و فیلتر ایده آل را با یکدیگر مقایسه کند. ۱۰'
- ۱۷- انواع فیلترها را از نظر عبور باند و کاربرد نام ببرد و مدار آن را ترسیم کند. ۶۰'
- ۱۸- محاسبات ساده فیلترهای میان گذر، بالاگذر، پایین گذر و حذف باند را انجام دهد. ۶۰'
- ۱۹- منحنی های پاسخ فرکانسی فیلترهای عبور باند را از نظر تغییر مقدار R_S و Q مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. ۶۰'
- ۲۰- یک نمونه فیلتر کریستالی را رسم کند و کار آن را شرح دهد. ۱۰'
- ۲۱- با استفاده از نرم افزارهای مولتی سیم یا مشابه آن، مدارهای شبیه سازی شده فیلترها را مشاهده و در صورت امکان آن مدارها را شبیه سازی کند. ۴۵'
- ۲۲- در فرایند اجرای آموزش متناسب با شرایط و محتوی، آزمون های تشخیصی، تکوینی و پایانی را پاسخ دهد.
- ۲۳- هدف های رفتاری در حیطه عاطفی که در فصل اول آمده است را در این فصل نیز اجرا نماید.

پیشگفتار

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

۴-۱- قابلیت انتخاب ایستگاه

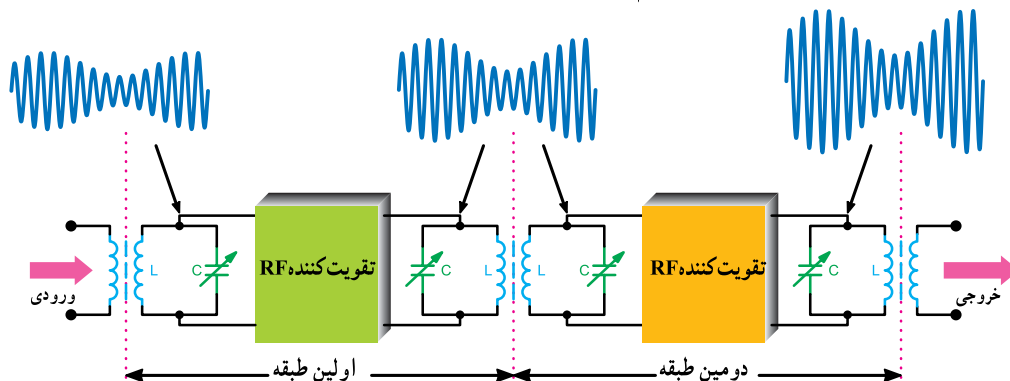
توانایی یک گیرنده رادیویی جهت انتخاب فرکانس سیگنال موردنظر از میان سایر فرکانس‌های ناخواسته به سلکتیویته (selectivity) یا قابلیت انتخاب ایستگاه معروف است. در گیرنده‌های رادیویی از مدارهای ترکیبی RLC به عنوان فیلتر برای انتخاب ایستگاه رادیویی استفاده می‌کنند. معمولاً مدار انتخاب کننده ایستگاه به صورت شکل ۴-۱ است. به این مدار، مدار هماهنگی (تشدید یا رزونانس) می‌گویند.



شکل ۴-۱- یک نمونه مدار هماهنگی RLC موازی

۴-۲- حساسیت گیرنده‌های رادیویی

۴-۲-۱- حساسیت (sensitivity): توانایی یک گیرنده در ارتباط با دریافت حداقل سیگنال ورودی را حساسیت گیرنده می‌نامند. مقدار حساسیت گیرنده را بر مبنای ضعیف‌ترین سیگنال دریافتی که بتواند خروجی قابل استفاده‌ای را فراهم سازد،



شکل ۴-۳- اتصال تقویت کننده‌ها به صورت زنجیره‌ای به منظور افزایش حساسیت

اندازه‌گیری می‌کنند.

یکی از عیوب گیرنده‌های AM کم بودن حساسیت آن است. هنگامی که به وسیله یک گیرنده رادیویی بتوانیم 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 تقویت کننده RF را افزایش می‌دهند. هر تقویت کننده 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 ۲-۴ یک نمونه تقویت کننده RF با مدار هماهنگی در ورودی و خروجی نشان داده شده است.



شکل ۴-۲- یک تقویت کننده رادیویی با مدار هماهنگی در ورودی و خروجی

۴-۲-۲- تقویت کننده‌های زنجیره‌ای: تقویت کننده‌های

زنجیره‌ای را تقویت کننده‌های پشت سر هم یا کاسکاد (cascade) نیز می‌نامند. در تقویت کننده‌های زنجیره‌ای خروجی یک تقویت کننده به ورودی طبقه 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 ۳-۴ یک نمونه تقویت کننده زنجیره‌ای دو طبقه را نشان می‌دهد.

$$\frac{S}{N} = \frac{0.25}{(10 \times 10^{-3})^2} \Rightarrow \frac{S}{N} = 2500$$

۴-۴- 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 ۴-۱ تا ۴-۳ رابطه ضریب تقویت ولتاژ، جریان و توان داده شده است.

$$G_V = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_T}{V_I} \quad 4-1$$

$$G_I = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_T}{I_I} \quad 4-2$$

$$G_P = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_T}{P_I} \quad 4-3$$

۴-۴-۱- ضریب بهره تقویت کننده چند طبقه: در تقویت کننده‌های زنجیره‌ای، ضریب بهره از حاصل ضرب گین طبقات در یکدیگر به دست می‌آید. در رابطه ۴-۴ ضریب تقویت ولتاژ، در رابطه ۴-۵ ضریب تقویت جریان و در رابطه ۴-۶ ضریب تقویت توان آمده است. در این روابط G_{VT} (Gain Voltage total) ضریب بهره ولتاژ کل، G_{IT} (Gain Intensity total) ضریب بهره جریان کل، G_{PT} (Gain Power total) ضریب بهره توان کل است.

$$G_{VT} = G_{V1} \cdot G_{V2} \cdot G_{V3} \cdot \dots \cdot G_{VN} \quad 4-4$$

$$G_{IT} = G_{I1} \cdot G_{I2} \cdot G_{I3} \cdot \dots \cdot G_{IN} \quad 4-5$$

$$G_{PT} = G_{P1} \cdot G_{P2} \cdot G_{P3} \cdot \dots \cdot G_{PN} \quad 4-6$$

مثال ۴-۲

یک تقویت کننده کاسکاد سه طبقه دارای ضریب تقویت توان $G_{PT} = 100$ ، $G_{PT} = 50$ و $G_{PT} = 10$ است. گین توان کل سیستم چه قدر است؟

تقویت کننده‌های زنجیره‌ای را تقویت کننده چند طبقه نیز می‌نامند. برای اینکه 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.

۴-۳- نویز (Noise) و منابع آن

همان طور که 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.

۴-۳-۱- نسبت سیگنال به نویز: نسبت توان سیگنال

مورد نظر 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 مقاوم تر 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 کننده نویز یا Noise Canceller می‌نامند.

مثال ۴-۱

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

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

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

پاسخ:

$$G_{PT} = G_{P1} \cdot G_{P2} \cdot G_{P3}$$

$$G_T = 100 \times 50 \times 10$$

$$G_T = 50000$$

مشاهده می شود که عدد به دست آمده عدد نسبتاً بزرگی است.

۴-۴-۲- افت توان (Power Loss): در خطوط انتقال،

خطوط تلفنی و مواردی از این قبیل، هنگامی که انرژی از نقطه‌ای به نقطه دیگر انتقال می یابد، به دلیل عواملی مانند مقاومت های موجود در خط انتقال، مقداری از توان کاهش می یابد. این کاهش توان را افت توان یا Power Loss می نامند.

در این شرایط، در صورتی که تقویت کننده ای در مسیر نباشد عملاً هیچ گونه تقویتی در مسیر انتقال صورت نمی گیرد و سیگنال تضعیف (Attenuation) می شود.

۴-۴-۳- ضریب تضعیف (Attenuation Factor): اگر

توان خروجی از توان ورودی کمتر باشد نسبت توان ورودی به خروجی ضریب تضعیف نامیده می شود. ضریب تضعیف برای فیلترها، خطوط انتقال و ... مورد استفاده قرار می گیرد؛ 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 $\frac{1}{1000}$ ولتاژ ورودی است.

مثال ۴-۳

در صورتیکه توان صوتی تولید شده در یک خط تلفنی برابر با ۰/۰۰۰۰۱ وات باشد و در صورت انتقال این توان به فاصله ۱۶ کیلومتری مقدار آن به ۰/۰۰۰۰۰۰۱ وات (۱۰^{-۶}) کاهش یابد، ضریب تضعیف مدار را به دست آورید.

پاسخ:

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

$$\text{توان انتهای خط}$$

$$\text{ضریب تضعیف} = \frac{0/00001}{0/0000001} = 100$$

یعنی توان در انتهای خط به نسبت ۱۰۰ برابر کاهش

یافته است.

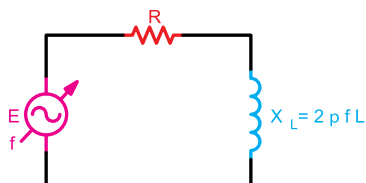
$$\text{ضریب تضعیف} = 100$$

نشان دادن ضریب تقویت و ضریب تضعیف، با توجه به اینکه اعداد بزرگی هستند مشکلاتی را در محاسبات به وجود می آورند. برای غلبه بر این مشکلات از واحدهای دیگری از قبیل بل (Bell) ' و دسی بل (decibell) استفاده می کنند.

۴-۵- مروری بر اثر تغییر فرکانس بر روی مقادیر راکتانس سلف (inductive reactance) و راکتانس خازن (capacitive reactance)

۴-۵-۱- اثر تغییرات فرکانس بر روی سلف (X_L): راکتانس

(مقاومت القایی) سلف به فرکانس کار مدار بستگی مستقیم دارد، به طوری که با افزایش تدریجی مقدار فرکانس منبع تغذیه شکل ۴-۴، مقدار راکتانس سلف (X_L) نیز بیشتر می شود.

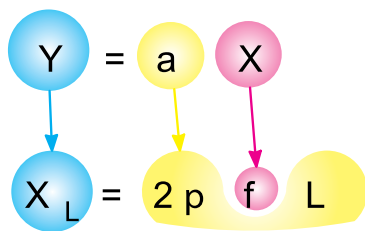


شکل ۴-۴- سلف در مدار متناوب

افزایش X_L را می توان با معادله خط راست (۷-۴)

مقایسه کرد.

۴-۷

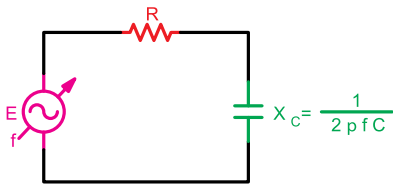


با توجه به رابطه ۴-۷ و منحنی شکل ۴-۵ مشاهده می شود با کاهش مقدار فرکانس مقاومت القایی سلف کمتر می شود و جریان مدار زیاد می گردد و بالعکس با افزایش فرکانس، مقاومت القایی سلف افزایش و جریان مدار کاهش می یابد. شکل ۴-۶ نمایش نمودار تغییرات فرکانس و اثر آن بر روی ولتاژ خروجی مدار است.

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

۲-۵-۴- اثر تغییر فرکانس بر روی خازن: در یک مدار

خازنی مانند شکل ۴-۹، مقاومت خازنی (عکس العمل خازنی - راکتانس)، با فرکانس مدار رابطه معکوس دارد. افزایش فرکانس مدار، مقدار راکتانس خازنی مدار را کاهش می دهد و باعث کم شدن ولتاژ دو سر آن می شود. در صورتی که فرکانس کاهش یابد عمل عکس رخ می دهد و مقدار مقاومت خازنی و ولتاژ دو سر آن افزایش می یابد. رابطه ۴-۸ و شکل ۴-۱۰ این شرایط را نشان می دهد.

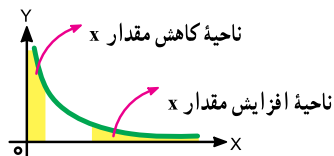
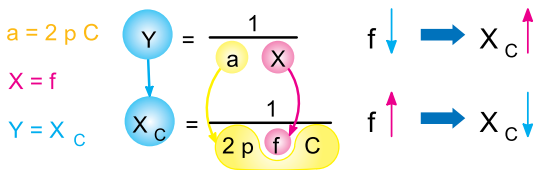


شکل ۴-۹- خازن در مدار متناوب

رابطه (۴-۸) $y = \frac{1}{ax}$

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

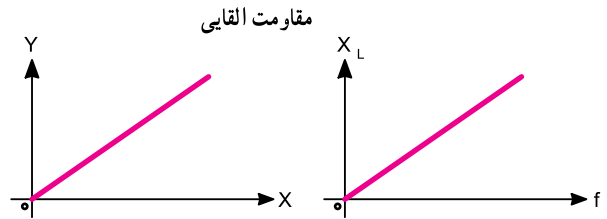
$x \rightarrow \infty \Rightarrow y = 0$



شکل ۴-۱۰- نمایش منحنی تغییرات تابع

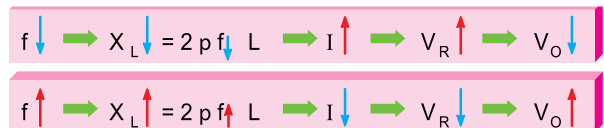
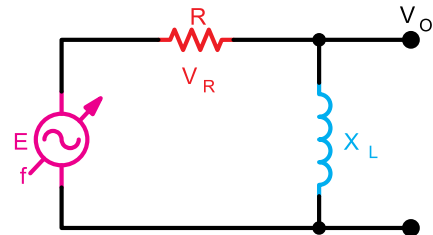
کسری و مقایسه آن با رابطه راکتانس خازنی

با رسم منحنی X_C به ازای تغییرات فرکانس می توان نتیجه گرفت که رفتار خازن در فرکانس های کم مشابه یک کلید باز است (شکل ۴-۱۱).



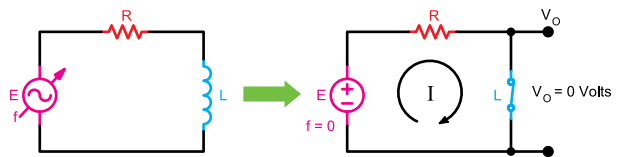
شکل ۴-۵- نمایش منحنی یک خط راست و

منحنی تغییرات X_L بر اثر تغییرات فرکانس



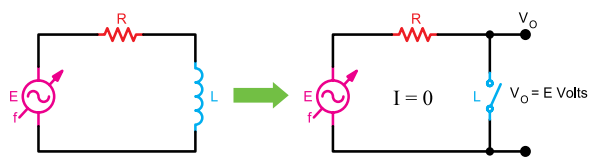
شکل ۴-۶- نمایش تغییرات فرکانس و اثر آن بر روی ولتاژ خروجی

می توان نتیجه گرفت که سلف در فرکانس های کم به عنوان یک مقاومت کم و در ولتاژ DC به عنوان یک کلید بسته عمل می کند (شکل ۴-۷).



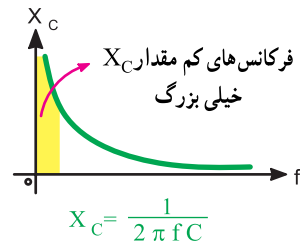
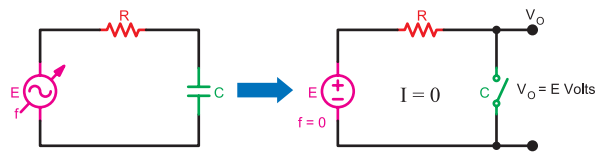
شکل ۴-۷- عملکرد سلف در ولتاژ DC ($f=0$) مانند یک کلید بسته است.

سلف در فرکانس های خیلی زیاد مشابه یک کلید باز عمل می کند (شکل ۴-۸).



شکل ۴-۸- عملکرد سلف در فرکانس زیاد مانند یک کلید باز است.

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.



به مقادیر بزرگ X_C → فرکانس‌های چند هرتز f → میل می‌کند

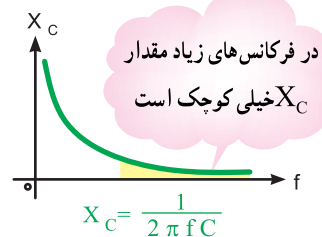
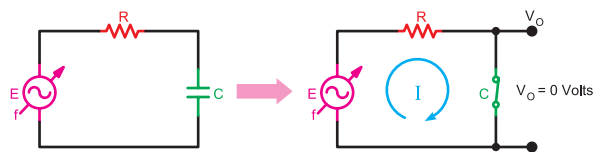
شکل ۴-۱۱ - عملکرد خازن در ولتاژ DC ($f=0$) مانند یک کلید باز است.

کار با نرم‌افزار

مربی محترم

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

به همین ترتیب می‌توان گفت که خازن در فرکانس بالا دارای راکتانس (مقاومت خازنی) کم است و مانند یک کلید بسته عمل می‌کند. در شکل ۴-۱۲ منحنی تغییرات X_C به ازای افزایش فرکانس و عملکرد خازن در مدار نشان داده شده است.




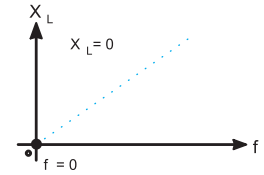
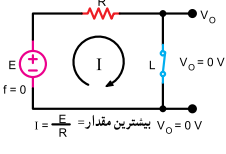



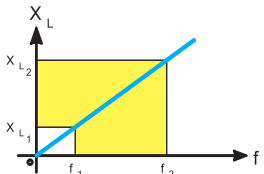
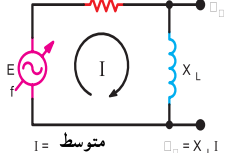



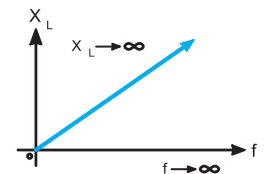
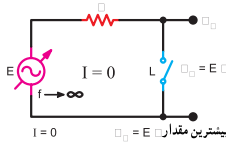



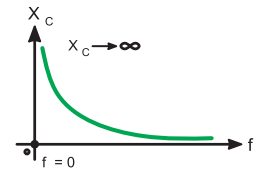
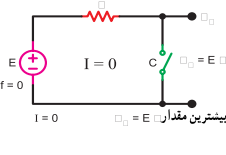



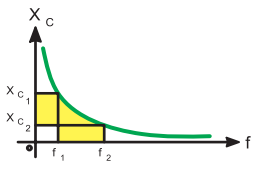
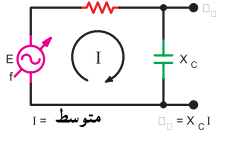



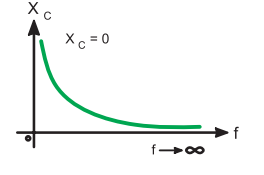
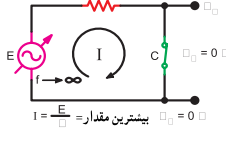


کاهش می‌یابد X_C → میل به مقادیر بزرگ f →

شکل ۴-۱۲ - عملکرد خازن در فرکانس زیاد مانند کلید بسته است.

خلاصه عملکرد سلف و خازن در فرکانس های مختلف در جدول ۱-۴ آمده است.

جدول ۱-۴ - خلاصه عملکرد سلف و خازن در فرکانس های مختلف

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

۴-۶- الگوی پرسش

کامل کردنی

۱- توانایی یک گیرنده را در ارتباط با دریافت سیگنال ورودی گیرنده می نامند.

کوتاه پاسخ

۲- رابطه $\frac{S}{N}$ را در یک بار معین (R_1) بنویسید.

صحیح یا غلط

۳- نسبت توان خروجی به توان ورودی، ضریب تضعیف

نامیده می شود. صحیح غلط

چهارگزینه ای

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

۱) ۰/۰۱ (۲) ۰/۱ (۳) ۱۰ (۴) ۱۰۰

۵- انتخاب گری فرکانس سیگنال ایستگاه رادیویی

درگیرنده با چه مواردی اجرا می شود؟

۶- برای افزایش حساسیت گیرنده های رادیویی چه اقدامی

لازم است؟

۷- نویز را تعریف کنید و نسبت سیگنال به نویز را شرح

دهید.

۸- رابطه مربوط به گین ولتاژ، جریان و توان را در

تقویت کننده های چند طبقه بنویسید.

۹- راکتانس سلف به چه عواملی بستگی دارد؟ با کاهش

فرکانس مقاومت القایی سلف چه تغییری می کند؟

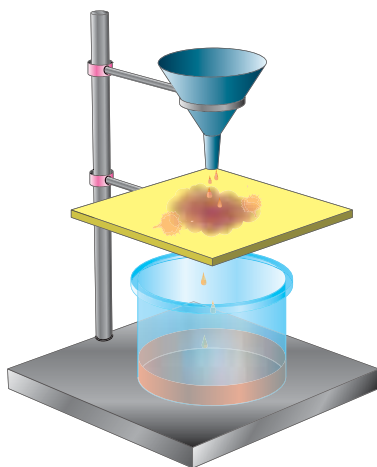
۱۰- افزایش فرکانس بر روی راکتانس خازنی چه اثری

دارد؟ شرح دهید.

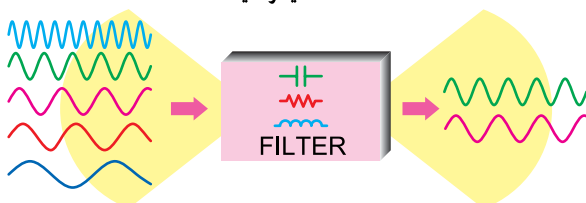
۴-۷- فیلترها (Filters)

فیلترها مدارهایی هستند که توسط آنها می توان فرکانس یا باند فرکانسی معینی را از میان سایر فرکانس ها انتخاب کرد. فیلترهای الکترونیکی از نظر نوع کار مشابه فیلتر هوای اتومبیل، فیلتر آب و ... هستند. در شکل ۴-۱۳ مقایسه فیلترهای الکترونیکی با فیلترهای معمولی آمده است.

در فیلترهای معمولی مکانیکی برای صاف کردن مایعات، هوا و ... از یک لایه نازک کاغذی، پارچه ای، پلاستیکی و ... استفاده می کنند. در فیلترهای الکترونیکی ترکیب اجزای الکترونیکی از قبیل سلف، خازن مقاومت و ... به کار می رود. در شکل ۴-۱۳ الف یک فیلتر مکانیکی، که برای جدا کردن مواد جامد از مایع به کار می رود، ترسیم شده است. در این فیلتر یک لایه پارچه ای منفذدار نقش فیلتر را به عهده دارد و عمل جدا کردن مواد جامد از مایع را انجام می دهد. در شکل ۴-۱۳ ب فرکانس های ورودی به فیلتر الکترونیکی، پنج فرکانس مختلف است که از میان این پنج فرکانس دو فرکانس انتخاب و جدا شده است. همان طور که در شکل نشان داده شده است عمل فیلتر کردن توسط خازن، سیم پیچ و مقاومت صورت می گیرد.



الف - فیلتر مایعات



ب - فیلتر الکترونیکی (دو سیگنال خارج می شود).

شکل ۴-۱۳- فیلتر مایعات و فیلتر الکترونیکی

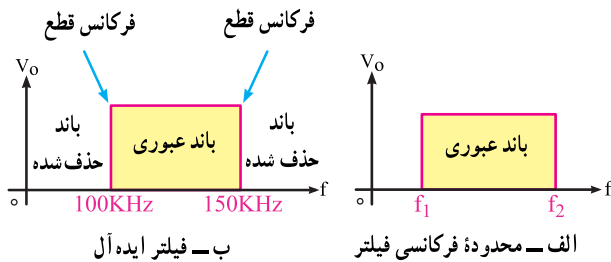
برای هنرجویان علاقه مند

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

۱-۷-۴- محدوده فرکانسی فیلتر (Filter Band width):

محدوده فرکانسی فیلتر عبارت از مجموعه فرکانس‌هایی است که فیلتر می‌تواند از خود عبور دهد. این محدوده فرکانسی را پهنای باند یا پاسخ فرکانسی فیلتر می‌نامند (شکل ۱۴-۴-الف).

توان خروجی برابر با $\frac{1}{2}$ توان ورودی می‌شود مقدار توان به اندازه ۳ دسی بل کاهش می‌یابد. در شکل ۱۵-۴ محور عمودی سمت راست برحسب درصد و محور عمودی سمت چپ برحسب dB است.

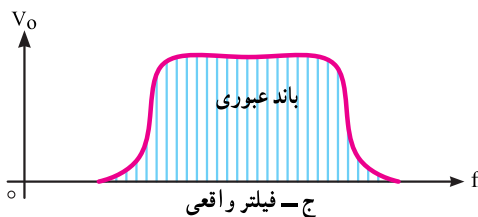


ب- فیلتر ایده‌آل

الف- محدوده فرکانسی فیلتر

۲-۷-۴- 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 محدوده (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 ۱۴-۴-ب منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر ایده‌آل آمده است.

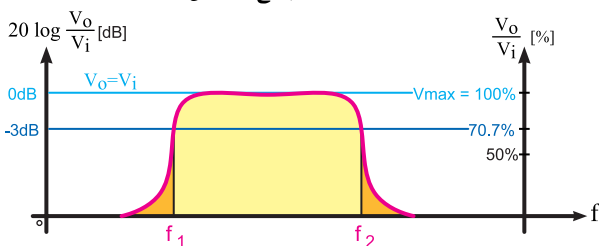


ج- فیلتر واقعی

شکل ۱۴-۴- پاسخ فرکانسی

۳-۷-۴- 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 به عمل آورند. در این حالت دامنه فرکانس‌های ناخواسته به تدریج کم می‌شود تا به صفر می‌رسد. در شکل ۱۴-۴-ج منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر واقعی، ترسیم شده است.



شکل ۱۵-۴- فرکانس قطع فیلتر واقعی

۴-۷-۴- 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 ۱۴-۴-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 $1/2$ درصد ولتاژ ورودی در خروجی ظاهر می‌شود. این نقطه را نقطه نصف قدرت نیز می‌نامند (شکل ۱۵-۴). این نقطه همان سطح ۳dB است. زیرا وقتی

چگونگی به دست 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 دسی بل بیان می‌کنند.

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

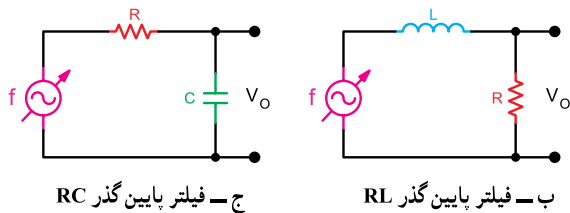
۵-۷-۴- انواع فیلترها از نظر کاربرد: فیلترها از نظر کاربرد

به چهار گروه زیر تقسیم بندی می‌شوند.

الف- فیلتر پایین گذر (LPF) (Low Pass Filter)

فیلتر پایین گذر فیلتری است که اجازه می‌دهد فرکانس‌هایی

۱- هنگامی که توان خروجی نصف توان ورودی است، ولتاژ خروجی برابر $0.707 V_{in}$ یا $0.707 \times V_{in}$ و جریان خروجی برابر $0.707 I_{in}$ یا $0.707 \times I_{in}$ است.

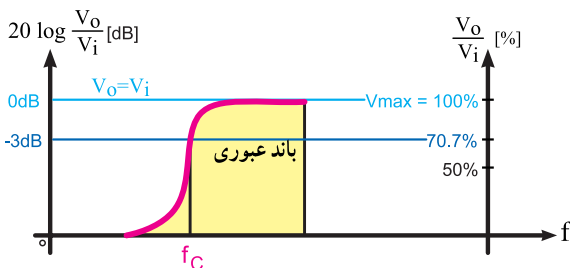


شکل ۴-۱۶- فیلتر پایین گذر

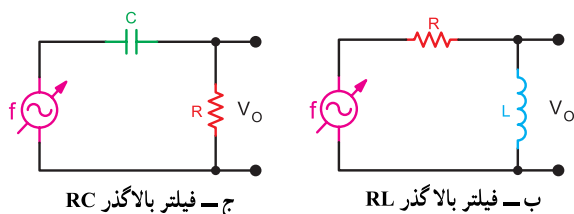
ب- فیلتر بالا گذر (High Pass Filter) HPF: این

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 جابه جا شده است. در شکل ۴-۱۷- ب فیلتر RL بالا گذر را ملاحظه می کنید. خروجی این مدار از دو سر X_L (دو سر سلف) دریافت شده است. در شکل ۴-۱۷- 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 ۴-۱۷ را با مدارهای شکل ۴-۱۶ مقایسه کنید. فرکانس قطع فیلتر بالا گذر مشابه فیلترهای پایین گذر است (شکل ۴-۱۷- الف).



الف - پاسخ فرکانسی فیلتر بالا گذر



شکل ۴-۱۷- فیلترهای بالا گذر

را از حد صفر تا مقدار معینی، که به عنوان فرکانس قطع مطرح می شود، از خود عبور دهد. در شکل ۴-۱۶- الف پاسخ فرکانسی این فیلتر را مشاهده می کنید. در شکل ۴-۱۶- ب و ج دو نوع مدار فیلتر پایین گذر RC و RL ترسیم شده است.

در مدار شکل ۴-۱۶- ب در حالتی که فرکانس ورودی صفر است، سیم پیچ اتصال کوتاه می باشد. با افزایش فرکانس، مقدار X_L نسبت به R افزایش می یابد. بدین ترتیب مقدار امپدانس کل مدار افزایش می یابد و جریان مدار کم می شود. با کم شدن جریان، ولتاژ دو سر مقاومت R که ولتاژ خروجی است کاهش می یابد. با افزایش تدریجی فرکانس، به نقطه ای می رسیم که مقدار X_L آن قدر زیاد می شود که تقریباً تمام ولتاژ ورودی در دو سر X_L افت می کند و ولتاژی به خروجی مدار نمی رسد. فرکانسی را که در آن فرکانس مقدار $X_L = R$ می شود فرکانس قطع فیلتر پایین گذر می نامند و آن را با F_c نشان می دهند. فرکانس قطع از رابطه ۴-۹ قابل محاسبه است.

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

۴-۹ فرمول محاسبه فرکانس قطع فیلتر RL

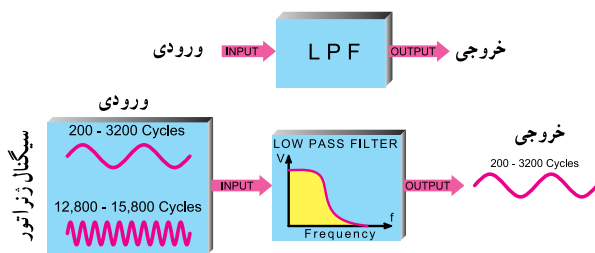
پایین گذر LPF

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

تحلیل مدار شکل ۴-۱۶- ج در قسمت خودآزمایی به عهده فراگیران گذاشته شده است. مقدار فرکانس قطع فیلتر پایین گذر RC از رابطه زیر محاسبه می شود:

فرمول محاسبه فرکانس قطع فیلتر RC (LPF)

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



الف - پاسخ فرکانسی فیلتر پایین گذر

کار با نرم افزار

مربی محترم

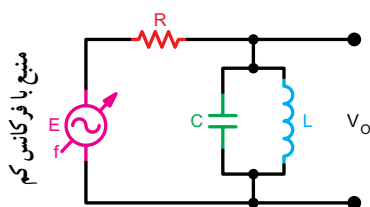
توصیه می شود، با استفاده از نرم افزار مولتی سیم، انواع فیلترها را شبیه سازی کنید و برای هنرجویان به نمایش در آورید.

ج - فیلترهای میان گذر (Band Pass Filters) BPF :

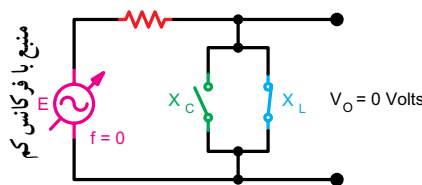
فیلترهای میان گذر فیلترهایی هستند که اجازه عبور باند فرکانسی معینی را می دهند. این فیلترها را فیلترهای عبور باند نیز می نامند. در فیلترهای میان گذر از مدارهای رزونانس سری و موازی استفاده می شود.



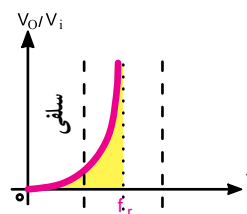
همان طور که در شکل ۱۸-۴ ملاحظه می شود ولتاژ خروجی از دو سر مدار رزونانس موازی دریافت می شود. در فرکانس های پایین سیم پیچ به صورت اتصال کوتاه و خازن به صورت اتصال باز عمل می کند و ولتاژ خروجی صفر می شود. در فرکانس های بالا، خازن به صورت اتصال کوتاه و سیم پیچ به صورت اتصال باز عمل می کند و ولتاژ خروجی صفر می شود. 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 شده اند و مانند مدار باز عمل می کنند و ولتاژ دو سر آنها با ولتاژ منبع ورودی برابر می شود.



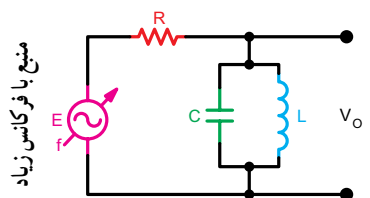
منبع با فرکانس کم



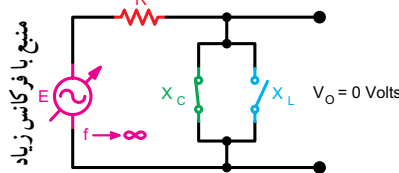
منبع با فرکانس کم



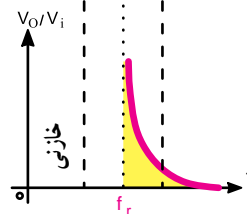
الف - رفتار مدار در فرکانس های کم، سلف مانند کلید بسته عمل می کند و باعث کاهش ولتاژ خروجی می شود.



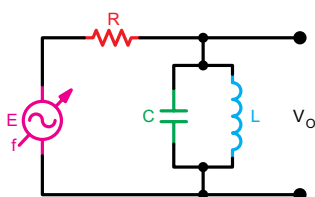
منبع با فرکانس زیاد



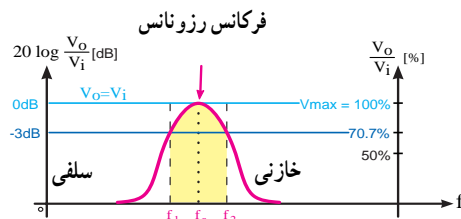
منبع با فرکانس زیاد



ب - رفتار مدار در فرکانس های زیاد، خازن مانند کلید بسته عمل می کند و باعث کاهش ولتاژ خروجی می شود.



د - فیلتر میان گذر



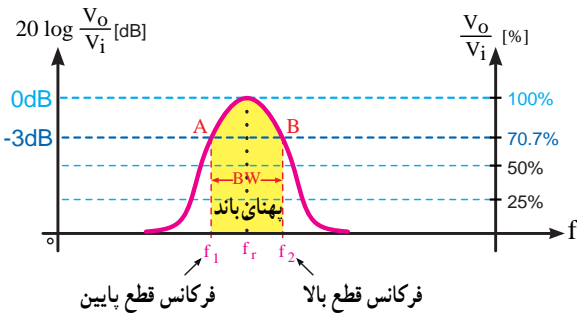
ج - پاسخ فرکانسی

شکل ۱۸-۴ - فیلتر میان گذر

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

در مدار رزونانس موازی (فیلتر میان گذر) در فرکانس 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 بی نهایت میل می کند.

طرز تعیین فرکانس های قطع فیلتر میان گذر: برای به دست آوردن فرکانس قطع فیلتر میان گذر ابتدا با در دست داشتن منحنی پاسخ فرکانسی، فرکانس حداکثر خروجی را که در F_r به دست می آید، مشخص می کنیم (شکل ۱۹-۴ الف). سپس حد ۳dB، که همان ۷۰/۷ درصد ولتاژ ورودی یا ۵۰ درصد توان ورودی است را تعیین می کنیم (شکل ۱۹-۴ ب) و خطی موازی محور فرکانس ها می کشیم (شکل ۱۹-۴ ج)، این خط در دو نقطه A و B منحنی پاسخ فرکانسی را قطع می کند. از این دو نقطه بر محور افقی عمود می کنیم. فرکانس F_1 فرکانس پایین و فرکانس F_2 فرکانس قطع بالای فیلتر میان گذر است. فاصله F_1 و F_2 پهناهای باند فیلتر را تشکیل می دهد. فرکانس F_1 را با F_L (Low - کم) و فرکانس F_2 را با F_H (High - زیاد) نیز نشان می دهند.

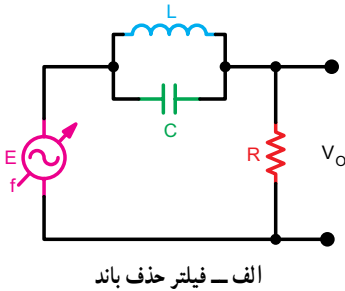


ج- از نقاط A و B به محور افقی عمود می کنیم و پهناهای باند را به دست می آوریم
شکل ۱۹-۴- نحوه به دست آوردن فرکانس قطع در فیلترهای میان گذر

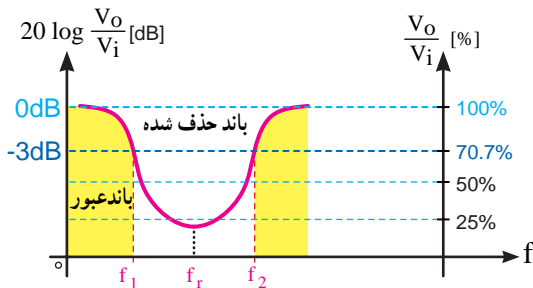
د- فیلتر حذف باند

BRF (Band Reject Filter - Notch filter):

فیلترهای حذف باند فیلترهایی هستند که باند معینی از فرکانس را حذف می کنند. این فیلترها از نظر نحوه کار، مشابه فیلترهای میان گذرند. تنها تفاوت بین آنها نحوه دریافت خروجی است. در شکل ۲۰-۴ الف یک نمونه فیلتر حذف باند در شکل ۲۰-۴ ب پاسخ فرکانسی آن ترسیم شده است.



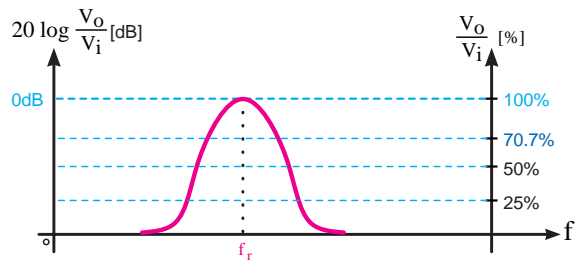
الف- فیلتر حذف باند



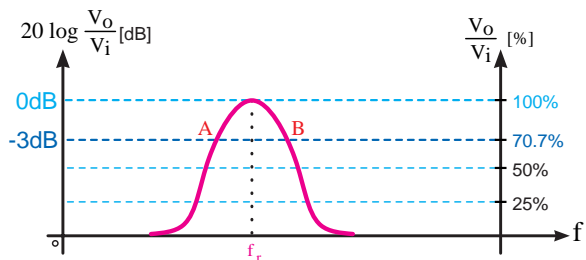
ب- پاسخ فرکانسی

شکل ۲۰-۴- فیلتر حذف باند

همان طور که ملاحظه می شود، در فرکانس F_r مدار رزونانس LC موازی به صورت یک امپدانس زیاد عمل می کند و

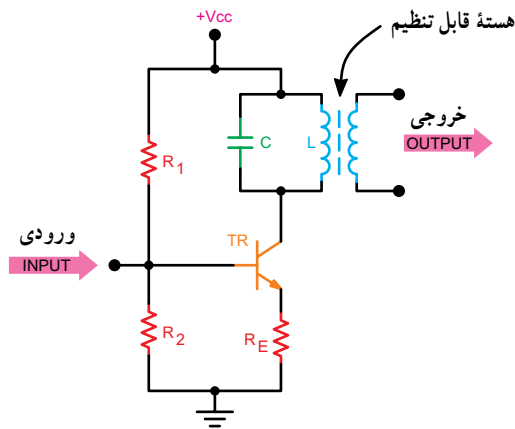


الف- نقطه حداکثر را به دست می آوریم



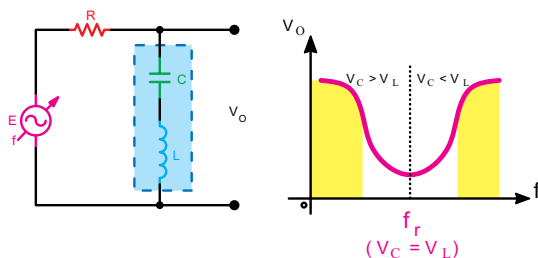
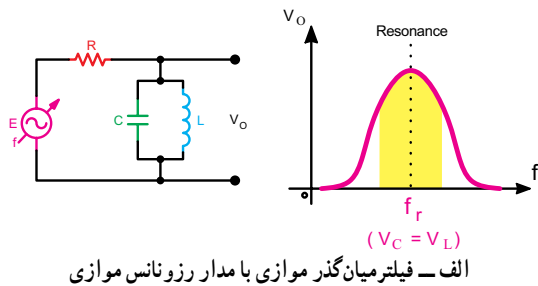
ب- نقاط ۳ db را تعیین می کنیم

۴-۲۲ یک نمونه مدار عملی فیلتر میان گذر را که در گیرنده رادیو استفاده می شود ملاحظه می کنید. خازن و سیم پیچ در این فیلتر ثابت و هسته سیم پیچ قابل تغییر است. با تنظیم هسته سیم پیچ می توان فرکانس رزونانس فیلتر را روی مقدار معینی تنظیم کرد.



شکل ۴-۲۲- یک نمونه فیلتر عملی قابل استفاده در مدار رادیو

ب- **فیلترهای موازی:** اگر مدار رزونانس به صورت موازی با خروجی قرار گیرد فیلتر موازی شکل می گیرد. فیلترهای موازی در دو نوع فیلتر میان گذر با مدار رزونانس موازی شکل ۴-۲۳ الف و فیلتر حذف باند با مدار رزونانس سری شکل ۴-۲۳ ب تقسیم می شود. اساس کار فیلترهای موازی مشابه فیلترهای سری است.



شکل ۴-۲۳- انواع فیلترهای موازی

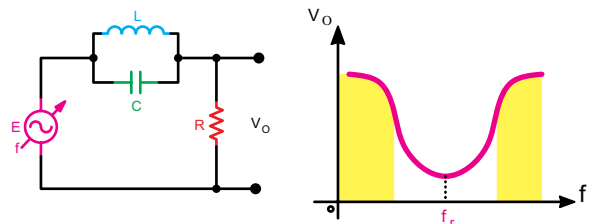
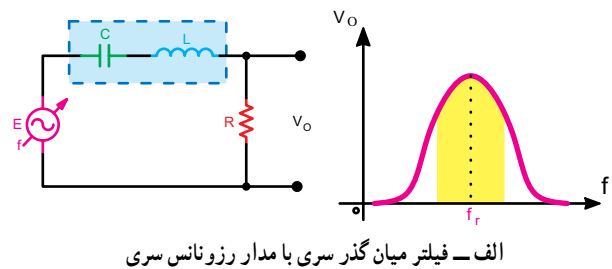
جریان مدار را آن قدر محدود می کند که در خروجی ولتاژ بسیار کمی ظاهر می شود که می توانیم عملاً آن را صفر در نظر بگیریم. در فرکانس های خیلی پایین، سیم پیچ به صورت اتصال کوتاه و خازن به صورت اتصال باز عمل می کند، در این حالت تمام ولتاژ ورودی در خروجی ظاهر می شود. در فرکانس های بالا، خازن اتصال کوتاه می شود و سلف به صورت اتصال باز عمل می کند، در این حالت تمام ولتاژ ورودی به خروجی می رسد.

۴-۷-۶- انواع فیلترهای میان گذر و حذف باند: فیلترهای

میان گذر و حذف باند را از نظر نحوه بستن مدار به دو دسته سری و موازی تقسیم می کنند.

الف - فیلترهای سری:

در صورتی که مدار هماهنگی به صورت سری با خروجی قرار گیرد، نوع فیلتر را سری می گویند. فیلترهای سری، خود بر دو نوع فیلتر سری با مدار رزونانس سری (میان گذر) و فیلتر سری با مدار رزونانس موازی (حذف باند) تقسیم می شود. در شکل ۴-۲۱ الف فیلتر میان گذر سری با مدار رزونانس سری و در شکل ۴-۲۱ ب فیلتر حذف باند سری با مدار رزونانس موازی ترسیم شده است.



شکل ۴-۲۱- انواع فیلترهای سری

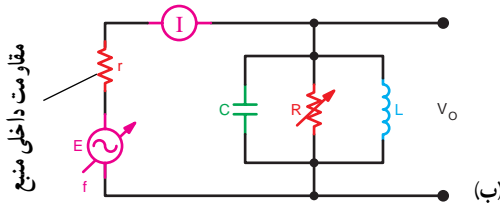
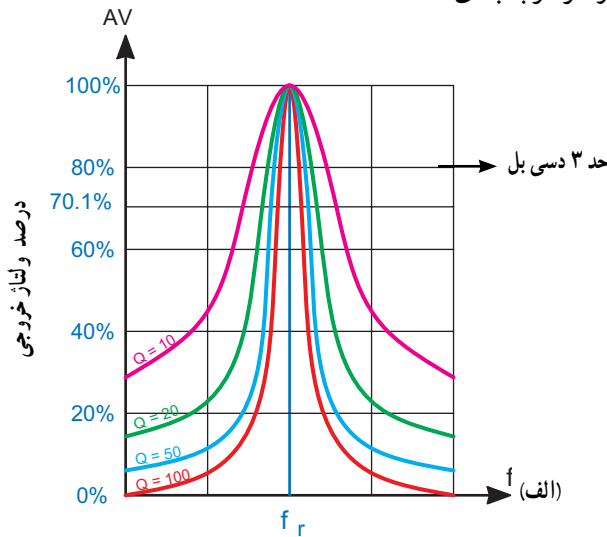
در مدارهای گیرنده رادیو، اغلب از فیلترهای میان گذر با مدار رزونانس موازی استفاده می شود. این فیلترها به منظور انتخاب باند فرکانس معینی در طبقات مختلف گیرنده به کار می رود. در شکل

بین مقدار Q، پهنای باند و F_r رابطه ۴-۱۲ برقرار است:

$$Q = \frac{F_r}{BW} \quad 4-12$$

فرکانس رزونانس F_r ، ضریب کیفیت Q پهنای باند BW

هر قدر ضریب Q کمتر شود پهنای باند بیشتر می شود. در شکل ۴-۲۴ 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 درجه بندی شده است.



شکل ۴-۲۴ پاسخ فرکانسی مدار رزونانس موازی با Q های متفاوت

۴-۷-۸ - مقدار Q در مدار رزونانس سری: در مدار

شکل ۴-۲۵ یک مدار رزونانس سری رسم شده است. مقدار Q این مدار بستگی به مقاومت سری آن دارد و از رابطه ۴-۱۳ قابل محاسبه است.

۴-۷-۷ - مشخصه های فیلتر میان گذر: به طور کلی برای

فیلترهای میان گذر سه مشخصه به شرح زیر تعریف می شود:

الف - فرکانس رزونانس F_r

ب - پهنای باند BW

ج - ضریب کیفیت Q

الف - فرکانس رزونانس (Resonance Frequency):

فرکانس رزونانس فیلترهای میان گذر از رابطه ۴-۱۰ قابل محاسبه است.

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad 4-10$$

ب - پهنای باند (Band Width): پهنای باند فیلتر میان گذر

فاصله بین فرکانس های قطع بالا و قطع پایین است.

$$BW = F_H - F_L \quad 4-11$$

فرکانس قطع پایین F_L ، پهنای باند BW،

فرکانس قطع بالا F_H

مقدار پهنای باند از طریق ترسیمی طبق شکل ۴-۱۹ به دست می آید.

مثال ۴-۴

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:

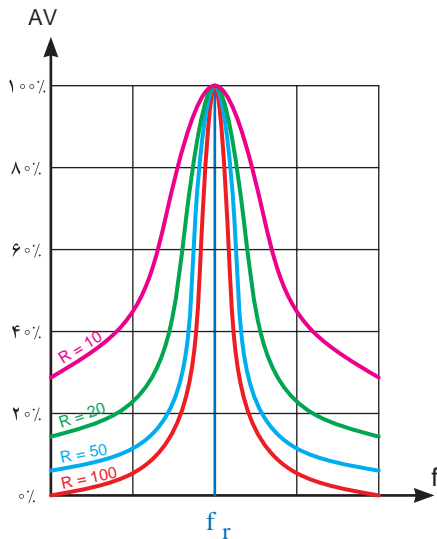
$$BW = F_H - F_L \Rightarrow BW = 610 - 580 \Rightarrow BW = 30 \text{ KHz}$$

نمایش نرم افزاری

توصیه می شود، با استفاده از نرم افزار مولتی سیم، انواع فیلترهای میان گذر و حذف باند را شبیه سازی نمایید و برای هنرجویان نمایش دهید.

ج - ضریب کیفیت Q (Quality Factor): این

ضریب میزان تیزی منحنی مشخصه و پهنای باند را تعیین می کند.

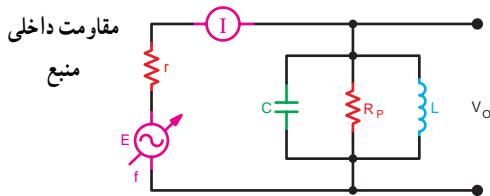


شکل ۴-۲۶ اثر مقاومت R روی Q در مدار رزونانس سری

۴-۷-۹- مقدار Q در مدار رزونانس موازی: مقدار Q در مدار رزونانس موازی بستگی به مقاومت موازی مدار دارد. مقدار Q در مدار شکل ۴-۲۷ از رابطه ۴-۱۵ قابل محاسبه است.

$$Q_p = \frac{R_p}{X_L} \quad \text{رابطه ۴-۱۵}$$

$$R \uparrow \rightarrow BW \downarrow \rightarrow Q \uparrow$$



شکل ۴-۲۷ مدار رزونانس موازی

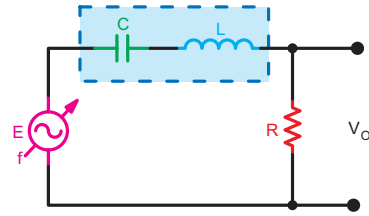
اگر در رابطه پهنای باند مقدار Q_p را قرار دهیم خواهیم

$$BW = \frac{F_r}{Q_p} \quad Q_p = \frac{R_p}{X_L} \quad \text{داشت:}$$

$$BW = \frac{F_r}{R_p / X_L}, BW = \frac{F_r \cdot X_L}{R_p} \quad \text{۴-۱۶}$$

$$Q = \frac{X_L}{R} \quad \text{۴-۱۳}$$

راکتانس سلفی X_L ، ضریب کیفیت Q
مقاومت اهمی سری با سیم پیچ R



شکل ۴-۲۵ مدار رزونانس سری

مثال ۴-۵

در صورتی که در مدار شکل ۴-۲۵ مقدار $10^3 \Omega$ X و مقدار $10^4 \Omega$ R باشد مقدار Q را به دست آورید.

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

پاسخ:

$$Q = \frac{10^4}{10^3} \Rightarrow Q = 10$$

اگر در رابطه $BW = \frac{F_r}{Q}$ به جای Q مقدار آن را در رابطه

۴-۱۳ قرار دهیم، داریم:

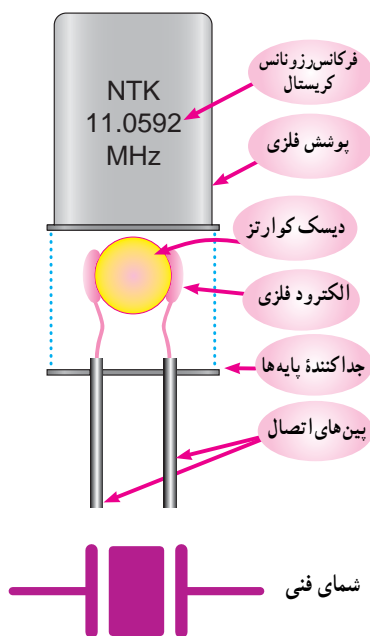
$$Q = \frac{X_L}{R}, BW = \frac{F_r}{Q}, BW = \frac{F_r}{X_L / R}$$

$$BW = \frac{F_r \cdot R}{X_L} \quad \text{۴-۱۴}$$

$$R \uparrow \rightarrow BW \uparrow \rightarrow Q \downarrow$$

اگر رابطه ۴-۱۴ را مورد توجه قرار دهیم می بینیم که با زیاد شدن مقاومت اهمی سیم پیچ، مقدار Q کم و مقدار پهنای باند زیاد می شود. شکل ۴-۲۶ مقدار Q در مدار رزونانس سری با مقادیر متفاوت R نشان می دهد.

۱- R_p به معنی مقاومت موازی است و از Paralel گرفته شده است.



الف - ساختمان داخلی و شمای فنی کریستال



ب - شکل ظاهری چند نمونه کریستال

شکل ۲۸-۴ - ساختمان داخلی، شمای فنی و شکل ظاهری کریستال

صفحه دایره ای شکل (دیسک) کوارتز برای کار در فرکانس های بالا نازک است. در هر طرف صفحه (دیسک) یک الکتروود فلزی تماس دارد. هرگاه یک ولتاژ متناوب AC به دو سر الکتروود اعمال شود کریستال به ارتعاش درمی آید. این ارتعاش در فرکانس رزونانس کریستال انجام می شود 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 حسن آن پایداری فرکانس و ضریب کیفیت بالای آن است. مدار

از مقاومت اهمی سری سلف صرف نظر شده است اگر بخواهیم این مقاومت را در نظر بگیریم سلف به مدار سری RL تبدیل می شود که باید RL موازی را به RL موازی تبدیل نمود و سپس R_p معادل این محاسبات خودداری شد.

با بررسی رابطه ۱۶-۴ و شکل ۲۴-۴ الف در می یابیم که در مدار رزونانس موازی با افزایش مقدار R_p مقدار Q_p زیاد و پهنای باند مدار کم می شود. در مدارهای رادیو برای افزایش پهنای باند مقدار R_p را کاهش می دهند.

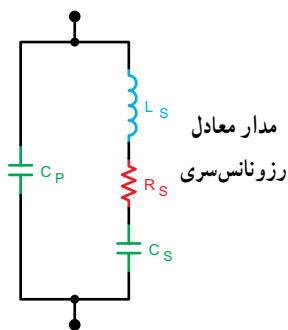
اگر هنگام پرسیدن سؤالی، در مورد سؤال خوب فکر کنید، می توانید با اعتماد به نفس و به طور دقیق سؤال خود را مطرح کنید و جواب منطقی دریافت نمایید.

۸-۴- 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 می شود. به همین منظور ضخامت کریستال تعیین کننده اصلی نقطه رزونانس است. در شکل ۲۸-۴ ساختمان داخلی و شمای فنی آن نشان داده شده است. برای تعیین مشخصات کریستال لازم است به برگه اطلاعات (DataSheet) کریستال مراجعه کنید.

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

معادل کریستال کوآرتز را می‌توان با یک ترکیب سری و موازی RLC مطابق شکل (۴-۲۹) نشان داد.



مدار معادل
رزونانس سری
که با مدار رزونانس سری به صورت موازی قرار می‌گیرد.
 C_p ظرفیت خازنی پایه‌ها

شکل ۴-۲۹- مدار معادل کریستال کوآرتز

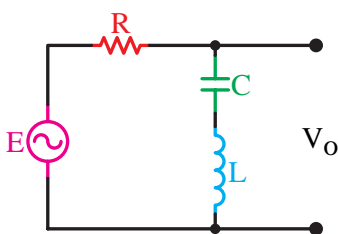
الف - مقدار BW و Q این مدار چقدر است؟
ب - اگر مقدار R_p را به $1/5$ برابر افزایش دهیم چه تغییری در مدار پدید می‌آید؟ با استفاده از محاسبات شرح دهید.

- ۹ - کاربرد کریستال کوآرتز را بنویسید.
۱۰ - مزیت استفاده از کریستال کوآرتز را بنویسید.

چهارگزینه‌ای

۱۱ - فیلتر شکل ۴-۳۰ از نوع باند است.

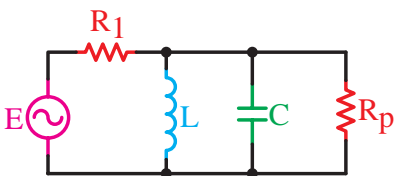
- (۱) عبور - موازی (۲) حذف - سری
(۳) حذف - موازی (۴) عبور - سری



شکل ۴-۳۰

۱۲ - در فیلتر شکل ۴-۳۱ اگر R_p افزایش یابد

- مقدار Q می‌شود و BW می‌یابد.
(۱) زیاد - کاهش (۲) زیاد - افزایش
(۳) کم - افزایش (۴) کم - کاهش



شکل ۴-۳۱

از طراحان محترم سؤالات آزمون‌ها تقاضا می‌شود از مباحث «جهت دانش آموزان علاقه‌مند» و موارد مرتبط با «خلاقیت و ابتکار» و «زندگی‌نامه دانشمندان» تحت هیچ شرایطی سؤال طرح ننمایند.

برای هنرجویان علاقه‌مند

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

۴-۹- الگوی پرسش

تشریحی و محاسباتی

- ۱- فیلتر مکانیکی را با فیلتر الکترونیکی مقایسه کنید.
- ۲- فیلتر ایده‌آل و فیلتر واقعی را تعریف کنید و منحنی پاسخ فرکانسی آنها را با هم مقایسه کنید.
- ۳- فرکانس قطع فیلتر را تعریف کنید و نحوه محاسبه آن را بنویسید.
- ۴- فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر RL و RC را شرح دهید و نحوه محاسبه فرکانس قطع آنها را بنویسید.
- ۵- دو نمونه فیلتر میان‌گذر سری رسم کنید و طرز کار آن را بنویسید.
- ۶- ضریب کیفیت را تعریف کنید.
- ۷- در یک مدار رزونانس سری اگر مقدار R_p کاهش یابد، چه تأثیری روی پاسخ فرکانسی می‌گذارد؟ شرح دهید.
- ۸- در یک مدار رزونانس موازی مقاومت معادل مدار