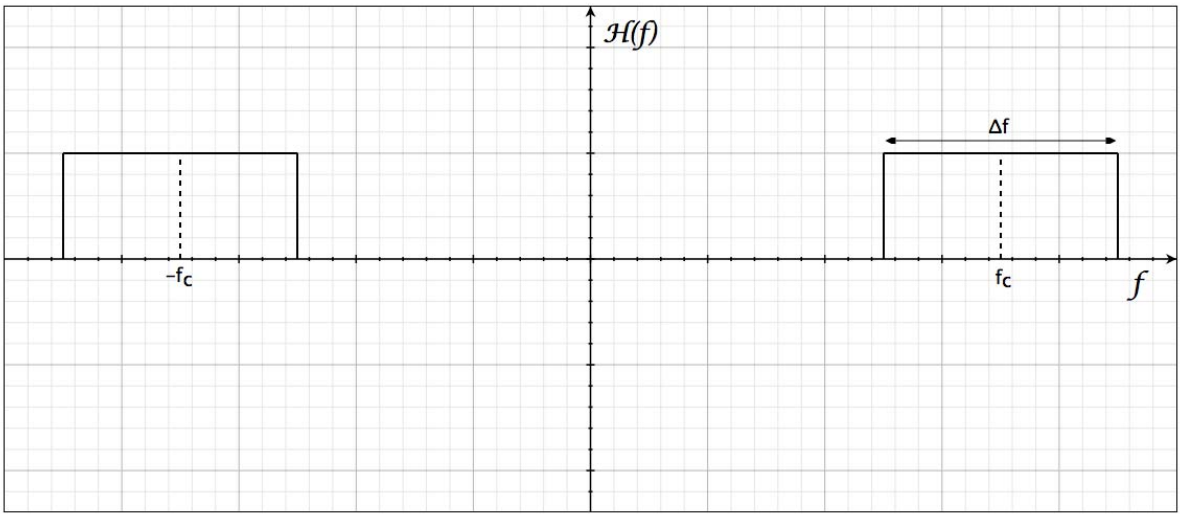
آزمایش اول : طراحی فیلتر RLC

فیلترهای Band-Pass کاربردهای زیادی در مدارهای مخابراتی دارند. از جمله:

- استخراج سیگنال از یک محیط نویزی : BPF ی که در ابتدای یک گیرنده قرار دارد.
- حذف مؤلفه های ناخواسته ایجاد شده توسط بلوک های مختلف : BPF ی که در خروجی یک mixer قرار دارد.
- انتخاب کانال (یک محدوده فرکانسی خاص) از بین کانال های دریافتی : یک فیلتر IF

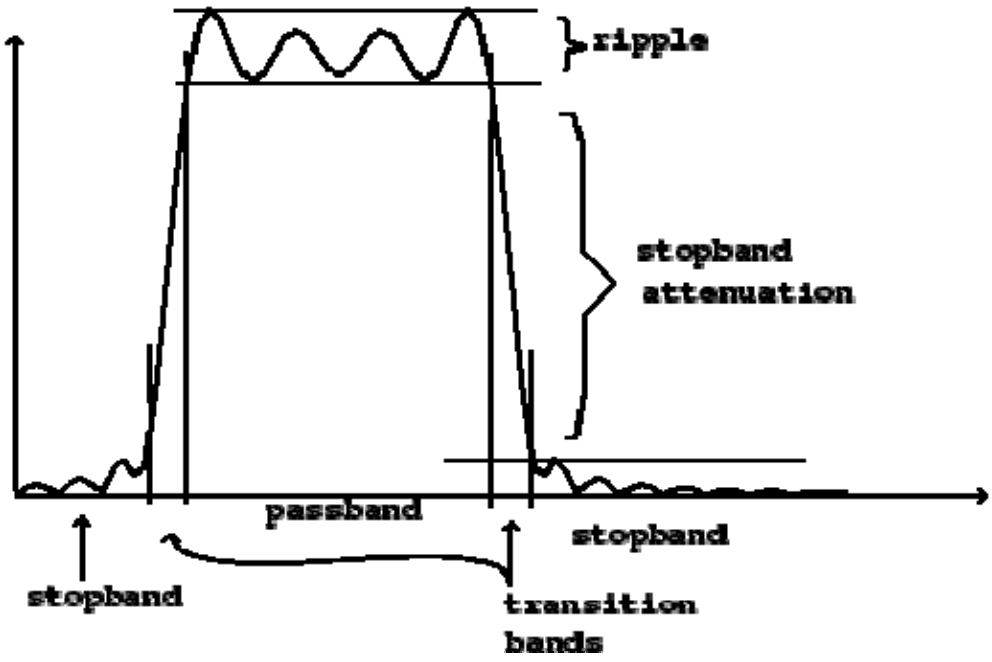
پاسخ یک فیلتر BP ایده آل در حوزه فرکانس به شکل زیر است :



شکل۱.۱. پاسخ فرکانسی یک فیلتر ایده آل

همان طور که ملاحظه می گردد، BPF دو مشخصه اصلی دارد : فرکانس مرکزی و پهنای باند. فیلتر را باید به گونه ای طراحی کرد که اطلاعات مورد نظر داخل Bandwidth بیافتد. اما در دنیای واقعی، طراحی فیلتر مسائل خاص خود را داراست.

پاسخ فرکانسی یک فیلتر واقعی به شکل زیر است :



شکل۲.۱. پاسخ فرکانسی یک فیلتر واقعی

همان طورکه ملاحظه میکنید یک فیلتر واقعی فرکانس های داخل Pass Band را به طور یکسان عبور نمی دهد و فرکانس های خارج Pass-Band را نیز به یک اندازه و به طور کامل تضعیف نمی کند. **این مسئله چه عواقبی را در بر دارد؟**

اگر بخواهیم فیلتر واقعی را نزدیک به ایده آل بسازیم، درجه فیلتر افزایش می یابد و تعداد المان ها بیشتر می شود.در این آزمایش می خواهیم با ساده ترین نوع BPF آشنا شویم.

فیلتر RLC :

مدار شکل زیر از یک مقاومت، یک خازن و یک سلف تشکیل شده است. در فرکانس های بسیار کم و بسیار زیاد، ادمیتانس غالب به ترتیب سلف ($y=\frac{1}{j\omega L}$) و خازن ($y=jC\omega$) میباشد.

به عبارت دیگر در فرکانس های بسیار بالا و بسیار پایین RLC موازی اتصال کوتاه می شود. اما در فرکانس $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$، سلف و خازن به رزونانس می افتند و امپدانس برابر با مقدار R می گردد.

شکل ۱.۳. : مدار RLC، سمت چپ: معادل نورتن. سمت راست: معادل تونن

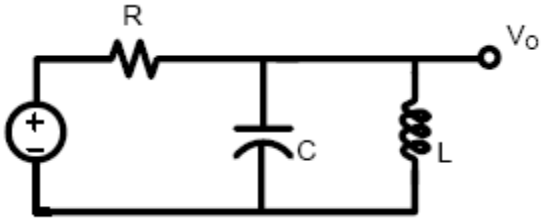
تنظیم فرکانس :

المان هایی که به صورت commercial موجود هستند همگی دارای مقادیر مشخص و درصد خطا می باشند. به عنوان مثال رنگ چهارم بر روی مقاومت ها نمایان گر درصد خطای آنها می باشد. پس برای اینکه بتوانیم فرکانس مرکزی RLC دقیقا برابر با فرکانس مورد نظر کنیم، باید حداقل یکی از المان ها را متغیر قرار دهیم. برای تنظیم دقیق فرکانس از خازن های متغیر استفاده می کنند اما دامنه تغییرات مقادیر این خازن ها بسیار کم است. در این آزمایش از سلف متغیر استفاده می کنیم.

معادل تونن مدار بالا را در نظر بگیرید. $\frac{V_O}{V_i}$ بر حسب فرکانس بدست آورید. سپس فرکانس مرکزی فیلتر را محاسبه کنید.

$\frac{V_{out(f)}}{V_{in(f)}} =$

$f_c =$



شکل ۱.۴. معادل تونن مدار RLC موازی

اگر عبارت بالا را برای $\frac{V_o}{V_i} = 1/\sqrt{2}$ بر حسب فرکانس حل کنید، به جواب های زیر دست خواهید یافت:

$$\omega_1 = \frac{-1}{2RC} + \sqrt{\frac{1}{(2RC)^2} + \frac{1}{LC}}$$

$$\omega_2 = \frac{+1}{2RC} + \sqrt{\frac{1}{(2RC)^2} + \frac{1}{LC}}$$

اگر پهنای باند را 3-dB تعریف کنیم، پهنای باند فیلتر را بر حسب المان های مدار محاسبه کنید.

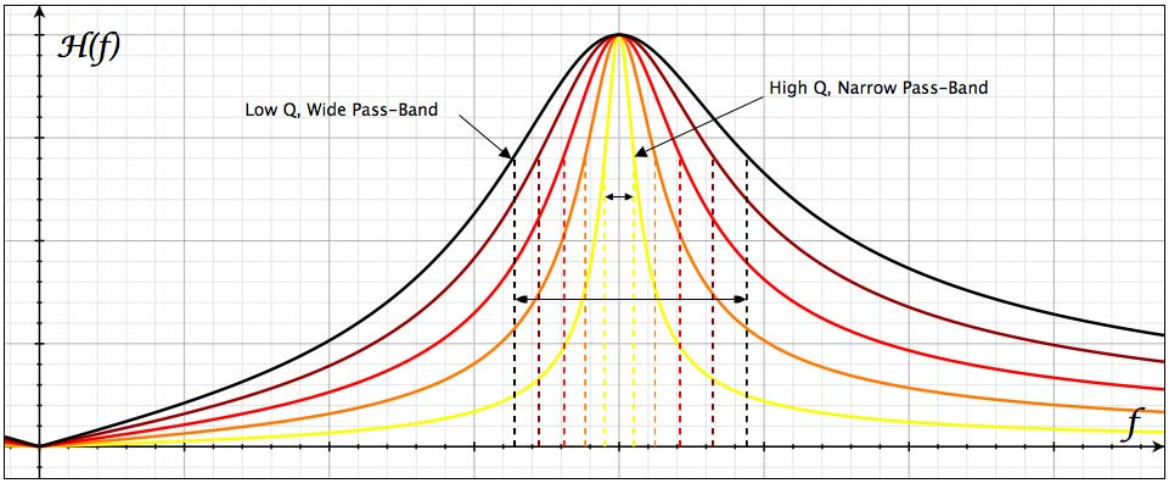
Δf =

با مفهوم Q (ضریب کیفیت فیلتر) در دروس پیشین آشنا شدید.

$$Q = \frac{f_c \text{ (فرکانس مرکزی)}}{\Delta f \text{ (پهنای باند)}}$$

آنرا بر حسب المان های مدار محاسبه کنید.

Q =



شکل۱.۵. پاسخ فرکانسی مدار RLC برای Q های مختلف(و گین ثابت)

حال برای فرکانس مرکزی 1.2 MH_Z و پهنای باند ۱۲۰ KH_Z یک فیلتر RLC طراحی کنید.

f_c = R =

Δf = L =

Q = C =

در انتخاب المان ها به این نکته توجه داشته باشید که مقاومت و خازنها مقادیر استانداردی دارند. قطعات موجود در آزمایشگاه در محدودی مقادیر E12 می باشند. معادلات طراحی به شما درانتخاب دو عدد از المانها آزادی میدهند، با توجه به توضیحات داده شده، **از بین خازن، مقاومت و سلف کدام دو را باید مقدار گذاری اولیه کرد؟**

نحوه ساختن سلف:

همانطور که در دروس پیشین دیدید، مقدار اندوکتانس یک سیم پیچ از رابطه زیر بدست میاید:

$$L = \frac{N\Phi}{i}$$

ضریب کیفیت:

یک سلف ایده ال مستقل از مقدار جریانی که از آن عبور میکند، بدون تلفات خواهد بود. اما سلفهای واقعی به علت وجود مقاومت سیم، ایده ال نیستند. مقاومت سری سیم پیچ، مقداری از توان عبوری از سلف را به صورت حرارت تلف می کند و به این دلیل از کیفیت آن میکاهد. ضریب کیفیت (Q) یک سلف نسبت راکتانس سلفی به مقاومت آن در یک فرکانس خاص و تخمینی از بازدهی آن است. هر چه Q یک سلف بیشتر باشد، راکتانس آن به یک سلف ایده ال شبیه تر است.

ضریب کیفیت سلف از رابطه زیر بدست می آید: (R مقاومت داخلی و ωL راکتانس در رزونانس میباشد)

$$Q = \frac{\omega L}{R}$$

اگر از یک هسته ferromagnetic استفاده کنیم، مقدار اندوکتانس برای مقدار موسوی سیم افزایش می یابد. البته باید به این نکته توجه دشت که استفاده از هسته، تلفات جدیدی به نام "تلفات هسته" اضافه میکند. نوکتی حائز اهمیت این است که این تلفات با افزایش فرکانس، افزایش می یابد. بنابرین باید هسته را بر اساس فرکانس کار سلف انتخاب کرد. به عنوان مثال در VHF و فرکانسهای بالاتر، استفاده از سیم پیچ هایی با هسته هوا معمولتر است. سلفهایی که از هسته ferromagnetic استفاده میکنند، ممکن است در جریانهای بالا اشباع شوند. پدیده اشباع باعث افت شدید اندوکتانس و Q می شود. راه مقابله با این پدیده استفاده از هسته های بزرگتر می باشد. یک سیمپیچ با هسته هوا در بهترین حالت Qیی در حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰ دارد.

جدول زیر چند رابطه برای محاسبه سلف هایی با سیم پیچ های مختلف میدهد: (منبع: ویکیپدیا)

Construction	Formula	Dimensions
Cylindrical coil	$L = \frac{\mu_0 K N^2 A}{l}$	• L = inductance in henries (H) • μ_0 = permeability of free space = $4\pi \times 10^{-7}$ H/m • K = Nagaoka coefficient[2] • N = number of turns • A = area of cross-section of the coil in square metres (m^2) • l = length of coil in metres (m)
Straight wire conductor	$L = l\left(\ln\frac{4l}{d} - 1\right) \cdot 200 \times 10^{-9}$	• L = inductance (H) • l = length of conductor (m) • d = diameter of conductor (m)
	$L = 5.08 \cdot l\left(\ln\frac{4l}{d} - 1\right)$	• L = inductance (nH) • l = length of conductor (in) • d = diameter of conductor (in)
Short air-core cylindrical coil	$L = \frac{r^2 N^2}{9r + 10l}$	• L = inductance (μH) • r = outer radius of coil (in) • l = length of coil (in) • N = number of turns
Multilayer air-core coil	$L = \frac{0.8 r^2 N^2}{6r + 9l + 10d}$	• L = inductance (μH) • r = mean radius of coil (in) • l = physical length of coil winding (in) • N = number of turns • d = depth of coil (outer radius minus inner radius) (in)
Flat spiral air-core coil	$L = \frac{r^2 N^2}{(2r + 2.8d) \times 10^5}$	• L = inductance (H) • r = mean radius of coil (m) • N = number of turns • d = depth of coil (outer radius minus inner radius) (m)
	$L = \frac{r^2 N^2}{8r + 11d}$	• L = inductance (μH) • r = mean radius of coil (in) • N = number of turns • d = depth of coil (outer radius minus inner radius) (in)
Toroidal core (circular cross-section)	$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 r^2}{D}$	• L = inductance (H) • μ_0 = permeability of free space = $4\pi \times 10^{-7}$ H/m • μ_r = relative permeability of core material • N = number of turns • r = radius of coil winding (m) • D = overall diameter of toroid (m)

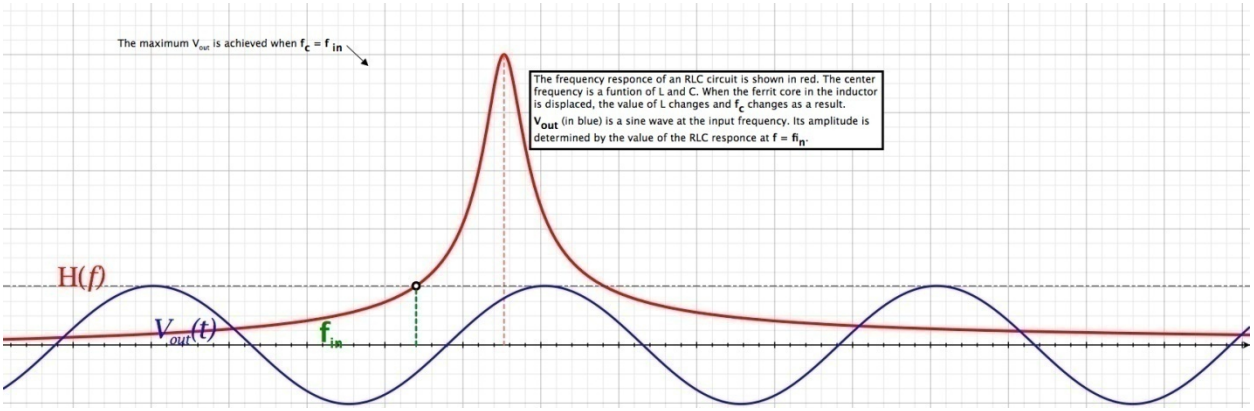
در این قسمت میخواهیم نمودار L بر حسب N (تعداد دور) را برای هسته فریت(**Cylindrical coil**) داده شده بکشیم و از آن K مخصوص هسته را بدست آوریم. برای این کار، ابتدا، به دور هسته فریت تا جای ممکن سیم بپیچید(دور ها به صورت منظم، تنها یک لایه روی هسته سیم بپیچید). حدود ۱ میلیمتر از دو طرف هسته را سیمپیچی نکنید. توجه داشته باشد که هر مقدار که تعداد دور شما بیشتر باشد، range نمودار شما بیشتر خواهد بود.سپسبا استفاده از RLC-meter موجود در آزمایشگاه، برای فرکانس ۱ مگاهرتز L و Q آنرا اندازهگیری نماید. سپس تعداد دور ها را کم کرده و مجددا اندازه گیری کنید. نتایج را برای تعداد معقولی داده درون یک جدول وارد نماید. توجه داشته باشد که در تمامی آزمایشهای این دسر، مجبور به ساختن سلف هستید. بنابرین در این قسمت تمام دقت خود را به کار بگیرید تا در آزمایشهای آینده به مشکل بر نخورید. **به هنگام تحویل گزارشکار، نمودار L و R موازی آنرا بر حسب N بکشید و به صورت تقریبی K هسته فریت را بدست آورید.**

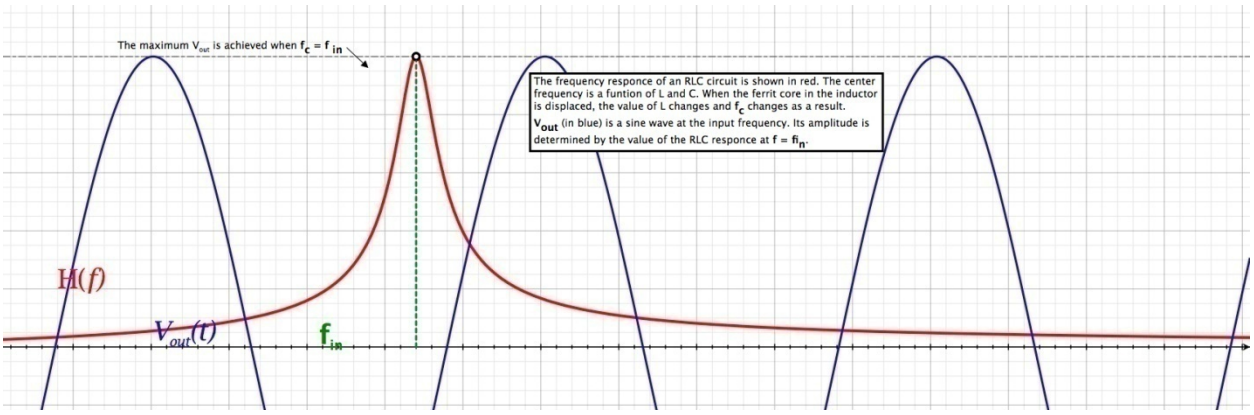
اعداد خود را به سرپرست آزمایشگاه نشان داده و در صورت صحت مدار بالا با استفاده از قطعات طراحی شده بسازید. ورودی را به Signal Generator و خروجی را به یک اسیلوسکوپ متصل کنید.

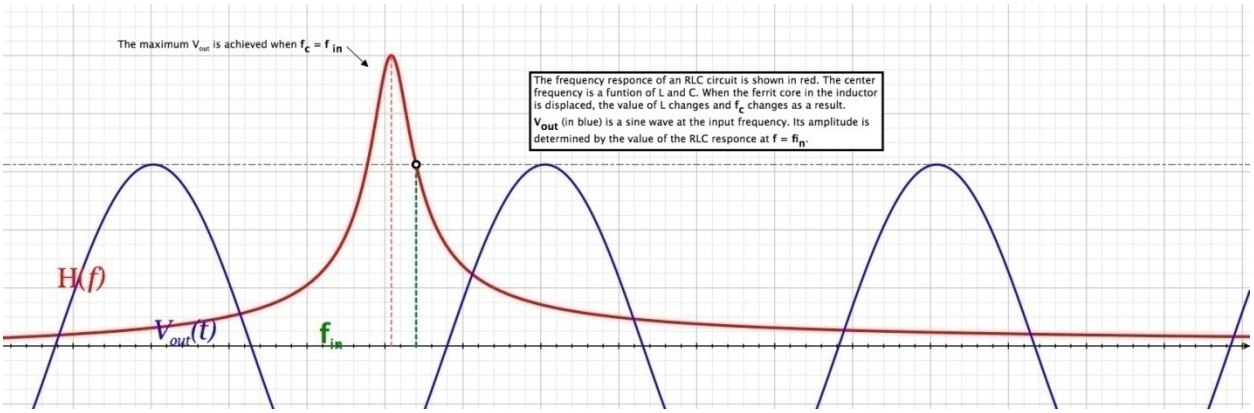
تنظیم فرکانس

برای تغییر دادن مقدار سلف، هسته را درون آن جابجا میکنیم. می خواهیم فرکانس مرکزی فیلتر دقیقا برابر با ۱.۲ مگاهرتز شود. برای تضمین این امر، فرکانس ورودی را بر روی ۱.۲ مگاهرتز تنظیم میکنیم و سلف را تغییر میدهم تا ماکسیمم دامنه در خروجی ظاهر شود. هسته را در مکانی که خروجی ماکسیمم میشود، تثبیت میکنیم. آیا این روش دقیقا فیلتر مورد نظر را به ما میدهد؟ چرا؟

انیمیشن tuning.mov تغییرات حوزه فرکانس و شکل موج خروجی را نسبت به تغییر مقدار سلف نشان می دهد. چند فریم از این انیمیشن را می توانید ببینید:







1.6. tuning.mov

مدارهایی که تا کنون بررسی کردیم بدون اثر بارگذاری بوده اند. در مدارهای مخابراتی گاهی لازم است بعد از خروجی فیلتر، طبقه دیگری قرار گیرد. این طبقه روی فیلتر بارگذاری می کند. این بار لزوما مقاومتی نیست.

آیا می توانید می توانید نمونه ای از بارگذاری راکتیو نام ببرید؟

نمودار $|V_o|$ - f را برای حالت زیر رسم کنید :

Load = (R = 10Ω||C = 47 nF)

چه نتیجه ای می گیرید؟

فرض کنید فرکانس مرکزی فیلتر بجای $1.2\ MHz$، $1.2\ GHz$ بود. با در نظر گرفتن مقاومت 1K، مقدار C و L برای همین پهنای باند چقدر خواهد بود؟ چه مشکلی برای ساخت این فیلتر می بینید؟