فصل ۴

کاربری تکنیک‌های مخابراتی

مشخصات کلی کار

نوع درس: نظری ـ عملی
کل ساعت: ۶۰ ساعت
ساعت نظری: ۲۰ ساعت
ساعت عملی: ۴۰ ساعت

روش تدریس فصل

۱ در جلسه اول، به مقدماتی که در محتوای پودمان ارائه شده پرداخته می‌شود تا هنرآموز با موضوعات درسی آشنا شود.
۲ نکات ایمنی و فنی، همراه با دلایل آن در کارگاه بررسی شده و از هنرجویان خواسته شود در مباحث کلاسی و تمرینات کارگاهی شرکت نمایند. این امر موجب می‌شود تا بتوانند نکات را به خوبی فرا گرفته و برای همیشه به خاطر بسپارند.
۳ برای تدریس بهتر این پودمان هنرآموز از روش تدریس کلاس معکوس استفاده کند. یعنی از هنرجویان بخواهید مطالب را در منزل از طریق اینترنت یا کتاب‌های مرتبط با مبانی مخابرات رادیو، مطالعه و یاد گرفته و در کلاس و کارگاه با هدایت هنرآموز به پرسش‌ها و تمرینات پاسخ دهد.
۴ پیشنهاد می‌گردد هنرآموز برای توضیحات تکمیلی مطالب پودمان، موارد ذکر شده در بخش‌های دانش افزایی را مورد توجه قرار داده و هنگام آموزش آنها را به‌کار گیرد.
۵ با هدف تقویت مهارت‌های پژوهشی هنرجویان و نیز درک بهتر مطالب، از آنان خواسته شود تحقیق و گزارشات خود را به‌صورت دست‌نویس درروی کاغذ نوشته و ارائه دهند و تا جای ممکن از کپی کردن مطالب اینترنت به‌صورت تایپ شده، آماده و خام خودداری شود.
۶ فعالیت‌هایی از قبیل «فکر کنید»، «بحث کنید» و... به‌منظور ترغیب هنرجویان در به‌کارگیری اطلاعات، دانسته‌ها و تجربیات آنان است. سعی کنید این فعالیت‌ها به دقت اجرا شود و در پایان هر فعالیت، یک بحث کوتاه تکمیلی داشته باشید.
۷ از هنرجویان خواسته شود تمامی فعالیت‌های کارگاهی را انجام دهد

سؤال‌های پیشنهادی

۱ سیگنال ژنراتور فرکانس رادیویی چه کاربردی در آزمایشگاه‌های الکترونیک دارند؟
۲ فیلترها از نظر پاسخ فرکانسی به چند دسته تقسیم می‌شوند؟
۳ فیلتر مکانیکی را با فیلتر الکترونیکی مقایسه کنید.
۴ فیلتر ایده‌آل و فیلتر واقعی را تعریف کنید و منحنی پاسخ فرکانسی آنها را با هم مقایسه کنید.
۵ فرکانس قطع فیلتر را تعریف کنید و نحوه محاسبه آن را بنویسید.
۶ فیلترهای پایین گذر و با لاگذر RC و RL را شرح دهید و نحوهٔ محاسبه فرکانس قطع آنها را بنویسید.

۷ دو نمونه فیلتر میان‌گذر سری رسم کنید و طرز کار آن را بنویسید.
۸ اسیلاتور چیست؟ شرح دهید.
۹ نیازهای اولیه برای نوسان‌سازی را نام ببرید. تشریح کنید.
۱۰ شرط تولید موج مربعی را در نوسان‌ساز شرح دهید.
۱۱ انواع نوسان‌سازها را از نظر شبکه تعیین‌کننده فرکانس نام ببرید.
۱۲ انواع نوسان‌سازهارا از نظر نوع فیدبک نام ببرید.
۱۳ کاربرد کریستال کوارتز را بنویسید.
۱۴ مزیّت استفاده از کریستال کوارتز را بنویسید.

دانش‌افزایی

در شکل‌های زیر شمای فنّی (علائم اختصاری) و شکل ظاهری تعداد دیگری از قطعات الکترونیکی را، که در گیرنده رادیویی مورد استفاده قرار می‌گیرد، ملاحظه می‌کنید.

شمای فنی و شکل ظاهری تعداد دیگری از قطعات الکترونیکی

فعالیت کارگاهی

انواع فیلترها

محدودهٔ فرکانسی فیلتر

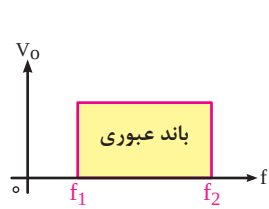
محدودهٔ فرکانسی فیلتر عبارت از مجموعه فرکانس‌هایی است که فیلتر می‌تواند از خود عبور دهد. این محدوده فرکانسی را پهنای باند یا پاسخ فرکانسی فیلتر می‌نامند.

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 ۱۰۰کیلوهرتز تا ۱۵۰کیلوهرتز قرار دارد در خروجی داشته باشیم، دقیقاً این فرکانس‌ها در خروجی به دست آید؛ به‌طوری که اثری از فرکانس‌های نزدیک به این مقادیر در خروجی ظاهر نشود. در شکل ب منحنی پاسخ فرکانسی فیلتر ایده‌آل آمده است.

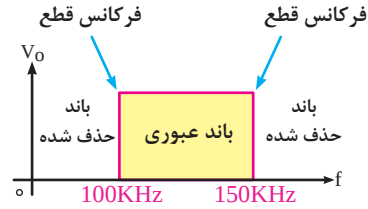
فیلتر واقعی (Real filter): به علت استفاده از مقاومت، سلف و خازن در فیلترها نمی‌توانیم پاسخ فرکانسی ایده‌آل داشته باشیم.چرا که این عناصر نمی‌توانند مانند یک کلید عمل کنند و از عبور فرکانس‌های ناخواسته جلوگیری به عمل آورند. در این حالت دامنه فرکانس‌های ناخواسته به‌تدریج کم می‌شود تا به صفر می‌رسد. در شکل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

فرکانس قطع فیلتر: 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 الف فرکانس‌های قطع فیلتر ایده‌آل برابر با F_1 و F_2 است.

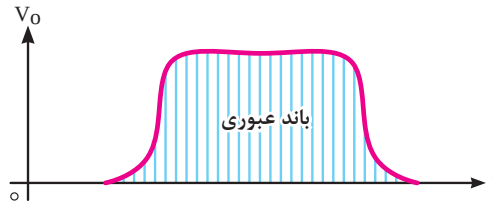
در فیلترهای واقعی ولتاژ خروجی به‌تدریج به حداکثر ولتاژ ورودی، یا صفر می‌رسد، از این رو نقاط متعددی وجود دارد که می‌تواند به‌عنوان فرکانس قطع فیلتر انتخاب شود. طبق تعریف در فیلترهای واقعی، فرکانس قطع فیلتر عبارت از فرکانسی است که در آن فرکانس، تطابق توان صورت می‌گیرد و نیمی از توان ورودی به خروجی منتقل می‌شود. در این نقطه معمولاً ۷۰/۷ درصد ولتاژ ورودی در خروجی ظاهر می‌شود. این نقطه را نقطه نصف قدرت نیز می‌نامند. این نقطه همان سطح ۳db است. زیرا وقتی توان خروجی برابر ۱/۲ توان ورودی می‌شود مقدار توان به اندازه ۳ دسی بل کاهش می‌یابد. در شکل صفحهٔ بعد محور عمودی سمت راست برحسب درصد و محور عمودی سمت چپ برحسب db است.



محدوده فرکانسی فیلتر



فیلتر ایده‌آل



باند عبوری

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

$$A_V(dB) = ۲۰\log\frac{V_\circ}{V_{in}} \ , \ A_P(dB) = ۲۰\log\frac{P_\circ}{P_{in}}$$

انواع فیلترها از نظر کاربرد

فیلترها از نظر کاربرد به چهار گروه زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

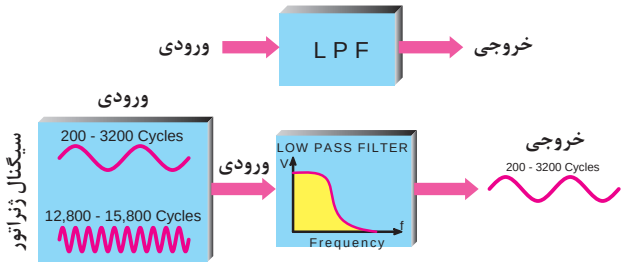
الف) فیلتر پایین‌گذر LPF (Low Pass Filter): فیلتر پایین‌گذر فیلتری است که اجازه می‌دهد فرکانس‌هایی را از حد صفر تا مقدار معینی، که به عنوان فرکانس قطع مطرح می‌شود، از خود عبور دهد. در شکل زیر الف پاسخ فرکانسی این فیلتر را مشاهده می‌کنید. در شکل زیر ب و ج دو نوع مدار فیلتر پایین‌گذر RC و RL ترسیم شده است. در مدار شکل زیر 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 می‌کند و ولتاژی به خروجی مدار نمی‌رسد. فرکانسی را که در آن فرکانس مقدار X_L=R می‌شود فرکانس قطع فیلتر پایین‌گذر می‌نامند و آن را با Fc نشان می‌دهند. فرکانس قطع از رابطه زیر قابل محاسبه است:

فرمول محاسبه فرکانس قطع فیلتر $\quad X_L = R \Rightarrow L\omega = R \Rightarrow \omega = \frac{R}{L}$

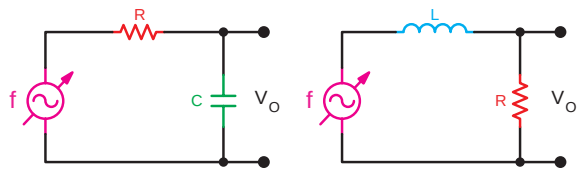
$$F_C = \frac{R}{2\pi L} \quad (L .P .F)$$ پایین‌گذر

مقدار فرکانس قطع فیلتر پایین‌گذر RC از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$F_C = \frac{R}{2\pi RC} \quad (L .P .F)RC$$ فرمول محاسبه فرکانس قطع فیلتر

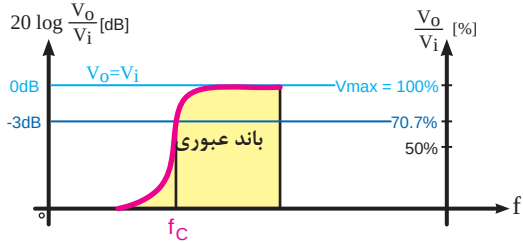


پاسخ فرکانسی فیلتر پایین‌گذر

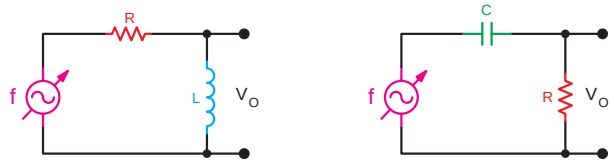


فیلتر پایین‌گذر RC فیلتر پایین‌گذر RL

ب) فیلتر بالاگذر HPF(High Pass Filter): این فیلترها از فرکانس معینی به بالا را از خود عبور می‌دهند. اصول کار و ساختمان فیلترهای بالاگذر مشابه فیلترهای پایین‌گذر است. با این تفاوت که خروجی‌های مدار جابه‌جا شده است. در شکل ب فیلتر R_L بالا گذر را ملاحظه می‌کنید. خروجی این مدار دو سر X_L (دو سر سلف) دریافت شده است. مدار از دو سر R_C ترسیم شده است. در شکل ج فیلتر بالاگذر خروجی این مدار برخلاف فیلتر پایین گذر از دو سر مقاومت R دریافت شده است. برای درک بهتر مطلب، مدارهای شکل زیر را با مدارهای شکل بعد مقایسه کنید. فرکانس قطع فیلتر بالاگذر مشابه فیلترهای پایین‌گذر است.



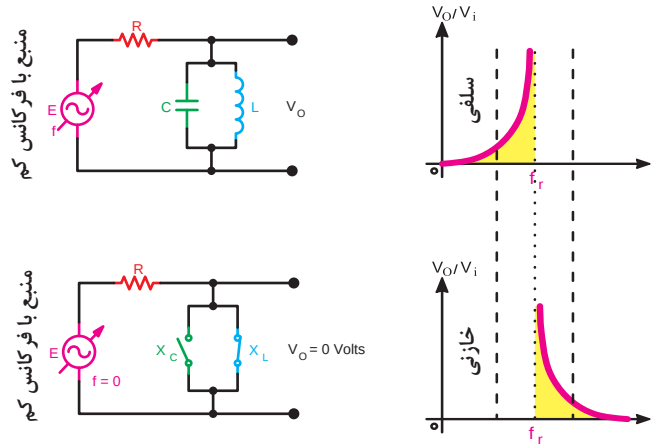
پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر



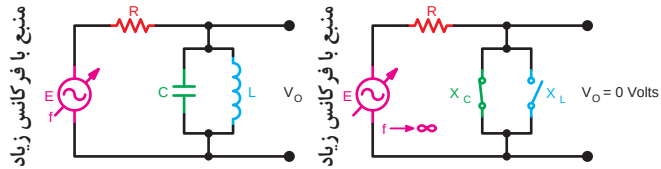
فیلتر بالاگذر RL　　فیلتر بالاگذر RC

ج) فیلترهای میان‌گذر BPF (Band Pass Filters): فیلترهای میان‌گذر، 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.

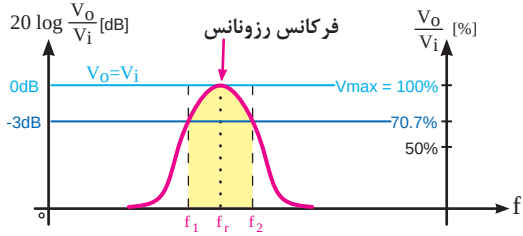
همان‌طور که در شکل زیر ملاحظه می‌شود ولتاژ خروجی از دو سر مدار رزونانس موازی دریافت می‌شود. در فرکانس‌های پایین سیم پیچ به‌صورت اتصال کوتاه و خازن به‌صورت اتصال باز عمل می‌کند و ولتاژ خروجی صفر می‌شود. در فرکانس‌های بالا، خازن به صورت اتصال کوتاه و سیم پیچ به صورت اتصال باز عمل می‌کند و ولتاژ خروجی صفر 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 شده اند و مانند مدار باز عمل می‌کنند و ولتاژ دو سر آنها با ولتاژ منبع ورودی برابر می‌شود.



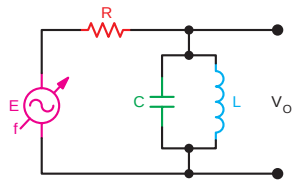
رفتار مدار در فرکانس‌های کم‌سلف مانند کلید بسته عمل می‌کند و باعث کاهش ولتاژ خروجی می‌شود.



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



پاسخ فرکانسی



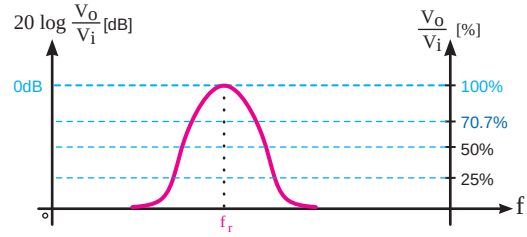
فیلتر میان‌گذر

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

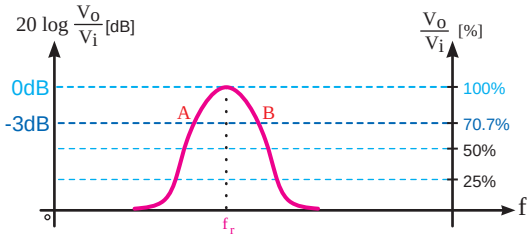
در مدار رزونانس موازی(فیلتر میان‌گذر) درفرکانس رزونانس مقاومت خازنی (cX) و مقاومت سلفی(X_L) با هم برابر است (XL=XC) و مقاومت ظاهری معادل LC موازی خیلی بزرگ (کلید باز) است و به سمت بی‌نهایت میل می‌کند.

طرز تعیین فرکانس‌های قطع فیلتر میان‌گذر: برای به‌دست آوردن فرکانس قطع فیلتر میان‌گذر ابتدا با در دست داشتن منحنی پاسخ فرکانسی، فرکانس حداکثر خروجی را که در FR به‌دست می‌آید، مشخص می‌کنیم (شکل صفحهٔ بعد) الف سپس حد ۳dB ـ، که همان ۷۰/۷درصد ولتاژ ورودی یا ۵۰درصد حد توان ورودی است را تعیین می‌کنیم شکل صفحهٔ بعد ب و خطی موازی محور فرکانس‌ها می‌کشیم (شکل صفحهٔ بعد ج)، این خط در دو نقطه B و A منحنی پاسخ فرکانسی را قطع می‌کند. فرکانس $F_۱$ فرکانس قطع پایین و فرکانس $F_۲$ فرکانس

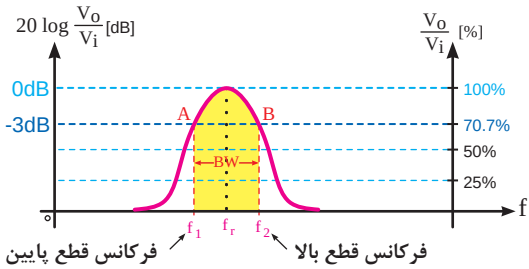
قطع بالای فیلتر میان‌گذر است. فاصله F_1 و F_2 پهنای باند فیلتر را تشکیل می‌دهد. فرکانس F_1 را با F_L (کم ـ LOW) و فرکانس F_2 را با F_H (زیاد ـ HIG) نیز نشان می‌دهند.



نقطه حداکثر را به‌دست می‌آوریم.



نقاط ۳db- را تعیین می‌کنیم.

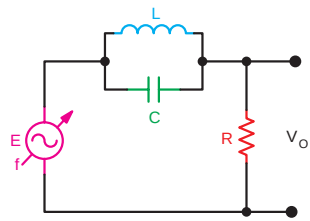


از نقاط A و B به محور افقی عمود می‌کنیم و پهنای باند را به‌دست می‌آوریم.

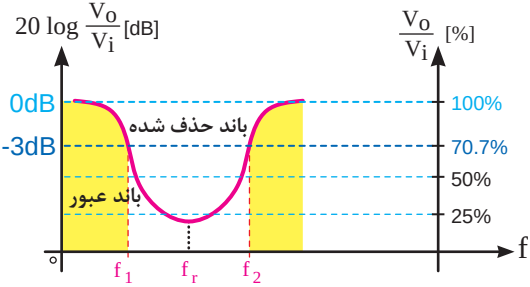
نحوهٔ به‌دست آوردن فرکانس قطع در فیلترهای میان‌گذر

فیلتر حذف باند

BRF (Band Reject Filter Notch filter): فیلترهای حذف باند فیلترهایی هستند که باند معینی از فرکانس را حذف می‌کنند. این فیلترها از نظر نحوه کار، مشابه فیلترهای میان گذرند. تنها تفاوت بین آنها نحوه دریافت خروجی است. در شکل زیر الف یک نمونه فیلتر حذف باند و در شکل زیر ب پاسخ فرکانسی آن ترسیم شده است.



فیلتر حذف باند



پاسخ فرکانسی

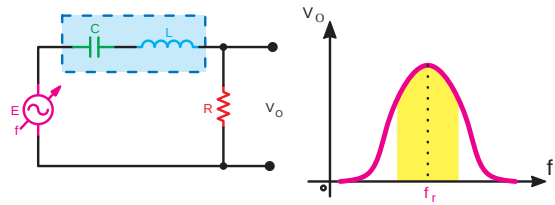
همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در فرکانس Fr مدار رزونانس Lc موازی به‌صورت یک امپدانس زیاد عمل می‌کند و جریان مدار را آن قدر محدود می‌کند که در خروجی ولتاژ بسیار کمی ظاهر می‌شود که می‌توانیم عملاً آن را صفر در نظر بگیریم. در فرکانس‌های خیلی پایین، سیم‌پیچ به‌صورت اتصال کوتاه و خازن به‌صورت اتصال باز عمل می‌کند، در این حالت تمام ولتاژ ورودی در خروجی ظاهر می‌شود. در فرکانس‌های بالا، خازن اتصال کوتاه می‌شود و سلف به‌صورت اتصال کوتاه عمل می‌کند، در این حالت تمام ولتاژ ورودی به خروجی می‌رسد.

انواع فیلترهای میان‌گذر و حذف باند:

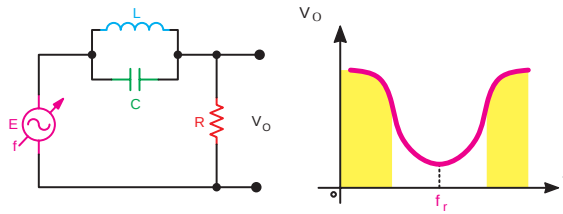
فیلترهای میان‌گذر و حذف باند را از نظر نحوه بستن مدار به دو دستهٔ سری و موازی تقسیم می‌کنند.

الف) فیلترهای سری: درصورتی‌که 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 الف فیلتر میان‌گذر سری با مدار رزونانس سری و در شکل زیر ب فیلتر حذف باند سری با مدار رزونانس موازی ترسیم شده است.

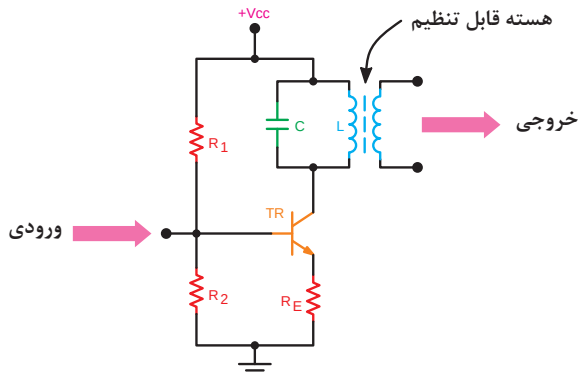


فیلتر میان‌گذرسری با مدار رزونانس سری



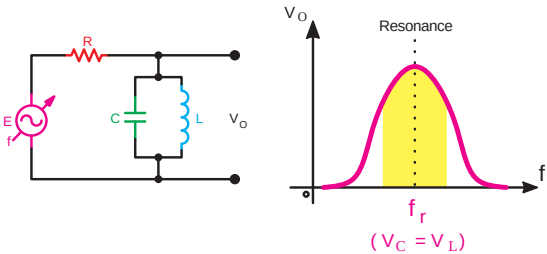
فیلتر حذف باند سری با مدار رزونانس موازی

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

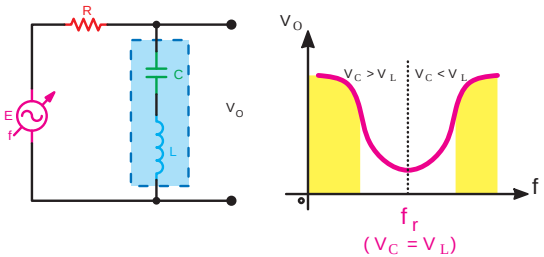


یک نمونه فیلتر عملی قابل استفاده در مدار رادیو

ب) فیلترهای موازی: اگر مدار رزونانس به‌صورت موازی با خروجی قرار گیرد فیلتر موازی شکل می‌گیرد. فیلترهای موازی در دو نوع فیلتر میان‌گذر با مدار رزونانس موازی شکل زیر الف و فیلتر حذف باند با مدار رزونانس سری شکل زیر ب تقسیم می‌شود. اساس کار فیلترهای موازی مشابه فیلترهای سری است.



فیلتر میان گذر موازی با رزونانس موازی



فیلتر حذف باند موازی با مدار رزونانس موازی

مشخصه‌های فیلتر میان‌گذر

به‌طور کلی برای فیلترهای میان گذر سه مشخصه به شرح زیر تعریف می‌شود:

الف) فرکانس رزونانس Fr

ب) پهنای باند Bw

ج) ضریب کیفیت Q

الف) فرکانس رزونانس (Resonance Frequency): فرکانس رزونانس فیلترهای میان‌گذر از رابطه زیر قابل محاسبه است.

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

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

$BW = F_2 - F_1$

BW = پهنای باند , $F_L = F_1$ = فرکانس قطع پایین

$F_H = F_2$ = فرکانس قطع بالا

مثال:

در یک فیلتر میان‌گذر درصورتی‌که فرکانس قطع بالا برابر با ۶۱۰کیلوهرتز و فرکانس قطع پایین برابر با ۵۸۰کیلوهرتز باشد، پهنای باند را به‌دست آورید.

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

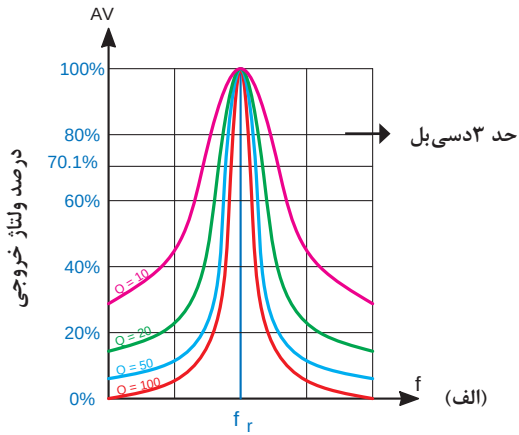
ج) ضریب کیفیت (Quality Factor): این ضریب میزان تیزی منحنی مشخصه و پهنای باند را تعیین می‌کند. بین مقدار پهنای باند Q و Fr رابطه زیر برقرار است:

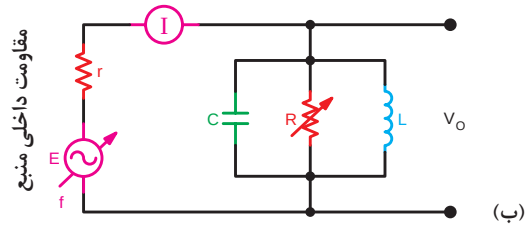
$$Q = \frac{F_r}{BW}$$

Q = ضریب کیفیت ، Fr = فرکانس رزونانس

BW = پهنای باند

هر قدر ضریب Q کمتر شود پهنای باند بیشتر می‌شود. در شکل زیر منحنی یک مدار رزونانس موازی با یک فرکانس رزونانس و مقادیر مدار 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.





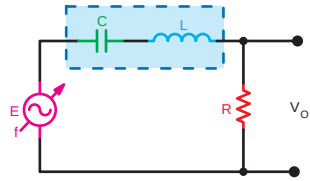
پاسخ فرکانس مدار رزونانس موازی با Qهای متفاوت

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

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

Q = ضریب کیفیت

X_L = راکتانس سلفی , R = مقاومت اهمی سری با سیم‌پیچ



مدار رزونانس سری

مثال

در صورتی که در مدار شکل بالا مقدار $X_L = ۱۰K\Omega$ را به‌دست آورید و مقدار $R=۱۰۰\Omega$ باشد. مقدار Q را به‌دست آورید.

پاسخ:

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

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

اگر در رابطه $BW=\frac{F_r}{X_L/R}$ به جای Q مقدار آن را در رابطه زیر قرار دهیم داریم:

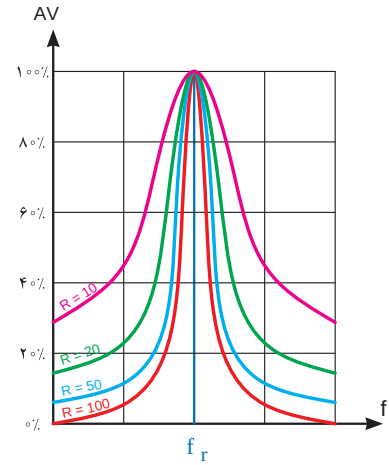
$$Q=\frac{X_L}{R}\ ،BW=\frac{F_r}{Q}\ ،BW=\frac{F_r}{X_L/R}$$

$$BW=\frac{F_r.R}{X_L}$$

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

اگر رابطه بالا را مورد توجه قرار دهیم می‌بینیم که زیاد شدن مقاومت اهمی سیم پیچ، مقدار Q کم و مقدار پهنای باند زیاد می‌شود.

شکل زیرمقدار Q را در مدار رزونانس سری با مقادیر متفاوت R نشان می‌دهد.

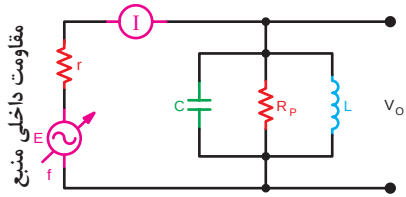


اثر مقاومت R روی Q در مدار رزونانس سری

مقدار Q در مدار رزونانس موازی: مقدار Q در مدار رزونانس موازی بستگی به مقاومت موازی مدار دارد. مقدار Q در مدار شکل زیر از رابطه زیرقابل محاسبه است.

$$Q_P = \frac{R_P}{X_r}$$

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



مدار رزونانس موازی

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

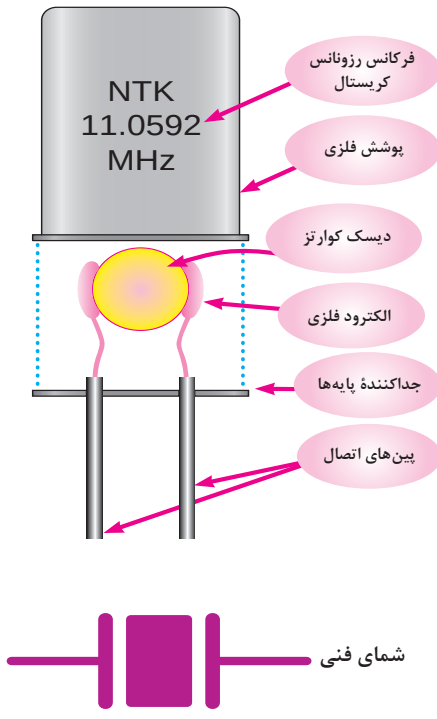
$$BW = \frac{F_r}{Q_P} \quad ،QP = \frac{R_P}{X_L}$$

$$BW = \frac{F_r}{R_P / X_L} \quad ،BW = \frac{F_r . X_L}{R_P}$$

از مقاومت اهمی سری سلف صرف نظر 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 R_P معادل موازی را محاسبه می‌کرد. بنابراین به علت پیچیدگی از این طرح این محاسبات خودداری شد.
با بررسی هر رابطه 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.

فیلترهای کریستالی (Crystal filters): روش دیگری برای کنترل فرکانس در مدارهای رزونانسی استفاده از کریستال (quartz crystal) کوارتز است. کوارتز، یک است، که هرگاه (Piezoelectric effect) ماده با اثر پیزوالکتریک انرژی الکتریکی دریافت کند آن را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند و بالعکس انرژی مکانیکی را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند. 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 زیر ساختمان داخلی و شمای فنی آن نشان داده شده است.
به اثر ناشی از فشار برای تولید بارهای الکتریکی، اثر پیزوالکتریک می‌گویند.



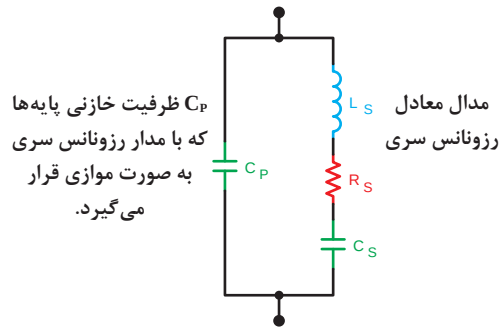
ساختمان داخلی و شمای فنی کریستال

شکل ظاهری چند نمونه کریستال

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

کریستال می‌تواند 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 معادل کریستال کوارتز را می‌توان با یک ترکیب سری و موازی RLC مطابق شکل زیر نشان داد.



مدار معادل کریستال کوارتز

راهنمایی:

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

فعالیت کارگاهی

کار با سیگنال ژنراتور رادیویی RF

تحقیق کنید

- حوزه فرکانس کار هر یک از باندهای A,B,C,D,E,F رابنویسید.

پاسخ:

باند A ـ ۱۰۰ کیلوهرتز تا ۳۰۰ کیلوهرتز
باند B ـ ۳۰۰کیلوهرتز تا ۱۰۰۰ کیلو
باند C ـ ۱ تا ۳/۵ مگاهرتز
باند D ـ ۳ تا ۱۱ مگاهرتز
باند E ـ ۱۰ تا ۳۵ مگاهرتز
باند F ـ ۳۲ تا ۱۵۰ مگاهرتز

- درصورتی‌که در باند F از هارمونیک‌ها استفاده شود چه اتفاقی رخ می‌دهد؟

پاسخ:

فرکانس خروجی از ۹۶ مگاهرتز تا ۴۵۰ مگاهرتز قابل تغییر است.

- EXT- MOD را توضیح دهید.

پاسخ:

به معنی مدولاسیون خارجی است و در این حالت می‌توان سیگنال پیام را به‌وسیله دستگاه دیگری به مولّد اعمال کرد.

- INT ـMOD را توضیح دهید.

پاسخ:

به معنی مدولاسیون داخلی است. با قرار دادن کلید در این حالت سیگنال مدوله شده AM با فرکانس پیام یک کیلوهرتز تولید می‌شود

■ X TAL OSC را توضیح دهید.

پاسخ:

در شرایطی که کریستال به دستگاه اتصال دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

توجه

این ترمینال‌ها در دو وضعیّت مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱ اگر کلید در حالت INT_MOD باشد، از این ترمینال می‌توان سیگنال مدوله‌کننده (پیام) با فرکانس یک کیلوهرتز دریافت نمود.

۲ اگر کلید دستگاه روی حالت EXT_MOD قرار گیرد، از این ترمینال می‌توان برای اعمال سیگنال مدوله‌کننده (پیام) استفاده کرد.

یک نمونه دیگر مولد سیگنال RF

تزریق سیگنال: یکی دیگر از روش‌های متداول در تعیین بلوک معیوب، تزریق یک سیگنال مدوله شدهٔ AM به مدار است. برای تزریق سیگنال نیاز به یک مولد سیگنال RF با تن صوتی مدوله شده نیاز داریم. در این روش مولد RF می‌توان به‌عنوان فرستنده اسیلاتور محلی یا مولد سیگنال IF عمل کند. اغلب سیگنال‌های ژنراتورهای RF دارای خروجی تن صوتی نیز هستند که توسط آن می‌توانند طبقهٔ تقویت‌کننده صوت را مورد آزمایش قرار داد. در شکل زیر یک نمونه سیگنال ژنراتور RF را مشاهده می‌کنید. کنترل‌های این دستگاه از نوع دیجیتالی است.

یک نمونه مولدسیگنال RF

مدولاسیون

در مدولاسیون FM دامنهٔ حامل ثابت است و فرکانس حامل، متناسب با دامنهٔ پیام، تغییر می‌کند. سرعت تغییرات فرکانس حامل به فرکانس پیام بستگی دارد. شکل زیر یک نمونه موج مدوله شده FM را به‌صورت نرم‌افزاری نشان می‌دهد.

برای تولید موج مدوله شده FM می‌توانید از فانکشن ژنراتور استفاده کنید.

در فانکشن ژنراتور نوسان‌سازی وجود دارد که فرکانس آن با ولتاژ تغییر می‌کند. این نوع

نوسان‌سازها را نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ یا vco(voltage Control Oscillator) می‌نامند. در دستگاه فانکشن ژنراتور ترمینالی به نام vcom یا vco یا با علامت دیگری وجود دارد که می‌توانیم با استفاده از یک منبع خارجی به این ترمینال ولتاژهای مختلف AC و DC را اعمال کنیم و فرکانس نوسان‌ساز را تغییر دهیم. معمولاً این ترمینال در پشت دستگاه فانکشن ژنراتور قرار دارد. درصورتی که به ترمینال مورد نظر ولتاژ DC وصل کنیم با تغییر ولتاژ DC فرکانس نوسان‌ساز VCO تغییر می‌کند ومی توانیم تغییرات آن را ببینیم. به عبارت دیگر تغییرات ولتاژ را به تغییرات فرکانس تبدیل کرده ایم. چنانچه ورودی VCO، سیگنال AC اعمال کنیم متناسب با دامنهٔ سیگنال AC فرکانس موج فانکشن ژنراتور تغییر می‌کند و موج مدوله شده FM ایجاد می‌شود. همچنین دکمه‌ای به نام دکمه سوئیپ در فانکشن ژنراتور وجود دارد که با فعال کردن آن در خروجی فانکشن ژنراتور موج مدوله شدهٔ FM قابل دریافت است. تغییرات فرکانس موج مدوله شدهٔ FM به دامنهٔ انتخابی پیام (width) و سرعت تغییرات (Rate) به فرکانس موج مدوله کننده بستگی دارد. تنظیم مقدار دامنه و فرکانس پیام معمولاً توسط ولوم‌های Width و Rate نام‌های دیگر صورت می‌گیرد. در شکل زیر نمای رو و پشت یک نمونه از این نوع فانکشن ژنراتور را ملاحظه می‌کنید.

دانش‌افزایی

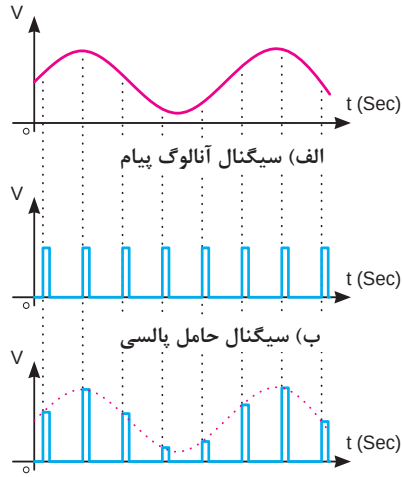
سیگنال آنالوگ (پیوسته) Analog

اگر صدای انسان را که بیانگر نوسانات فشار هوا در موقع سخن گفتن است به سیگنال الکتریکی تبدیل کنیم موجی شبیه شکل زیر ایجاد می‌شود این سیگنال یک موج پیوسته یا آنالوگ است: نمونه‌ای دیگری از شکل آنالوک در شکل زیر نشان داده می‌شود.

سیگنال منفصل(گسسته ـ Discrete)

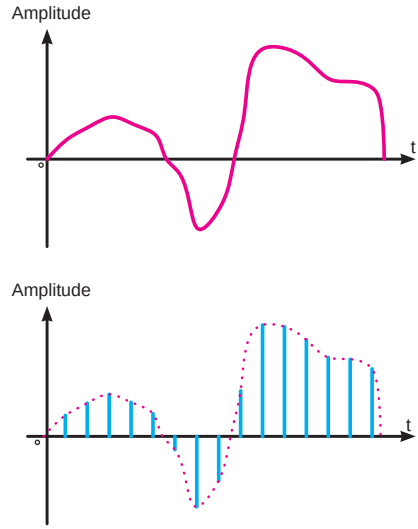
اگر از سیگنال آنالوگ به‌صورت پالسی نمونه‌برداری (Sampling) کنیم، سیگنال منفصل به‌دست می‌آید. این نمونه برداری در فاصل زمانی معین (Sampling Period) که زمان تناوب نمونه‌برداری نامیده می‌شود، صورت می‌گیرد. عمل نمونه‌برداری به‌وسیله پالس‌های سیگنال حامل صورت می‌گیرد. در این حالت دامنه سیگنال حامل (Ac)

تحت تأثیر سیگنال پیام قرار می‌گیرد و متناسب با آن تغییر می‌کند. سیگنال منفصل حاصل شده را سیگنال مدوله شده دامنه پالس (Pulse Amplitude Modulation) یا PAM می‌نامند. در شکل زیریک نمونه سیگنال آنالوگ پیام، حامل پالسی و سیگنال مدوله شده PAM را ملاحظه می‌کنید.



سیگنال پیام ،حامل و سیگنال مدول شده PAM

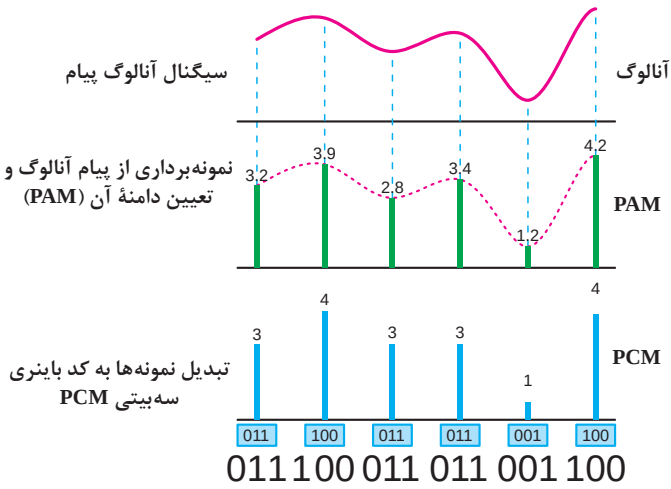
در شکل زیر نوع دیگری از پیام را ملاحظه می‌کنید که به‌صورت PAM درآمده است. در این شکل پهنای پالس‌های حامل بسیار کم است که به آن پالس‌های سوزنی (Impulse) می‌گویند.



نمونه دیگری از پیام و سیگنال PAM

مدولاسیون پالسی کد شده PCM

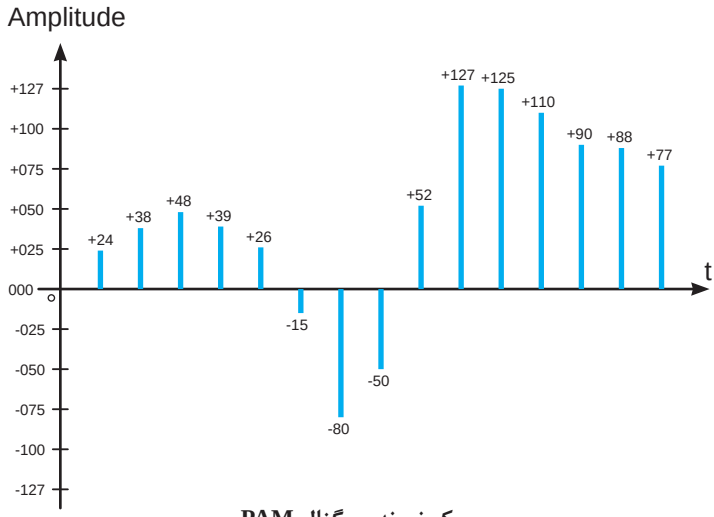
اگر سیگنال منفصل PAM را با یک درجه‌بندی مشخص و تعریف‌شده به کدهای باینری تبدیل کنیم مدولاسیون PCM شکل می‌گیرد. این روش را کوآنتیزه‌کردن (Quantization) می‌نامند. در شکل زیر سیگنال آنالوگ را مشاهده می‌کنید که ابتدا به سیگنال PAM تبدیل شده است. در مرحله بعد سیگنال PAM را درجه‌بندی کرده‌ایم و کد معادل آن را به‌دست آورده‌ایم. در این مرحله سیگنال PAM به PCM تبدیل شده است. کد استفاده شده در این تبدیل سه‌بیتی است.



سیگنال آنالوگ و سیگنال PAM و PCM حاصل از آنها

یک کد سه‌بیتی ۸=$۲^{۳}$ حالت را نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر دامنه انتخاب‌شده در ۸سطح مختلف تقسیم‌بندی می‌شود. برای دقت بیشتر در مدرج‌کردن، باید به نمونه برداشته شده، مقادیر صحیح بیشتری اختصاص داد. لذا تعداد بیت‌های کوآنتینر، افزایش می‌یابد؛ مثلاً با استفاده از کد ۷ بیتی ۱۲۸=$۲^{۷}$ حالت را می‌توان نشان داد. در واقع ۱۲۸ سطح ولتاژ مختلف را می‌توان انتخاب نمود. در شکل زیر یک سیگنال PAM را مشاهده می‌کنید که به نمونه‌های برداشته شده سطوح بیشتری اختصاص داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود در ۱۵نمونه برداشته شده از پیام، سطوح ولتاژ بین حداقل |۱۵| و حداکثر |۱۲۷| وجود دارد. به عبارت دیگر بالاترین سطح ولتاژ اختصاص داده شده در شکل، ۱۲۷ است که لزوماً باید یک کد باینری ۷بیتی باشد.

توجه داشته باشید که عدد ۱۲۷ از نظر کمیت معادل۱۲۷ ولت نیست، بلکه معادل بیشترین دامنه‌ای است که سیگنال آنالوگ دارد.



یک نمونه سیگنال PAM

مقادیر صحیح اختصاص داده شده به کد معادل باینری بیتی تبدیل می‌شود؛ چون مقادیر نمونه‌برداری شده ممکن است مثبت یا منفی باشند، برای مقادیر مثبت و منفی علامتی در نظر می‌گیرند. برای این منظور بیت هشتمی را در سمت چپ کد ۷ بیتی قرار می‌دهند تا در این حالت مثبت یا منفی بودن دامنه نمونه‌برداری شده را تعیین کنند. اگر مقادیر نمونه‌برداری شده مثبت باشند از بیت (۰) و اگر منفی باشند از بیت (۱) در سمت چپ استفاده می‌شود. مثلاً ۲۴+ در تبدیل به کد باینری به صورت ۰۰۱۱۰۰۰ که ۷ بیتی است نشان داده می‌شود.

در تبدیل عدد ۲۴+ به کد باینری، نتیجه به‌صورت ۱۱۰۰۰ در می‌آید که ۵بیتی است. برای تبدیل آن به کد ۷ بیتی تعداد دو بیت «۰» در سمت چپ قرار داده‌ایم.

با این توضیح که چون ۲۴ علامت مثبت دارد، یک صفر در سمت چپ بیت‌ها قرار می‌گیرد و به این ترتیب ۲۴+ با کد ۸بیتی به‌صورت ۰۰۰۱۱۰۰۰ نشان داده می‌شود.

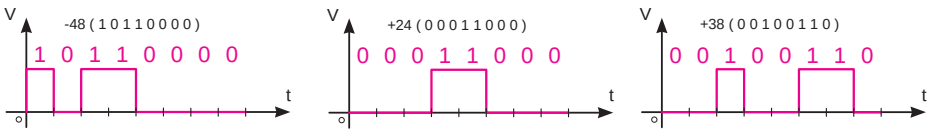
در جدول زیر مقادیر سیگنال کوآنتیزه را که به‌صورت کد ۷بیتی همراه با بیت علامت است، مشاهده می‌کنید.

+024	0	0	0	1	1	0	0	0	-015	1	0	0	0	1	1	1	1	+125	0	1	1	1	1	1	0	1
+038	0	0	1	0	0	1	1	0	-080	1	1	0	1	0	0	0	0	+110	0	1	1	0	1	1	1	0
+048	0	0	1	1	0	0	0	0	-050	1	0	1	1	0	0	1	0	+090	0	1	0	1	1	0	1	0
+039	0	0	1	0	0	1	1	1	+052	0	0	1	1	0	1	0	0	+088	0	1	0	1	1	0	0	0
+026	0	0	0	1	1	0	1	0	+127	0	1	1	1	1	1	1	1	+077	0	1	0	0	1	1	0	1

بیت علامت
۱ = منفی
۰ = مثبت

بیت علامت
۱ـ منفی
۰ـ مثبت

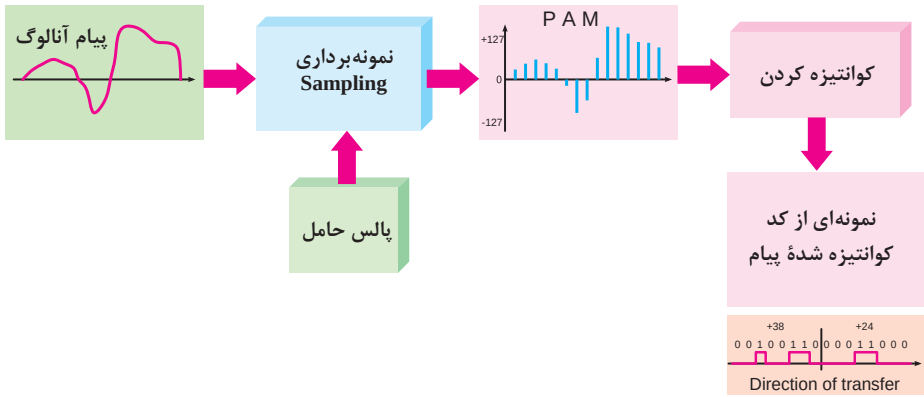
بعد از عمل کدبندی باینری، سیگنال دیجیتال به‌دست می‌آید، که در شکل زیر سه‌نمونه سیگنال دیجیتال برای اعداد ۲۴+ ، ۳۸+ و ۴۸ـ داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، سیگنال خروجی PCM به دست آمده، سیگنال دیجیتال معادل تعدادی از نمونه‌های برداشته شده از پیام است.



سیگنال دیجیتال برای عدد ۴۸ـ | سیگنال دیجیتال برای عدد ۲۴+ | سیگنال دیجیتال برای عدد ۳۸+

کدبندی دیجیتال

در شکل زیر چهار فرایند PCM که شامل PAM کوآنتیزه کردن، کدبندی باینری و کدبندی دیجیتال به دیجیتال است، نشان داده شده است.



چهار مرحله فرایند PCM

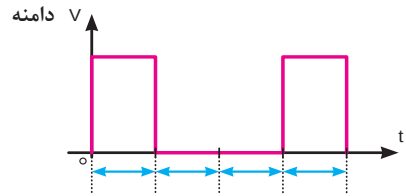
دو پارامتر در یک دستگاه مبدل آنالوگ به دیجیتال مهم است:

۱ سرعت نمونه‌برداری = تعداد نمونه‌های برداشته شده در یک ثانیه

۲ دقت نمونه‌برداری = تعداد مقادیر(درجات) مختلفی که می‌توان به مقدار نمونه برداشته‌شده اختصاص داد.

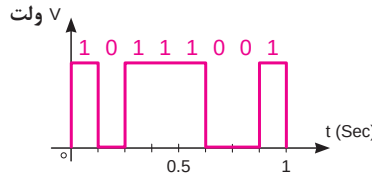
فاصله زمانی بیت Bit Interval: فاصله زمانی بیت، زمان لازم برای ارسال یک بیت است.

شکل صفحهٔ بعد یک نمونه سیگنال دیجیتالی و فاصله زمانی یک بیت را نشان می‌دهد.



فاصله زمانی یک بیت

نرخ بیت Bit Rate: سرعت انتشار بیت‌ها را نرخ بیت می‌نامند. نرخ بیت برحسب بیت در ثانیه Bit Per Second (BPS) می‌باشد.
در شکل زیر یک سیگنال دیجیتالی با BPS برابر ۸ رسم شده است.



یک نمونه سیگنال دیجیتال با BPS برابر ۸

شکل بالا نشان می‌دهد در یک ثانیه ۸بیت وجود دارد:

مثال
نرخ بیت یک سیگنال دیجیتالی برابر ۲۰۰۰BPS است. فاصله زمانی هر بیت چقدر است؟
پاسخ:

$$\text{فاصله زمانی بیت} = \frac{۱}{\text{نرخ بیت}} = \frac{۱}{۲۰۰۰} = ۰/۰۰۰۵\text{sec} = ۵ \times ۱۰^{-۴}\ \text{sec}$$

فاصلهٔ زمانی بیت =۵۰۰ µsec

مثال
فاصله زمانی هر بیت یک سیگنال دیجیتالی ۱۰ میکروثانیه است نرخ بیت چه قدر است؟

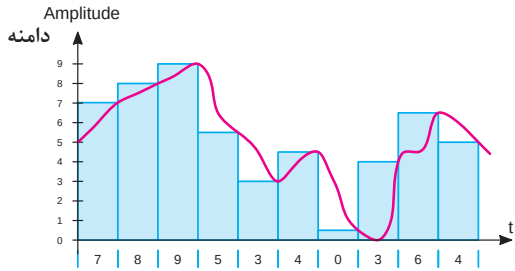
$$\text{نرخ بیت} = \frac{۱}{\text{فاصله زمانی بیت}} = \frac{۱}{۱۰\times۱۰^{-۶}} = ۱۰^{۵}$$

نرخ بیت =۱۰۰,۰۰۰ BPS

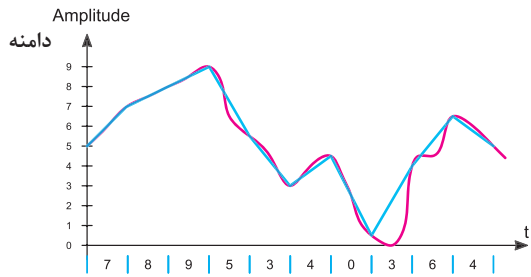
فرکانس نمونه‌برداری Sampling Frequency

(نرخ نمونه‌برداری ـ Sampling Rate): سرعت نمونه‌برداری عبارت از تعداد نمونه‌هایی است که در یک ثانیه از پیام برداشته می‌شود. هر قدر تعداد نمونه‌ها در ثانیه بیشتر شود، هنگام تبدیل و بازسازی نمونه‌ها (سیگنال منفصل یا PAM) به سیگنال آنالوگ با تغییر شکل موج کمتری روبه رو می‌شویم. در صورتی که بخواهیم میزان تغییر شکل موج پیام بازسازی شده را به صفر برسانیم باید تعداد نمونه‌هایی را که از پیام بر می‌داریم، بی‌نهایت باشد، که در عمل امکان‌پذیر نیست.

بنابراین ما تعداد نمونه‌های قابل قبول سیگنال پیام را به‌طور تقریبی بازسازی می‌کنیم. یادآور می‌شود که تعداد نمونه‌ها باید در حدی باشد که تغییر شکل اساسی اعوجاج (Distortion) در سیگنال بازسازی شده ایجاد نشود، در شکل زیر الف نمونه‌برداری از یک نمونه پیام را ملاحظه می‌کنید. در این نمونه‌برداری تعداد پالس‌های حامل کم است و طبق شکل زیر ب تغییر اساسی در شکل موج پیام ایجاد شده است.

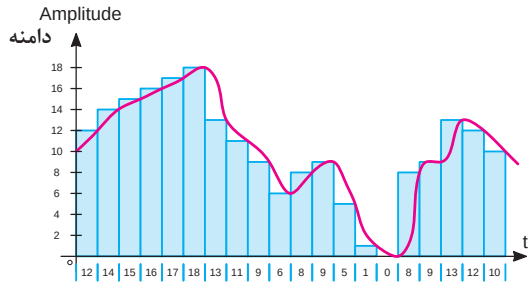


الف) نمونه‌برداری از سیگنال آنالوگ



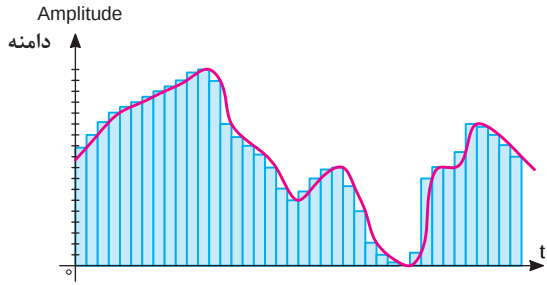
ب) موج بازسازی شده

در شکل زیر تعداد نمونه‌ها (فرکانس حامل) بیشترشده است. در این حالت، شکل موج بازسازی شده دارای تغییر شکل کمتری در مقایسه با شکل زیر است.



سرعت و دقت نمونه‌برداری دو برابر شده

در شکل زیر، فرکانس حامل (تعداد نمونه‌ها = فرکانس) بسیار زیاد شده است (۴برابر) در این حالت سیگنال بازسازی شده شباهت نسبتاً کاملی با پیام اصلی دارد.



سرعت و نمونه‌برداری چهار برابر شده

همان‌طور که مشاهده می‌شود هرقدر سرعت و دقت نمونه‌برداری افزایش یابد سیگنال تبدیل‌شده از دیجیتال به آنالوگ، به سیگنال اصلی آنالوگ شبیه‌تر می‌شود:

اثبات شده است به‌منظور صحت تولید مجدد سیگنال فرکانس نمونه‌برداری باید حداقل، PAM آنالوگ با استفاده از دو برابر بالاترین فرکانس سیگنال آنالوگ باشد.

مثلاً اگر بخواهیم صدای تلفنی را با حداکثر فرکانس ۴۰۰۰HZ نمونه‌برداری کنیم باید فرکانس نمونه‌برداری ۸۰۰۰نمونه در ثانیه باشد. به عبارت دیگر در هر $\frac{۱}{۸۰۰۰}$ ثانیه باید یک نمونه سیگنال برداشته شود.

مثال

اگر سیگنالی دارای فرکانس ۱۰۰۰ هرتز، تا ۱۱۰۰۰ هرتز باشد نرخ نمونه‌برداری چه قدر است؟

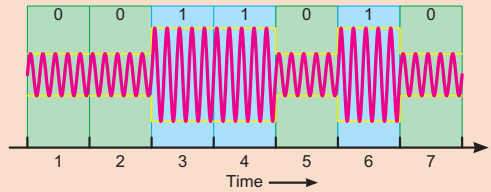
پاسخ:
نرخ نمونه‌برداری برابر دو برابر بالاترین فرکانس موج در سیگنال است.
۲×۱۱۰۰۰=۲۲۰۰۰= نرخ نمونه برداری
لذا ۲۲۰۰۰نمونه در ثانیه لازم است.

تعداد بیت در هر نمونه:
بعد از تعیین نرخ نمونه‌برداری باید تعداد بیت ارسالی را به ازای هر نمونه تعیین کنیم این کار بستگی به‌سطح دقت موردنیاز دارد. تعداد بیت طوری انتخاب می‌شود تا دامنه سیگنال اصلی با دقت مطلوب مجدداً بازسازی شود. مثلاً هر نمونه تلفنی را باید برابر ۸بیت کوآنتیزه کرد.
محاسبه نرخ بیت (Bit rate): بعد از پیدا کردن تعداد بیت‌ها در هر نمونه می‌توان نرخ بیت را با استفاده از فرمول زیر محاسبه کرد.
تعداد بیت در هر نمونه × نرخ نمونه‌برداری = نرخ بیت

مثال
اگر صدای انسان دارای فرکانس ۳۰هرتز تا ۴۰۰۰هرتز باشد نرخ نمونه‌برداری و نرخ بیت را محاسبه کنید. برای هر نمونه هشت بیت در نظر بگیرید.
نمونه در ثانیه ۸۰۰۰ = ۲×۴۰۰۰ نرخ نمونه برداری
۸× ۸۰۰ = تعداد بیت درهر نمونه× نرخ نمونه برداری=نرخ بیت
۶۴۰۰۰ bit/Sec = ۶۴ kbPS

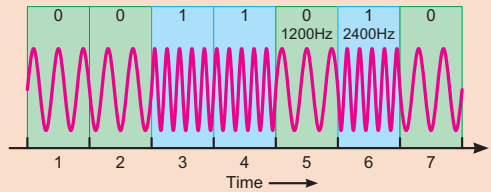
تحقیق کنید

در مورد انواع مدولاسیون‌ها تحقیق کنید:
پاسخ:
مدولاسیون‌های دیجیتال: برای ارسال علائم صفر و یک منطقی (PCM) بهتر است به منظور کاهش پهنای باند از سیگنال سینوسی استفاده کنیم. در ادامه به شرح این نوع مدولاسیون‌ها ASK ، PSK و FSK می‌پردازیم. سیگنال مورد استفاده در این نوع مدولاسیون‌ها را سیگنال حامل اولیه می‌نامند.
مدولاسیون ASK (Amplitude Shift Keying): در مدولاسیون ASK برای نمایش ۰ یا ۱ باینری دامنه سیگنال حامل تغییر می‌کند و فرکانس و فاز حامل ثابت می‌ماند. مقدار دامنه کاریر در مقادیر صفر و یک باینری به عهده طراحان سیستم است:
شکل یک نمونه سیگنال مدوله‌شده ASK را نشان می‌دهد. ASK بسیار نویزپذیر است زیرا نویز می‌تواند روی دامنه قرار گیرد و ۰ را به ۱ و ۱ را به ۰ تبدیل کند.



یک نمونه سیگنال مدوله شده ASK

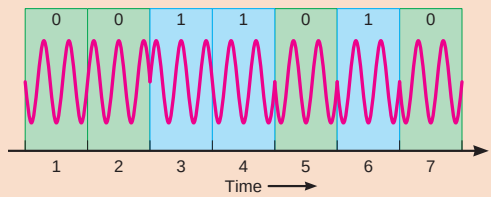
مدولاسیون FSK (Frequency Shift Keying): در مدولاسیون FSK برای نمایش ۰ یا ۱ باینری، فرکانس سیگنال حامل تغییر داده می‌شود و دامنه و فاز حامل ثابت باقی می‌ماند. فرکانس حامل در فاصله زمانی هر بیت مقدار ثابتی است. شکل زیر مدولاسیون FSK را نشان می‌دهد. FSK نسبت به نویز مقاوم‌تر از ASK است.



مدولاسیون FSK

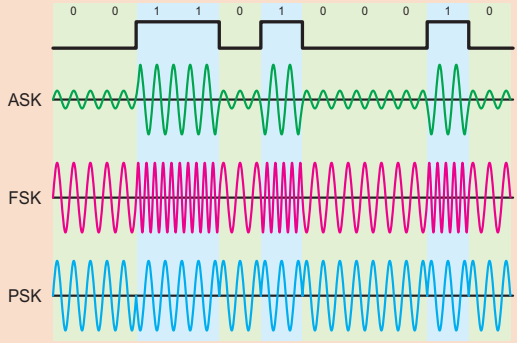
مدولاسیون PSK (Phase Shift Keying): در مدولاسیون PSK فاز تغییر می‌دهند (۰) و (۱) سیگنال سینوسی را برای نمایش باینری در این حالت دامنه و فرکانس حامل ثابت است. به عنوان مثال اگر برای نمایش عدد باینری (۱) سیگنال حامل با فاز صفردرجه شروع شود، می‌توان فاز سیگنال حامل را ۱۸۰ درجه تغییر داد تا عدد باینری (۰) را ارسال نمود. فاز سیگنال حامل در طول هربیت باینری ثابت است.
در شکل زیر مدولاسیون PSK برای یک نمونه سیگنال دیجیتالی رسم شده است.

بیت	اختلاف فاز
۱	۰°
۰	۱۸۰°



مدولاسیون PSK

در شکل زیر یک نمونه سیگنال دیجیتالی و سه نوع مدولاسیون ASK، FSK و PSK حاصل از آن را مشاهده می‌کنید.



یک نمونه سیگنال دیجیتالی و سه نوع مدولاسیون ASK، FSK، PSK

مفهوم A/D و D/A: مجموعه عملیات نمونه‌برداری، تبدیل سیگنال آنالوگ به PAM و PAM به PCM را تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال می‌نامند. این تبدیل در مدارهایی به نام مبدل آنالوگ به دیجیتال یا Analog to digital Convertor یا ADC انجام می‌شود. این مدارها را مدار A/D (اِ تو دی) می‌نامند. برای تبدیل سیگنال PCM به سیگنال پیام آنالوگ، باید عملیات برعکس اتفاق بیفتد، مدارهایی که این عملیات را انجام می‌دهند، مدارهای مبدل دیجیتال به آنالوگ Digital to Analog Convertor نام دارد که آن را به اختصار به‌صورت D/A (دی تو اِ) نشان می‌دهند.

انواع دیگر مدولاسیون پالس: مدولاسیون‌های منفصل دیگری نیز وجود دارند. اگر بخواهیم این نوع مدولاسیون‌ها را با مدولاسیون آنالوگ (AM، FM و PM) مقایسه کنیم، از نظر شباهت عملکرد، می‌توانیم مدولاسیون PAM را با مدولاسیون AM مقایسه کنیم، چنانچه پهنای پالس‌های حامل متناسب با دامنه پیام تغییر کند، مدولاسیون پهنای پالس یا PWM (Pulse width Modulation) شکل می‌گیرد. این نوع مدولاسیون را PDM (Pulse Duration Modulation) نیز می‌نامند. از نظر شباهت عملکرد می‌توان PWM را با مدولاسیون FM مقایسه کرد. چنانچه موقعیت مکانی پالس حامل متناسب با دامنه پیام تغییر کند، مدولاسیون PPM ((Pulse Position Modulation شکل می‌گیرد. این نوع مدولاسیون را از نظر عملکرد می‌توان با مدولاسیون فاز (PM) مقایسه کرد.

دانش‌افزایی

نوسان‌سازها

نوسان‌سازها مدارهای ویژه‌ای هستند که کاربرد نسبتاً گسترده‌ای در مدارات مخابراتی دارند. بدون نوسان‌سازها ارسال و دریافت پیام‌های رادیویی امکان‌پذیر نیست. نوسان‌سازها یا مولدهای شکل موج در دستگاه‌های نظیر مولتی مترهای دیجیتالی اسیلوسکوپ و گیرنده و فرستنده‌های رادیویی و رایانه‌ها و وسایل دیجیتالی نظیر شمارنده‌ها و تایمرها و ماشین حساب‌ها و دستگاه‌های دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند لذا می‌توان گفت نوسان‌ساز یکی از دستگاه‌های الکترونیکی است.

اصول نوسان‌سازی: نوسان‌ساز چیست؟ نوسان‌ساز مداری است که بدون اعمال سیگنال متناوب به ورودی آن در خروجی سیگنال متناوب تولید کند.
نقشه بلوکی(بلوک دیاگرام) زیر نوسان‌ساز سینوسی را نشان می‌دهد:

نقشه بلوکی یک نوسان‌ساز سینوسی

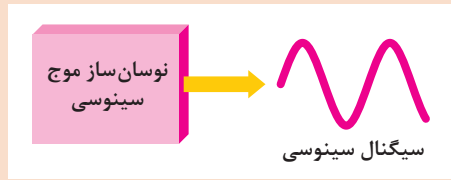
همان‌طور که مشاهده می‌شود به مدار الکترونیکی نوسان‌ساز ولتاژ DC داده شده است و مدار ولتاژ DC را به ولتاژ متناوب سینوسی تبدیل نموده است.
به نوسان‌ساز اسیلاتور(oscillator)نیز می‌گویند.

کار در کلاس

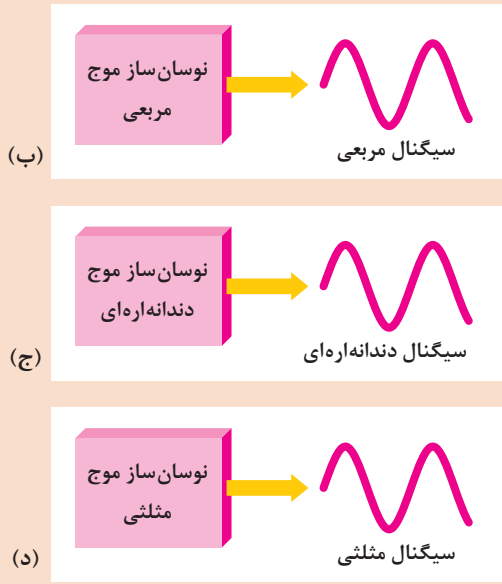
انواع نوسان‌ساز از نظر شکل موج تولیدی به چند دسته تقسیم می‌شوند.

پاسخ:

نوسان‌سازها می‌توانند انواع شکل موج را به‌وجود آورند.در شکل زیر چهار نمونه نوسان‌ساز به‌صورت بلوک دیاگرام با توجه به شکل موج آن ترسیم شده است.این نوسان‌سازها شامل نوسان‌ساز موج سینوسی، نوسان‌ساز موج مربعی، نوسان‌ساز موج دندان اره‌ای و نوسان‌ساز موج مثلثی است.



(الف)

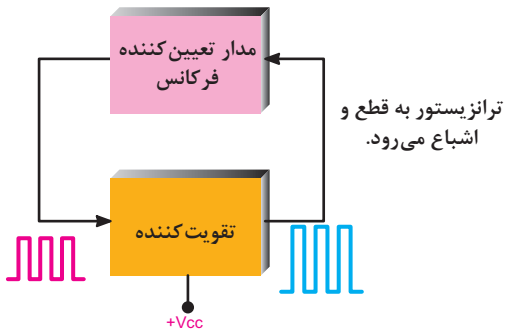


انواع نوسان‌سازها با توجه به شکل موج تولیدی

دانش‌افزایی

تولید نوسان مربعی

اگر شرایط مدار طوری تنظیم شود که تقویت‌کننده مدار به قطع و اشباع برود سیگنال مربعی تولید می‌شود (شکل زیر) این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که مدار رزونانس LC در مدار وجود نداشته باشد.

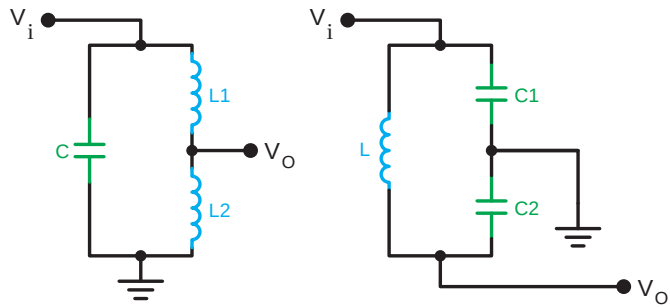


ترانزیستور به قطع و اشباع می‌رود و نوسان‌ها تداوم می‌یابد.

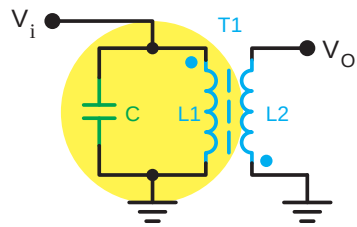
انواع نوسان‌سازهای سینوسی

در زمان‌های قدیم از لامپ‌های خلأ به‌عنوان تقویت‌کننده در نوسان‌سازها استفاده می‌کردند. امروزه استفاده از ترانزیستورهای BJT و FET تقویت‌کننده‌های عملیاتی مدارهای منطقی و سایر ای سی‌ها در مدارهای نوسان‌ساز بسیار متداول است. مدارهای نوسان‌ساز را از نظر نوع مدار تعیین کننده فرکانس و نحوه انجام فیدبک تقسیم‌بندی می‌کنند.

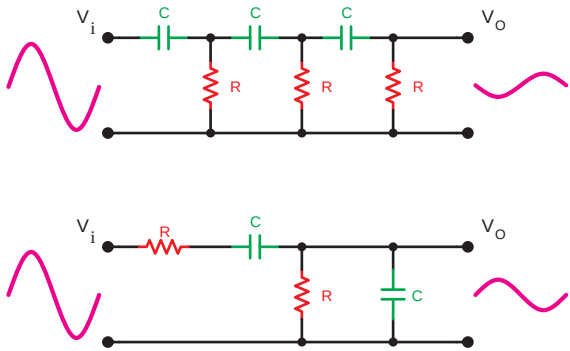
انواع نوسان‌سازها از نظر مدار تعیین کننده فرکانس: نوسان‌سازها را از نظر نوع مدار تعیین‌کننده فرکانس به دو دسته RC و LC تقسیم می‌کنند. در مدارهای LC مدار تعیین‌کننده فرکانس یک مدار هماهنگی موازی LC است. این مدار انرژی را در خود ذخیره می‌کند لذا مدار تانک نامیده می‌شود. در مدارهای RC مدار تعیین‌کننده فرکانس یک مدار ترکیبی RC است. به‌علت کاربرد مدارهای نوسان‌ساز LC در فرستنده‌ها و گیرنده‌های رادیویی در این فصل به تشریح نوسان‌ساز با شبکه تولید فرکانس LC می‌پردازیم و سپس یک یا چند مدار نوسان‌ساز RC را تشریح می‌نماییم.شکل‌های زیرانواع شبکه‌های تعیین فرکانس LC و RC را نشان می‌دهند.



چند نمونه مدار تعیین کننده فرکانس LC



مدار تعیین فرکانس LC

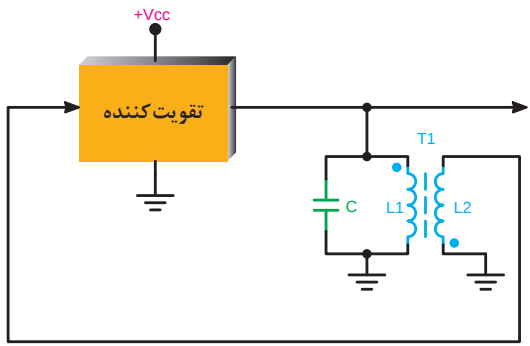


چند نمونه مدار تعیین فرکانس RC

انواع نوسان‌سازهای LC از نظر شبکه فیدبک

نوسان‌سازها را با توجه به مدار فیدبک به سه دسته به شرح زیر تقسیم می‌کنند:

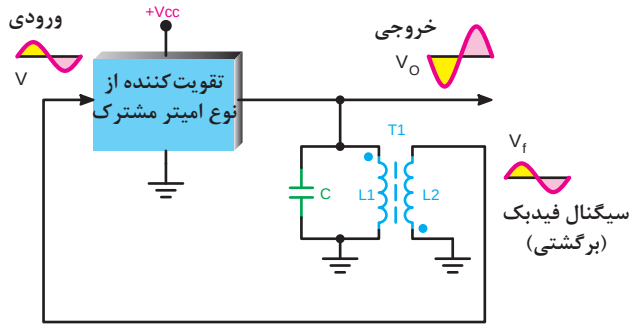
نوسان‌ساز با شبکه فیدبک ترانسفورماتوری: در این مدار عمل فیدبک از طریق یک ترانس صورت می‌گیرد.این نوع مدارها را مدار آرمسترانگ می‌نامند. در شکل زیر مدار کلی نوسان‌ساز آرمسترانگ را که شبکه فیدبک آن ترسیم شده است مشاهده می‌کنید. اگر در تقویت‌کننده بین سیگنال ورودی و خروجی ۱۸۰ درجه اختلاف فاز ایجاد شود مدار تعیین فرکانس نیز باید بین سیگنال ورودی و خروجی خود ۱۸۰درجه اختلاف فاز ایجاد نماید تا فیدبک از نوع مثبت شود.



مدار کلی نوسان‌ساز آرمسترانگ

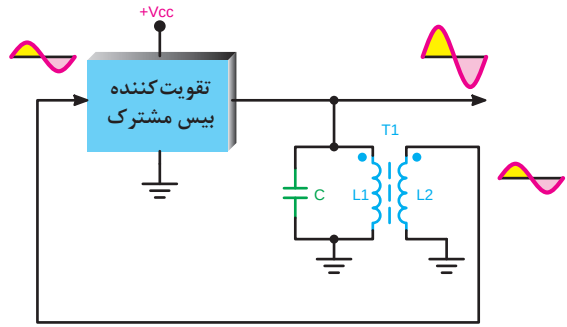
در ترانسفورماتورها محل‌های نقطه گذاری شده(.)نشانه هم فاز بودن سیگنال‌ها است.همان‌طور که مشاهده می‌شود شبکه برگشتی به سیگنال ورودی خود ۱۸۰درجه اختلاف فاز می‌دهد تا نوع فیدبک مثبت شود.اگر بهره ولتاژ تقویت‌کننده An باشد ترانسفورماتور که کاهنده است دامنه سیگنال ورودی را کاهش می‌دهد.

به این ترتیب اصل بارک‌هازون ($A_V \times B_V = 1$) برقرار می‌شود و مدار نوسان پایدار ایجاد می‌نماید.



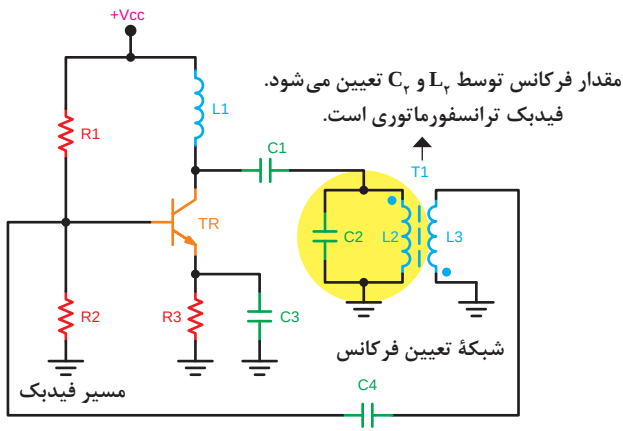
اختلاف فاز بین ورودی و خروجی ۱۸۰درجه است.

اگر تقویت‌کننده از نوع بیس مشترک باشد چون بین ولتاژ ورودی و خروجی تقویت‌کننده اختلاف فازی وجود ندارد شبکه برگشتی نباید بین سیگنال ورودی و خروجی خود اختلاف فاز ایجاد نماید.شکل زیرشبکه برگشتی را برای تقویت‌کننده بیس مشترک نشان می‌دهد.



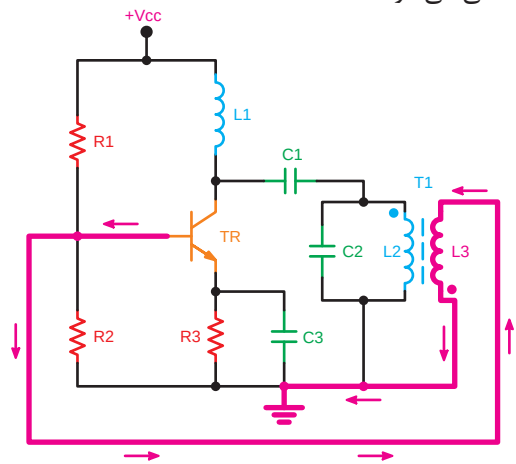
شبکه برگشتی برای تقویت‌کننده بیس مشترک

در شکل زیر یک نمونه مدار آرمسترانگ ترسیم شده است. مدار تقویت‌کننده در این نوسان‌ساز از نوع امیتر مشترک است. مقاومت‌های R_1 , R_2 بایاسینگ DC مدار را تأمین می‌کنند. مقاومت R_3 مقاومت تثبیت حرارتی است. خازن C_3 مقاومت امیتر را از نظر AC به شاسی بای پاس می‌کند.



مدار نوسان‌ساز آرمسترانگ

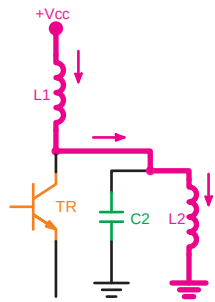
خازن C_4 به‌منظور کوپلاژ سیگنال خروجی از بوبین L_3 به بیس ترانزیستور به‌کار رفته است. ضمن اینکه این خازن مانع اتصال کوتاه شدن DC بیس ترانزیستور از طریق L_3 به شاسی می‌شود.



اتصال کوتاه شدن بیس به زمین در اثر نبودن خازن C_4

بار کلکتور ترانزیستور شامل سیم L_1 مجموعه مدار تانک (تشدید) موازی C_2 و L_2 است. سیم‌پیچ L_1 را سیم‌پیچ RFC نیز می‌نامند. این سیم‌پیچ در فرکانس‌های کار مدار مانع ورود سیگنال AC به خط تغذیه می‌شود.

اگر خازن کوپلاژ C_1 در مدار نباشد کلکتور از طریق مسیر مشخص شده در شکل زیر به زمین اتصال کوتاه می‌شود و عملاً قطب مثبت منبع تغذیه را به قطب منفی آن از طریق سیم‌پیچ متصل می‌کند.



اتصال کوتاه شدن کلکتور در اثر نبود خازن C1

سیم‌پیچ L_3 که به با سیم‌پیچ L_2 به‌صورت ترانسفورماتور بسته شده است شبکه فیدبک را تشکیل می‌دهد. یک سر این سیم‌پیچ به شاسی متصل است و سر دیگر آن از طریق خازن C_4 به ورودی تقویت‌کننده (بیس مشترک) بر می‌گردد. به‌عبارت دیگر سیگنال دو سر این سیم‌پیچ به ورودی تقویت‌کننده اعمال می‌شود. از طرف دیگر سیم‌پیچ L_2 و خازن C_2 بار خروجی مدار را تشکیل می‌دهند. بنابراین قسمتی از سیگنال خروجی به ورودی برگشت داده می‌شود. در صورتی‌که اصل بارک‌هازون برقرار باشد نوسان‌های مدار تداوم خواهد یافت.این نوع سیم‌پیچ فیدبک را گاهی تیکلر کویل (سیم‌پیچ تحریک) نیز می‌نامند.

نحوه نوسان‌سازی در اسیلاتور آرمسترانگ: با زدن کلید واعمال ولتاژ DC به منبع تغذیه مدار ولتاژ بیس ترانزیستور شروع به رشد می‌کند. این رشد ولتاژ پس از تقویت با ۱۸۰درجه اختلاف فاز روی کلکتور ظاهر می‌شود و از طریق خازن کوپلاژ C_1 به مدار L_2C_2 تانک می‌رسد. درست مانند این است که مدار تانک توسط پالسDC تحریک شده باشد.توسط مدار تانک یکی از هارمونیک‌های تشکیل‌دهنده پالس که فرکانس آن برابر فرکانس رزونانس مدار تانک است انتخاب می‌شود و به صورت میرا شروع به نوسان می‌کند. نوسان‌های میراشونده از طریق کوپلاژ ترانسفورماتوری با اختلاف فاز۱۸۰درجه در سیم‌پیچ L_3 القا می‌شود و از طریق خازن کوپلاژ C_4 به بیس ترانزیستور می‌رسد. چون در مجموع ۳۶۰ درجه اختلاف فاز به‌وجود می‌آید (۱۸۰درجه در اثر مدار امیتر مشترک و ۱۸۰ درجه در اثر ترانس T_1) فیدبک مثبت است. درصورتی‌که اصل بارک هازون برقرار باشد نوسان‌های مدار تداوم می‌یابد.

مقدار فرکانس رزونانس مدار با تقریب قابل قبول از رابطه زیربه دست می‌آید.

فرکانس نوسان اسیلاتور برحسب هرتز= Fr

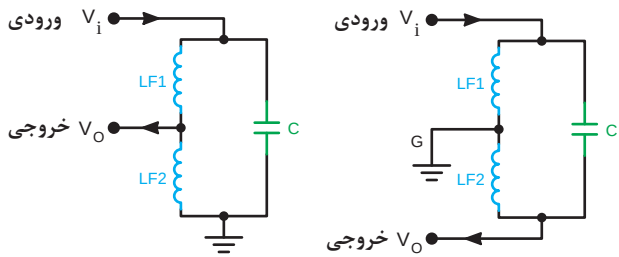
ضریب خود القا برحسب‌هانری = $L_۲$

مقدار ظرفیت خازن برحسب فاراد = $C_۲$

$$Fr = \frac{۱}{۲\pi\sqrt{L_۲C_۲}}$$

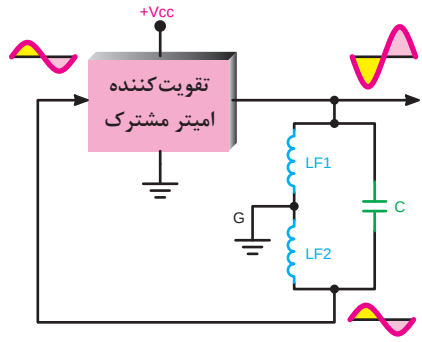
نوسان‌ساز با شبکه فیدبک از طریق تقسیم ولتاژ سلفی: درصورتی‌که ولتاژ فیدبک از طریق تقسیم ولتاژ روی سلف صورت گیرد نوسان‌ساز را هارتلی می‌نامند. این نوسان‌ساز در فرکانس‌های بالا بهتر عمل می‌کند. در شکل‌ها دو نمونه شبکه فیدبک مدار نوسان‌ساز هارتلی ترسیم شده است.

اگر تقویت‌کننده در مدار نوسان‌ساز دارای آرایش امیتر مشترک باشد بین سیگنال ورودی و خروجی آن ۱۸۰درجه اختلاف فاز وجود دارد.



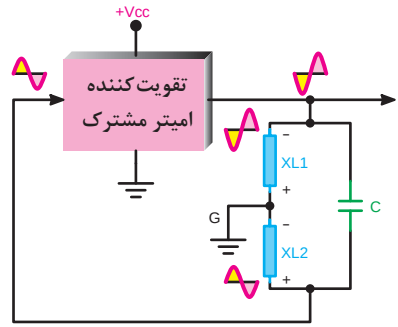
دو نمونه مدار تعیین فرکانس در نوسان‌ساز هارتلی

تقویت‌کننده را به‌صورت بلوکی و شبکه برگشتی نوسان‌ساز هارتلی را نشان می‌دهد. لازم است شبکه برگشتی نیز به سیگنال خروجی تقویت‌کننده ۱۸۰درجه اختلاف فاز بدهد تا نوع فیدبک را مثبت کند و تضعیف لازم را ایجاد نماید در نهایت برای پایداری نوسان باید اصل بارک‌هازون برقرار شود.



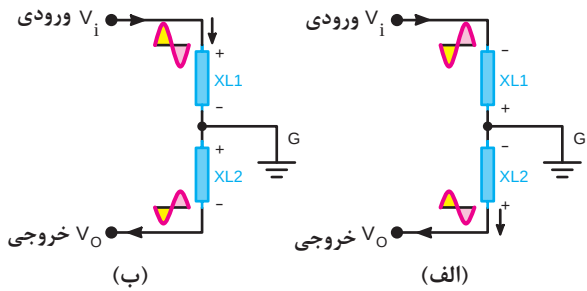
تقویت‌کننده و شبکه برگشتی در نوسان هارتلی

این دو شرط توسط LF_1 و LF_2 صورت می‌گیرد. چنانچه در فرکانس کار دو سیم‌پیچ معادل XL_1 و XL_2 در نظر بگیریم سیگنال ورودی شبکه برگشتی نسبت به زمین سیگنال دو سر XL_1 و سیگنال خروجی نسبت به زمین سیگنال دو سر XL_2 است که این دو سیگنال در فاز مخالف هم قرار دارند.



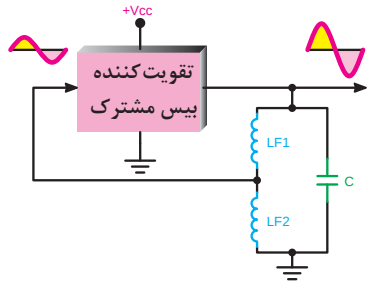
شبکه فیدبک در مدار امیتر مشترک

درصورتی‌که سیگنال‌های ورودی و خروجی شبکه فیدبک مدار امیتر مشترک شکل زیر در دو حالت ورودی و خروجی به‌طور جداگانه بررسی کنید و شکل‌های زیر الف و ب به‌وجود می‌آید. این شکل‌ها سیگنال‌های ورودی و خروجی دو سر سیم‌پیچ LF_1 و LF_2 را در دو نیم سیکل منفی و مثبت نشان می‌دهد که نسبت به نقطه G در فاز مخالف هم قرار دارند. سیگنال دوسر XL_2 که تضعیف شده سیگنال خروجی است و به ورودی تقویت‌کننده برگشت داده می‌شود.



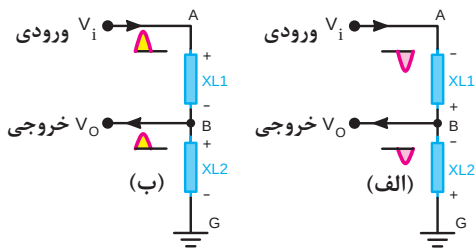
سیگنال‌های ورودی و خروجی برای دو حالت مدار امیتر مشترک

اگر تقویت‌کننده دارای آرایش بیس مشترک باشد در این‌صورت بین سیگنال ورودی و خروجی آن اختلاف فازی وجود ندارد در اینصورت شبکه برگشتی هم نباید اختلاف فازی بین سیگنال ورودی و خروجی ایجاد نماید. شکل تقویت‌کننده را به‌صورت بلوکی و مدار تعیین فرکانس را برای آرایش بیس مشترک نشان می‌دهد.



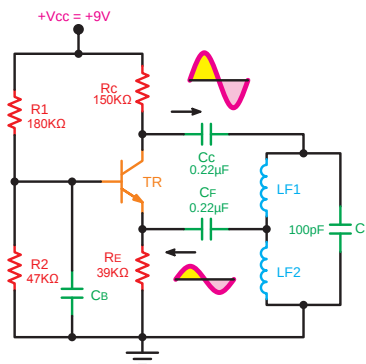
تقویت‌کننده بیس مشترک و شبکه برگشتی

درصورتی‌که سیگنال‌های ورودی و خروجی شبکه فیدبک مدار بیس مشترک را در دو حالت ورودی و خروجی به‌طور جداگانه بررسی کنیم شکل الف و ب به وجود می‌آید. در این شکل‌ها LF_1 و LF_2 در فرکانس کار معادل راکتانس XL_1 و XL_2 در نظر گرفته شده‌اند. مشاهده می‌شود همواره پتانسیل A نسبت به G با پتانسیل B نسبت به G هم فاز است.



شکل پتانسیل نقاط A و B نسبت به G برای دو حالت مدار بیس مشترک

در شکل مقابل یک نوسان‌ساز هارتلی ترسیم شده است. مدار تعیین کننده فرکانس در نوسان‌ساز هارتلی پیچیدگی خاصی دارد. در شکل سیم‌پیچ‌های LF_1 و LF_2 دارای تأثیر متقابل روی یکدیگر هستند چرا که روی یک هسته پیچیده شده‌اند.



شکل مدار نوسان‌ساز هارتلی

تشریح عملکرد مدار: مدار تقویت‌کننده این نوسان‌ساز به‌صورت بیس مشترک بسته شده است. خازن‌های C_C و $C_{F۲}$های کوپلاژند که مانع تداخل ولتاژ DC بین ورودی و خروجی می‌شوند. قسمتی از سیگنال خروجی توسط شبکه تقسیم ولتاژ $LF_۱$ و $LF_۲$ انتخاب و به ورودی اعمال می‌شود. در این مدار یک سر پیچ $LF_۲$ دقیقاً به شاسی متصل شده است و سر دیگر آن به ورودی بر می‌گردد. یک سرسیم‌پیچ $LF_۱$ نیز با $LF_۲$ مشترک می‌شود و سر دیگر آن از طریق خازن کوپلاژ C_C به خروجی وصل می‌شود. بدین ترتیب قسمتی از سیگنال خروجی به ورودی فیدبک می‌شود.چون مدار به صورت بیس مشترک است از این رو اختلاف فازی بین ورودی و خروجی به وجود نمی‌آید و دریافت سیگنال به‌طور مستقیم از مدار تانک موجب فیدبک مثبت می‌شود و مدار به نوسان در می‌آید. خازن C_B پایه بیس را از نظر AC به زمین وصل می‌کند.

فرکانس تولید شده توسط نوسان‌ساز از رابطه $Fr = \frac{۱}{۲\pi\sqrt{LeqC}}$ به‌دست می‌آید.

L_{eq} سیم‌پیچ معادل مدار است.

ضریب خود القایی = L_{eq}

ضریب القای متقابل = L_{in}

ضریب خود القای هر سیم‌پیچ بر حسب‌هانری است. $LF_۱$ و $LF_۲$

مقدار L_{in} از رابطه زیر محاسبه است.

$$L_{in} = K\sqrt{LF_۱LF_۲}$$

ضریب القای متقابل برحسب هانری = L_{in}

ضریب کوپلاژ بین دو سیم‌پیچ = K

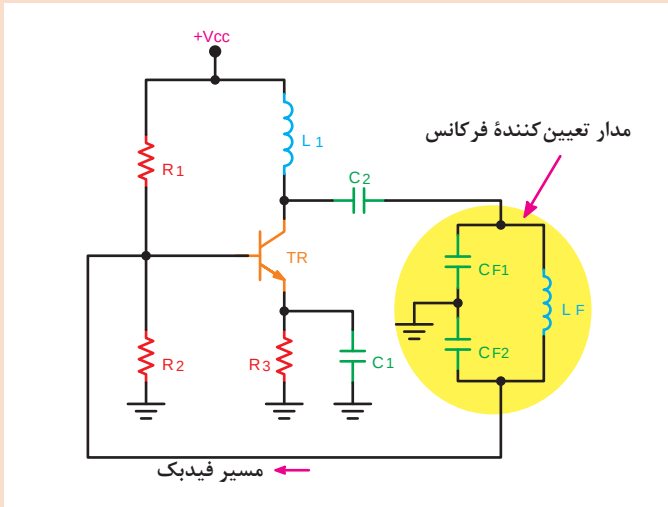
$$K = \frac{\varphi ۲}{\varphi ۱}$$

فعالیت کارگاهی

آزمایش نوسان‌ساز کول پیتس

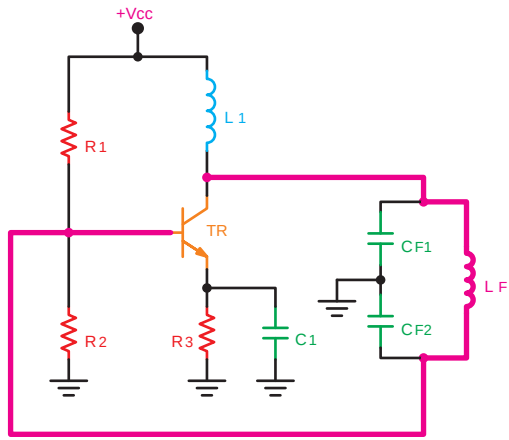
پاسخ:

نوسان‌ساز با فیدبک از طریق تقسیم ولتاژ خازنی: در صورتی که فیدبک مدار از طریق تقسیم ولتاژ توسط خازن صورت گیرد مدار و نوسان‌ساز را کول پیتس می‌نامند. در شکل یک نمونه مدار نوسان‌ساز کول پیتس ترسیم شده است. مدار تقویت‌کننده این نوسان‌ساز از نوع امیتر مشترک است و مشابه مدار آرمسترانگ و هارتلی است. مدار تعیین‌کننده فرکانس مجموعه خازن‌های $C_{F۲}$، $C_{F۱}$ و سیم‌پیچ L_F ست. محل اتصال $C_{F۲}$، $C_{F۱}$ به شاسی متصل شده است تا اختلاف به‌وجود آمده از مدار امیتر مشترک را جبران کند. قسمتی از سیگنال خروجی که در دو سر $C_{F۲}$، قراردارد به ورودی برگشت داده شده است و یک سر خازن $C_{F۲}$، به ورودی اتصال دارد.



مدار نوسان‌ساز کول پیتس

خازن کوپلاژ C_2 مانع عبور DC می‌شود اگر خازن C_2 در مدار وجود نداشته باشد کلکتور ترانزیستور از طریق مسیر مشخص شده در شکل به بیس اتصال می‌یابد و مدار تقویت‌کننده از نظر DC به درستی بایاس نمی‌شود.



وجود نداشتن خازن کوپلاژ C_2 کلکتور را به بیس اتصال می‌دهد.

فرکانس نوسان‌ساز کول‌پیتس: مقدار فرکانس نوسان‌ساز از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$Fr = \frac{۱}{۲\pi\sqrt{L_F Ceq}}$$

$$\frac{۱}{Ceq} = \frac{۱}{C_{F۱}} + \frac{۱}{C_{F۲}} \Rightarrow Ceq = \frac{C_{F۱}C_{F۲}}{C_{F۱} + C_{F۲}}$$

Fr = فرکانس نوسان‌ساز بر حسب هرتز

L_F = مقدار اندوکتانس بر حسب‌هانری

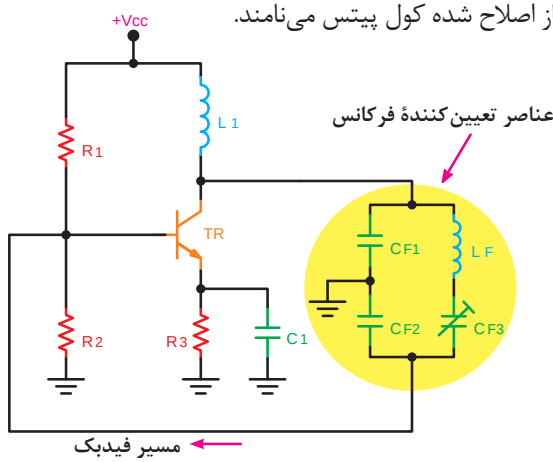
ceq = مقدار ظرفیت معادل برحسب فاراد

$$Ceq = \frac{C_{F۱}C_{F۲}}{C_{F۱} + C_{F۲}}$$

$$Fr = \frac{۱}{۲\pi\sqrt{L_F Ceq}}$$

دانش‌افزایی

نوسان‌ساز کلاپ: با تغییر کوچکی در نوسان‌ساز کول پیتس نوسان‌ساز جدیدی به‌وجود می‌آید که آن را نوسان‌ساز کلاپ می‌نامند. در شکل زیر مدار نوسان‌ساز کلاپ ملاحظه می‌کنید. در این مدار خازن $C_{F۳}$ به‌صورت سری با L_F قرار دارد. این خازن دارای ظرفیت کم است و با سلف L_F به‌صورت سری قرار می‌گیرند. اصطلاحاً این خازن را تریمر می‌نامند. خازن تریمر را با نماد نشان می‌دهند و برای تنظیم فرکانس تولید شده توسط نوسان‌ساز به‌کار می‌رود. به علت وجود خازن $C_{F۳}$ نیازی به خازن کوپلاژ در مسیر کلکتور به شبکه برگشتی (مدار تعیین فرکانس) نیست. این نوع نوسان‌ساز را نوسان‌ساز اصلاح شده کول پیتس می‌نامند.



نوسان‌ساز کلاپ

فرکانس نوسان‌ساز کلاپ: مقدار فرکانس رزونانس این نوسان‌ساز تابع هر سه خازن C_{F1} و C_{F2} و C_{F3} می‌شود. مقدار فرکانس این نوسان‌ساز از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_F Ceq}}$$

Fr = فرکانس رزونانس برحسب هرتز

L_F = ضریب خود القایی مدار تانک بر حسب‌هانری

ceq = ظرفیت خازنی معادل برحسب فاراد

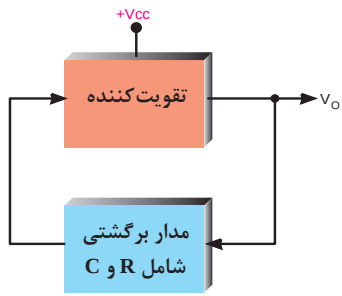
$$Ceq = \frac{C_{F1}C_{F2}}{C_{F1} + C_{F2}}$$

در جدول زیر مشخصات انواع نوسان‌سازهای LC به اختصار آمده است.

جدول مشخصات انواع نوسان‌سازهای LC

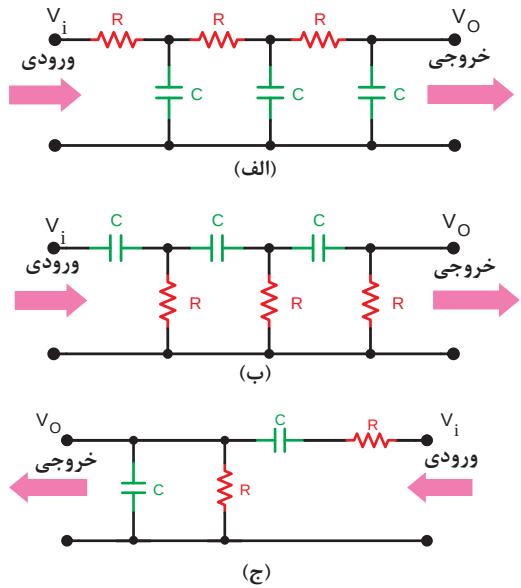
نوسان‌ساز	مشخصهٔ ویژه	مقدار فرکانس
آرمسترانگ Armstrong	فیدبک خروجی به ورودی از طریق ترانسفورماتور صورت می‌گیرد سیم‌پیچ ثانویه را تیکلر کویل نیز می‌نامند.	$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 C_2}}$
هارتلی Hartly	استفاده از تقسیم‌کننده ولتاژ سلفی در مدار فیدبک	$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{eq} C}}$
کول پیتس Colpitts	استفاده از تقسیم‌کننده ولتاژ خازنی در مدار فیدبک	$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_F C_{eq}}}$
کلاپ Clapp	نوع اصلاح شدهٔ نوسان‌ساز کول‌پیتس، اضافه شدن یک خازن به‌صورت سری با سیم‌پیچ مدار تانک	$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_F C_{eq}}}$

نوسان‌ساز RC: در این نوسان‌سازها دو قسمت تقویت‌کننده و مدار برگشتی وجود دارد. مدار برگشتی معمولاً از R و C تشکیل می‌شود.



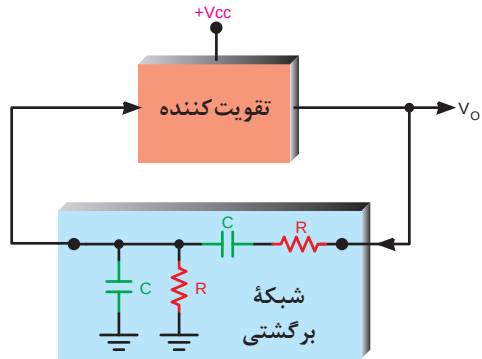
مدار بلوکی نوسان‌ساز RC

مانند سایر نوسان‌سازها لازم است دو شرط اصلی ایجاد نوسان یعنی اصل بارک‌هازون و فیدبک مثبت برقرار شود تا نوسان پایداری را ایجاد کند.
شکل زیر الف و ب و ج آرایش‌های مختلف شبکه RC را نشان می‌دهد.
این نوسان‌سازها برای تولید فرکانس‌های تا حدود ۱۰۰ KHZ مناسب هستند.



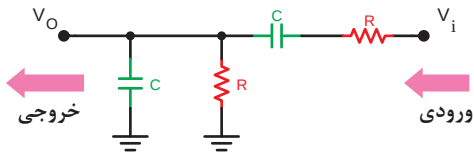
شبکه RC

نوسان‌ساز پل‌وین: نوسان‌ساز پل‌وین یک مولد سیگنال سینوسی با اعوجاج کم است. مدار این نوسان‌ساز از یک تقویت‌کننده و شبکه برگشتی RC تشکیل می‌شود.
شکل نماد بلوکی تقویت‌کننده و شبکه برگشتی نوسان‌ساز را نشان می‌دهد.



نماد بلوکی و شبکه برگشتی نوسان‌ساز پل وین

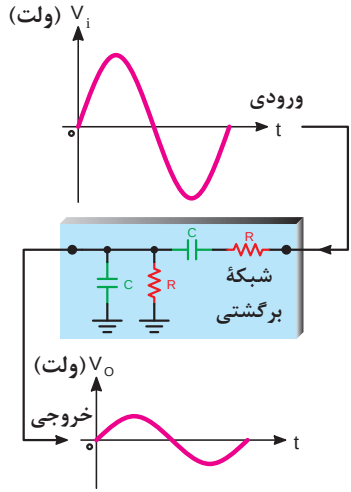
شبکه برگشتی شامل یک مدار R و C سری و یک مدار R و C موازی مطابق شکل زیر است.



شبکه برگشتی نوسان‌ساز

این مدار دامنه سیگنال ورودی خود را در فرکانس خاص نوسان‌ساز به اندازه $\frac{۱}{۳}$ تضعیف می‌کند در این مدار بین سیگنال‌های ورودی و خروجی هیچ اختلاف فازی به وجود نمی‌آید.

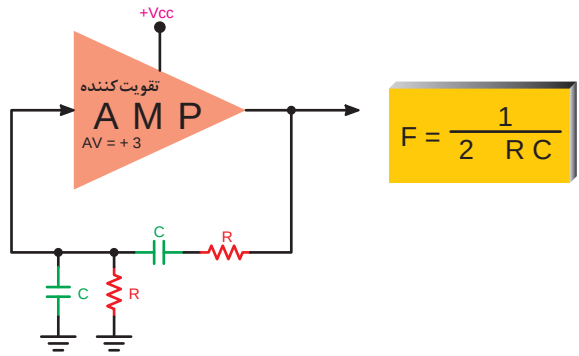
یعنی اگر به‌عنوان مثال دامنه سیگنال ورودی برگشتی ۳ولت باشد سیگنال خروجی دارای دامنه ۱ ولت است و بین سیگنال ورودی و خروجی هیچ اختلاف فازی وجود ندارد. شکل زیر این مطلب را نشان می‌دهد.



موج ورودی و خروجی شبکه RC

برای برقرای اصل بارک‌هازون($A_V.B_V=۱$) باید تقویت‌کننده مدار دارای بهره ولتاژ ۳+ باشد تا مدار نوسان کند.شکل زیرمدار کلی نوسان‌ساز پل وین را نشان می‌دهد.

فرکانس نوسان‌ساز پل وین از رابطه $F=\frac{۱}{۲\pi RC}$ به‌دست می‌آید.



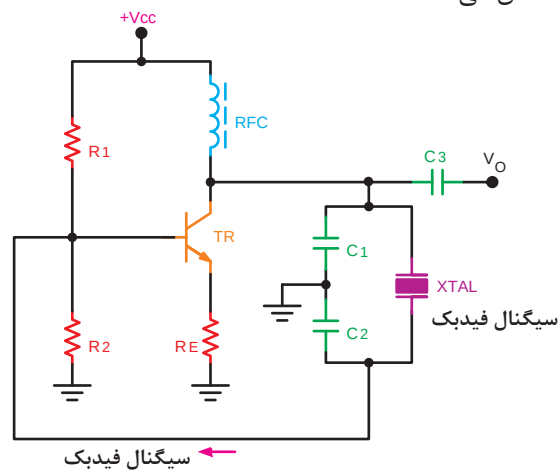
مدار کلی نوسان‌ساز پل وین

نوسان‌ساز کریستالی: عواملی نظیر درجه حرارت تغییرات ولتاژ و سایر کمیت‌ها می‌تواند فرکانس نوسان را در یک نوسان‌ساز تغییر دهد. برای پایداری فرکانس از نوسان‌ساز کریستالی استفاده می‌کنند.

هر قطعه کریستال با توجه به برش و شکل مکانیکی آن می‌تواند در یک فرکانس کاملاً ثابت به ارتعاش در آید.

در نوسان‌ساز کریستالی، کریستال در مدار تعیین فرکانس یا در مسیر فیدبک قرار می‌گیرد و فقط به فرکانس رزونانس خود اجازه عبور می‌دهد.

شکل زیر یک نوسان‌ساز کریستالی را که کریستال در مدار تعیین فرکانس قرار گرفته است نشان می‌دهد.



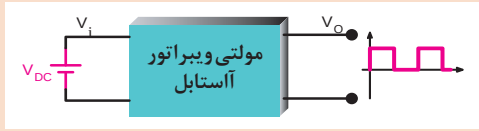
یک نمونه نوسان‌ساز کریستالی

فعالیت کارگاهی

نوسان‌ساز موج مربعی (مولتی‌ویبراتور)

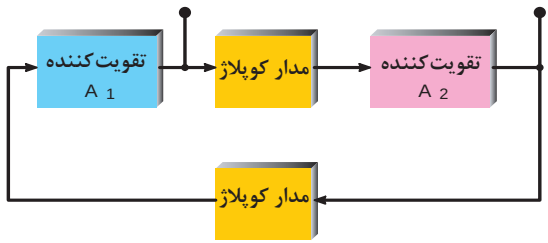
پاسخ:

یکی از اجزای اصلی مدارهایی که با پالس سروکار دارند و عمل کلیدزنی در آنها انجام می‌شود مولتی‌ویبراتور است.مولتی ویبراتورها بسته به نوعشان کارهای مختلفی از قبیل تولید موج مربعی و ایجاد پالس‌هایی با عرض معین و غیره انجام می‌دهند. شکل زیر یک نوع مولتی ویبراتور را به‌صورت بلوکی و شکل موج خروجی آن نشان می‌دهد. به مولتی ویبراتور چند ارتعاشگر نیز می‌گویند. مولتی ویبراتورها انواع مختلفی دارند که یک نوع آن مولتی ویبراتور بی‌ثبات یاآاستابل نام دارد که به تشریح مدار آن می‌پردازیم:



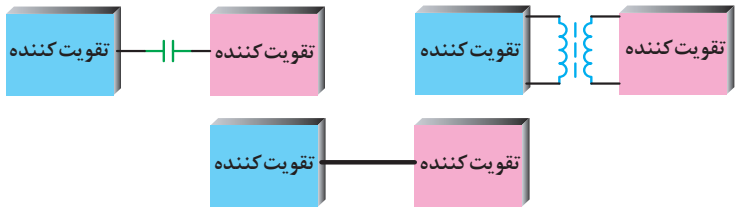
بلوک دیاگرام مولتی ویبراتور آاستابل و موج خروجی آن

بلوک دیاگرام کلی مولتی‌ویبراتورها: در شکل زیر بلوک دیاگرام کلی مولتی‌ویبراتورها ترسیم شده است هر مولتی‌ویبراتور از دو تقویت‌کننده و دو مدار کوپلاژ تشکیل شده است.



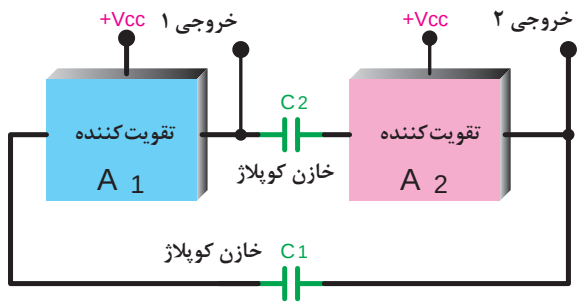
بلوک دیاگرام کلی مولتی ویبراتور

نوع کوپلاژ می‌تواند خازنی و سلفی یا مستقیم باشد. شکل‌های زیر انواع کوپلاژ را بین دو طبقه تقویت‌کننده نشان می‌دهد.



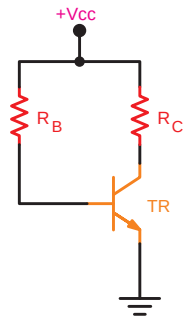
کوپلاژ مستقیم

بلوک دیاگرام مولتی‌ویبراتور آاستابل: در مولتی‌ویبراتور آاستابل معمولاً کوپلاژ دو طبقه تقویت‌کننده از نوع خازنی است. شکل زیر تقویت‌کننده را به‌صورت بلوکی خازن کوپلاژ بین دو طبقه تقویت‌کننده را نشان می‌دهد. سیگنال خروجی هر تقویت‌کننده به وسیلهٔ خازن کوپلاژ به ورودی تقویت‌کننده دیگر اتصال می‌یابد.



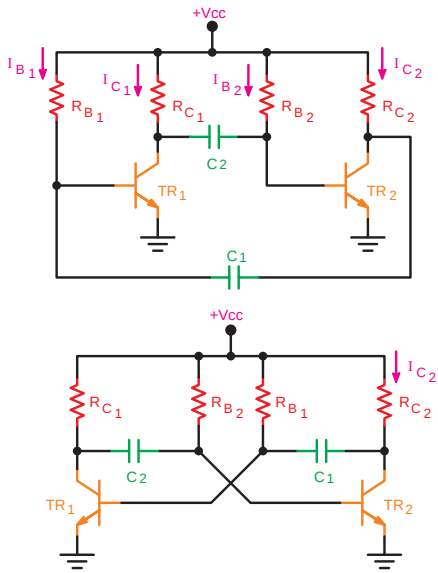
مولتی ویبراتور و خازن کوپلاژ بین دو طبقه

مدار تقویت‌کننده در مولتی‌ویبراتور آاستابل: تقویت‌کننده مولتی ویبراتور آاستابل معمولاً یک تقویت‌کننده بایاس بیس با یک منبع ولتاژ مطابق شکل زیر است. نقطه کار این تقویت‌کننده در منطقه فعال و نزدیک به اشباع در نظر گرفته می‌شود.

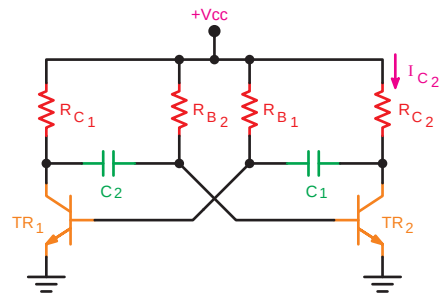


تقویت‌کننده در مولتی ویبراتور

مدار مولتی‌ویبراتور آاستابل: مدار مولتی‌ویبراتور آاستابل به‌صورت شکل زیر است.



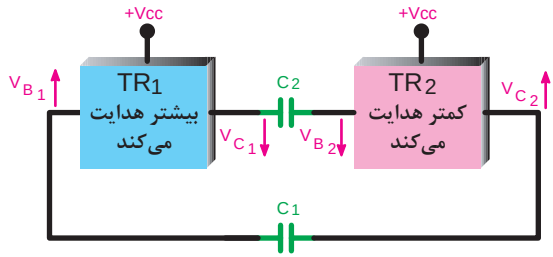
طرز کار مدار: بعد از وصل منبع تغذیه هر دو ترانزیستور می‌توانند به‌طور یکسان در ناحیه هدایت کار کنند. اگر کلیه شرایط و مشخصات در مدار تقویت‌کننده یکسان باشد مدار بدون نوسان باقی می‌ماند.



هر دو تقویت‌کننده از منبع تغذیه جریان می‌کشند.

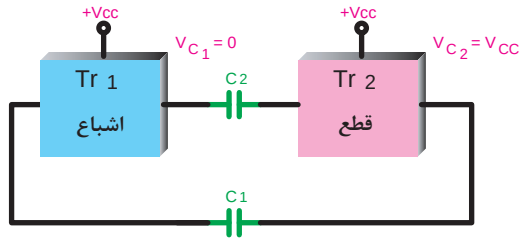
اما در عمل چنین پدیده‌ای امکان‌پذیر نیست زیرا عواملی نظیر خطای مقاومت‌ها یا یکسان نبودن β ترانزیستورها سبب می‌گردد یک ترانزیستور بیش از ترانزیستور دیگر هدایت کند و از کلکتور آن جریان بیشتری عبور نماید. مثلاً ترانزیستور TR_1 هادی‌تر از ترانزیستور TR_2 باشد در این‌صورت ولتاژ کلکتور TR_1 (VC_1) کم می‌شود و از طریق خازن C_2 ولتاژ بیس TR_2 را کاهش می‌دهد و هدایت TR_2 را کم می‌کند با کم شدن هدایت TR_2 ولتاژ کلکتور آن یعنی VC_2 افزایش می‌یابد.

در شکل زیر افزایش و کاهش ولتاژها با فلش نشان داده شده است:



TR_1 هدایت بیشتر دارد و TR_2 کمتر هدایت می‌کند.

(↑معرف افزایش ولتاژ ↓ معرف کاهش ولتاژ) افزایش ولتاژ کلکتور TR_2 از طریق خازن C_1 پتانسیل بیس TR_2 را زیاد می‌کند و TR_1 هادی‌تر می‌گردد تا سرانجام TR_1 به اشباع می‌رود و TR_2 قطع می‌گردد.



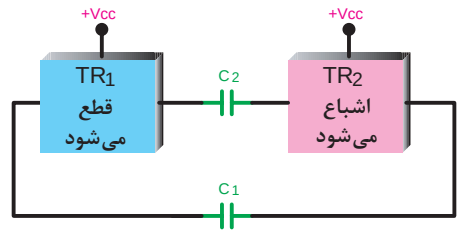
TR_1 اشباع و TR_2 قطع است.

در زمان اشباع‌بودن TR_1 و قطع بودن TR_2 مقدار ولتاژ کلکتورامیتر (V_{CE}) ترانزیستورها به‌صورت زیر است:

$$VCE_{Tr1} \simeq 0 \qquad VCE_{Tr2} \simeq V_{CC}$$

قطع و اشباع بودن ترانزیستورها پایدار نمی ماند و از طریق شارژ و دشارژ خازن‌های مدار ترانزیستوری که در حالت قطع قرار دارد به اشباع می‌رود و ترانزیستوری که به‌صورت اشباع است به حالت قطع بر می‌گردد.

در شکل زیر تغییر وضعیت ترانزیستور در بلوک مدار تقویت‌کننده نشان داده شده است.



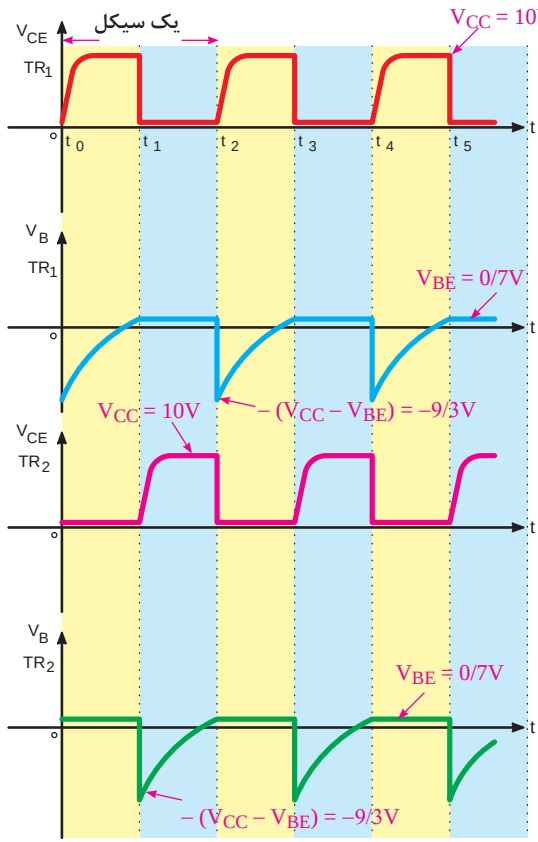
TR_1 قطع و TR_2 اشباع شده است.

در این حالت ولتاژ کلکتور ترانزستورها به‌صورت زیر است.

$V_{CE}TR_1 = V_{CC}V_{CE}TR_2 \cong 0$

این سیکل به‌طور نامحدود تکرار می‌شود. به‌دلیل پیچیدگی موضوع از تشریح بیشتر مدار و وضعیت پتانسیل بیس ترانزیستورها در حالت‌های مختلف صرف نظر نموده‌ایم.

شکل موج ترانزیستورها در مولتی‌ویبراتور: چون ولتاژ کلکتور ترانزیستور قطع برابر V_{CC} و ولتاژ کلکتور ترانزیستور اشباع تقریباً صفر است لذا از کلکتور ترانزیستورها می‌توان موجی مربعی مطابق شکل زیر دریافت نمود. در این شکل ولتاژ بیس ترانزیستورها رسم شده است.



شکل موج ولتاژ نقاط مختلف مولتی ویبراتور

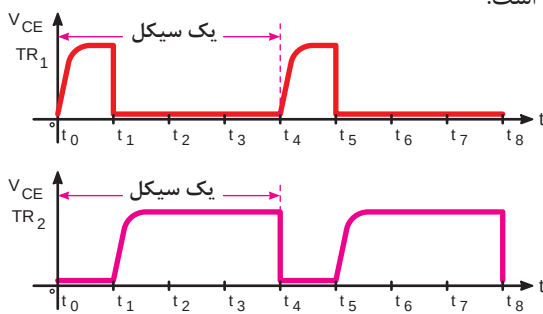
نکته

ولتاژ قطع منفی بیس ترانزیستور از طریق ولتاژ شارژ خازن‌ها به‌دست می‌آید.

فرکانس مولتی‌ویبراتور بی‌ثبات: پریود نوسان‌های ایجاد شده توسط مولتی‌ویبراتور از رابطه $T = ۰/۷(R_{B۱}C_{۱} + R_{B۲}C_{۲})$ به‌دست می‌آید. لذا فرکانس نوسان‌ها از رابطه $F = \frac{۱}{T} = \frac{۱}{۰/۷(R_{B۱}C_{۱} + R_{B۲}C_{۲})}$ محاسبه می‌گردد.

اگر $R_{B۱} = R_{B۲} = R_B$ و $C_{۱} = C_{۲} = C$ موج مربعی ایجاد شده کاملاً متقارن است: در این صورت می‌توان فرکانس موج را از رابطهٔ $F = \frac{۱}{T} = \frac{۱}{۱/۴R_BC}$ به‌دست آورد.

چنانچه $R_{B۱}$ با $R_{B۲}$ یا $C_{۱}$ با $C_{۲}$ برابر نباشد موج مربعی نامتقارن و به‌صورت شکل‌های زیر است.



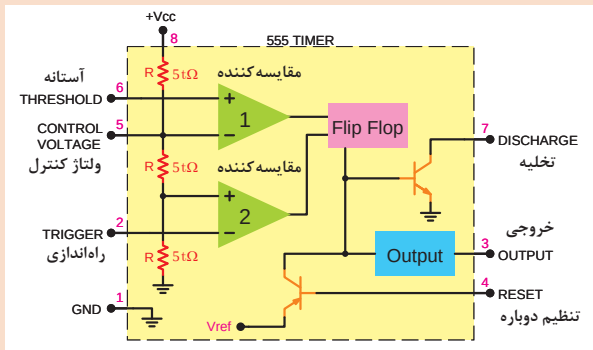
شکل موج کلکتور ـ امیتر ترانزیستور

تحقیق کنید

در مورد نوسان‌ساز موج مربعی با آی‌سی ۵۵۵ تحقیق کنید:

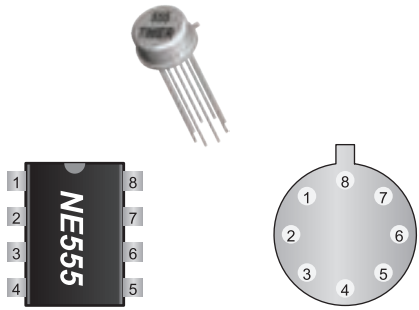
پاسخ:

یکی از آی‌سی‌های نسبتاً مشهور که مولد موج مربعی است و در صنعت الکترونیک کاربرد زیادی دارد آی‌سی ۵۵۵ است. از این آی‌سی می‌توان در مدار نوسان‌ساز مربعی در تایمرها در مدارهای آژیر و غیره استفاده نمود. مدار داخلی آی‌سی به‌صورت بلوکی شکل زیر است.



بلوک دیاگرام مدار داخلی آی‌سی ۵۵۵

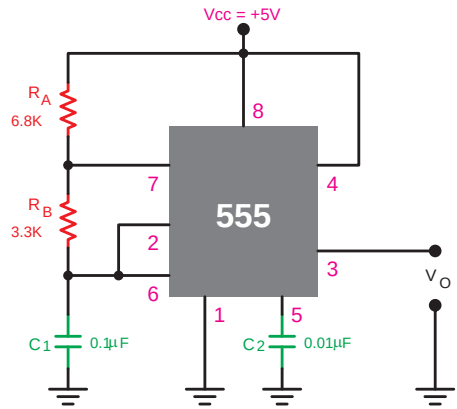
محفظه آی‌سی: آی‌سی ۵۵۵ به دو صورت DIP,TO_۹۹ ساخته می‌شود. در شکل زیر نوع محفظه‌ها و شماره پایه‌های آی‌سی مشخص شده است. شماره و نام پایه‌ها و شرح مختصر عملکرد پایه‌ها در آی‌سی ۵۵۵ در جدول زیر آمده است.



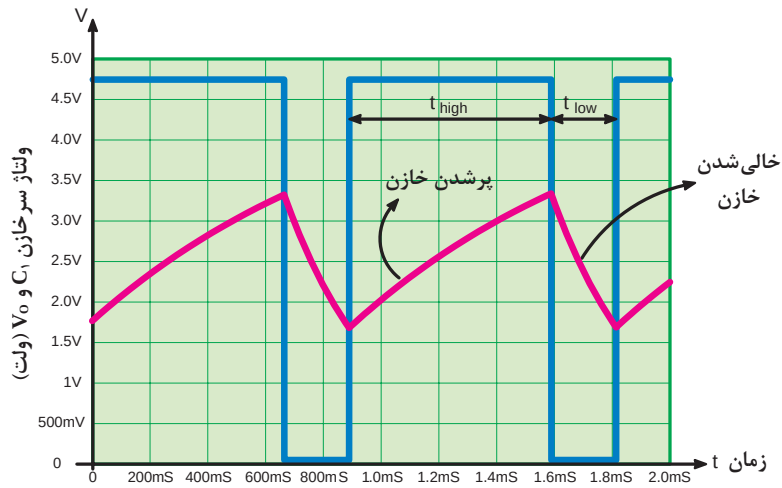
نوع محفظه‌ها و شماره آی‌سی ۵۵۵

شمارهٔ پایه	نام پایه	معادل انگلیسی پایه	عملکرد پایه به اختصار
۱	مشترک یا زمین	GND	پایهٔ زمین یا پایهٔ مشترک آی‌سی است.
۲	راه‌انداز	Trigger	ولتاژ این پایه سطح خروجی آی‌سی را در پایین یا بالا تعیین می‌کند.
۳	خروجی	output	از این پایه سیگنال خروجی آی‌سی دریافت می‌شود.
۴	تنظیم دوباره	Reset	از طریق ولتاژ این پایه می‌توان اثر فرمان داده شده از پایه ۲ را خنثی نمود. اگر از این پایه استفاده نشود پایه باید به VCC+ وصل شود.
۵	ولتاژ کنترل	control voltage	از این پایه می‌توان سطح ولتاژ راه‌انداز و آستانه را تغییر داد.
۶	آستانه	threshold	از طریق این پایه می‌توان میزان شارژ خازن C_1 را کنترل نمود.
۷	تخلیه	Discharge	تخلیه خازن C_1 از طریق این پایه انجام می‌گیرد.
۸	تغذیهٔ مثبت یا VCC+	+VCC	محل اتصال تغذیهٔ (VCC+) مقدار VCC بین ۵ تا ۱۸ ولت است.

در شکل زیر مدار یک مولتی ویبراتور آاستابل توسط آی‌سی ۵۵۵ ترسیم شده است. عملکرد قطعات این IC تا حدودی مشابه عملکرد مولتی ویبراتورها است. شکل موج ولتاژ خازن C_1 و V_O به‌صورت شکل زیر است.

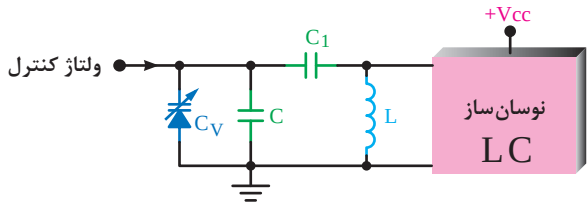


مدار یک نوسان‌ساز موج مربعی با آی‌سی ۵۵۵



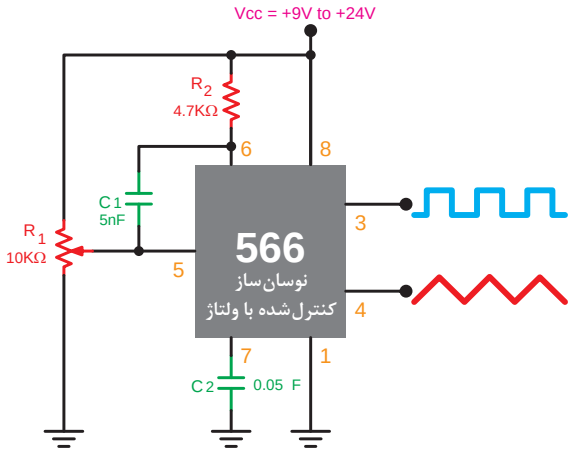
نوسان‌ساز VCO (Voltage controlled oscillator)

اسیلاتور VCO یک نوع نوسان‌ساز الکترونیکی است که فرکانس آن توسط ولتاژ DC ورودی تغییر می‌یابد. در فرکانس‌های بالا عنصر کنترل شونده با ولتاژ معمولاً دیود و رکتور است. این دیود به مدار تانک اسیلاتور LC متصل است. در شکل زیر نوسان‌ساز LC به‌صورت بلوکی و مدار رزونانس آن همراه با دیود خازنی رسم شده است. با تغییر ولتاژ کنترل ظرفیت دیود خازنی تغییر می‌کند و خازن معادل مدار تانک را تغییر می‌دهد و فرکانس نوسان‌ساز تغییر می‌کند.



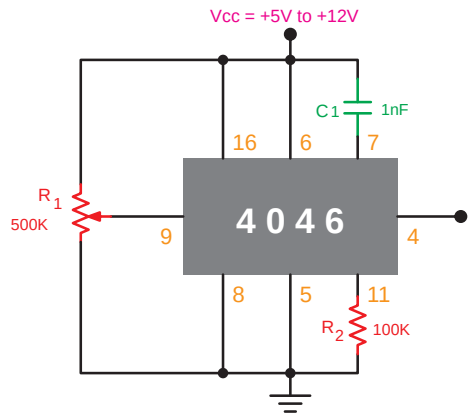
نوسان‌ساز با دیود خازنی

شکل زیر یک نوسان‌ساز VCO را که توسط آی‌سی ۵۶۶ دو نوع مربعی و مثلثی را تولید نموده است نشان می‌دهد. ولتاژ کنترل از طریق پتانسیومتر R_1 به پایه ۵ آی‌سی اعمال می‌شود.



نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ (VCO)

مدار یک نمونه دیگر نوسان‌ساز VCO با استفاده از آی‌سی ۴۰۴۶ در شکل زیر رسم شده است. فرکانس سیگنال خروجی در محدوده شنوایی و حدود ۱کیلوهرتز تا ۱۸کیلوهرتز است. با تغییر پتانسیومتر می‌توان فرکانس موج خروجی را تغییر داد. برای شنیدن سیگنال صوتی خروجی مدار را باید به آمپلی‌فایر وصل نمود.



یک نمونه نوسان‌ساز VCO با آی‌سی۴۰۴۶

نحوه تنظیم گزارش

گزارش کار پروژه از مستنداتی است که می‌تواند در آینده برای هنرجویان مورد استفاده قرار گیرد و پلی برای ارتباط با دنیای کار باشد. در زیر مشخصات گزارش پروژه بیان می‌شود. ضمناً زمانی پروژه قابل ارائه خواهد بود که گزارش آن بر مبنای دستورالعمل زیر تنظیم شده باشد.

- روی جلد پروژه باید نام پروژه، نام هنرجو، نام استاد پروژه نام هنرستان و سال تحصیلی مربوطه قید شود.

هنرستان

پروژه مخابرات رادیو

فیلترها

استاد پروژه: استاد...

تنظیم روی جلد پروژه

- در صفحه اول پروژه «بسم الله الرحمن الرحیم» با فونت مناسب آورده شود.
- در صفحهٔ دوم پروژه طرح روی جلد تکرار شود.

- صفحات سوم و چهارم به فهرست پروژه اختصاص داده شود.

فهرست

عنوان	صفحه
۱. ...	
۲. ...	

فهرست پروژه

- در صفحهٔ پنجم عنوان پروژه با فونت درشت حروف‌نگاری شود.
- در صفحهٔ ششم مقدمه‌ای راجع به‌پروژه و سبب انتخاب موضوع، کاربرد و مشکلات مرتبط با آن آورده شود. در این مقدمه می‌توانید از کسانی که با آنان همکاری کرده‌اید تشکر نمایید و حتی می‌توانید آن را به اعضا یا فرد مورد علاقهٔ خود تقدیم کنید، مثلاً بنویسید:

این پروژه را به پدرم و مادرم تقدیم می‌کنم تا شاید توانسته باشم جزئی از زحمات آنان را قدردان شوم.

- بعد از مقدمه تشریح نقشهٔ پروژه می‌آید که باید نقشهٔ پروژه نیز در آن ترسیم شود.
- مراحل ساخت پروژه به‌طور دقیق بیان می‌شود. لازم است در فرایند نوشتن گزارش پروژه مسئله صفحه‌بندی و رعایت فونت‌ها و تیترها رعایت شود. به عنوان الگو می‌توانید از روش فهرست‌بندی و تیتربندی کتاب‌های درسی استفاده کنید.
- مشکلات ناشی از فرایند ساخت پروژه در عنوانی مستقل می‌آید و باید به‌طور دقیق تشریح شود.
- طراحی مدار چاپی و نحوهٔ ساخت آن نیز عنوان بعدی خواهد بود. تصاویری از مراحل ساخت مدار چاپی، همچنین تصویر مدار چاپی نهایی ساخته شده را در این قسمت درج نمایید.
- به مراحل مونتاژ و آماده کردن مجموعه نیز عنوان جداگانه‌ای اختصاص دهید و ضمن تشریح و مراحل مونتاژ تصویری را از برد مونتاژ شده بیاورید.
- راه‌اندازی و عیب یابی نیز از عناوینی است که درگزارش پروژه به‌صورت مستقل می‌آید و کلیهٔ فرایندها در آن بیان می‌شود.
- در عنوان پایانی موارد و کاربرد آن به‌طور دقیق بحث می‌شود.
- در صفحهٔ آخر گزارش پروژه منابع و مآخذ استفاده شده با ذکر نام مؤلف و ناشر و سال چاپ به‌طور دقیق می‌آید.

ارزشیابی

عنوان فصل	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
کاربری تکنیک‌های مخابراتی	بررسی وسایل و قطعات مخابراتی	بستن مدارهای مخابراتی و تجزیه و تحلیل آنها	بالاتر از حد انتظار	۱ قطعات مخابراتی و طرز کار آنها را بررسی نماید. ۲ بررسی انواع فیلترها و کاربرد آنها در مدارهای مخابراتی ۳ کار با مدارهای مدولاسیون و نوسان‌ساز و مخلوط کننده‌ها ■ هنرجو توانایی بررسی همه شاخص‌های فوق را داشته باشد.	۳
	عملکرد مدارهای مخابراتی		در حد انتظار	۱ قطعات مخابراتی و طرز کار آنها را بررسی نماید. ۲ بررسی انواع فیلترها و کاربرد آنها در مدارهای مخابراتی ۳ کار با مدارهای مدولاسیون و نوسان‌ساز و مخلوط کننده‌ها ■ هنرجو توانایی بررسی دو مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	۱ قطعات مخابراتی و طرز کار آنها را بررسی نماید. ۲ بررسی انواع فیلترها و کاربرد آنها در مدارهای مخابراتی ۳ کار با مدارهای مدولاسیون و نوسان‌ساز و مخلوط کننده‌ها ■ هنرجو توانایی بررسی یک مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.	۱
	نمرهٔ مستمر از ۵				
	نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳				
	نمرهٔ پودمان از ۲۰				

ارزشیابی شایستگی کاربری تکنیک‌های مخابراتی

۱ شرح کار:
- اجزای مخابراتی را بررسی نماید.
- انواع فیلترها را بررسی نماید.
- انواع مدولاسیون را بررسی نماید.
- انواع نوسان‌سازها را بررسی نماید.

۲ استاندارد عملکرد:
بررسی و تجزیه و تحلیل کردن مدارهای کاربردی مخابرات.

۳ شاخص‌ها:
بررسی کامل از مدارهای مخابراتی کاربرد آنها

۴ شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
شرایط: کلاس مناسب همراه با پرده‌نگار باشد.
ابزار و تجهیزات:

۵ معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	کار قطعات مخابراتی و کار با آنها	۲	
۲	کار با انواع فیلترها و تجزیه و تحلیل آنها	۱	
۳	کار با انواع مدولاسیون‌ها و کاربرد آنها	۱	
۴	کار با انواع نوسان‌سازها و کاربرد آنها		
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشتی، توجهات زیست‌محیطی و... ۱ـ رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها؛ ۲ـ دقت و تمرکز در اجرای کار؛ ۳ـ شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر؛ ۴ـ اخلاق حرفه‌ای.	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.