فصل ۵

نوسان‌سازها

هدف کلی

تحلیل سادهٔ اصول نوسان‌سازی و انواع نوسان‌سازها

کل زمان اختصاص داده شده به فصل: ۱۲ ساعت آموزشی

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

۱ــ اصول نوسان‌سازی را تعریف کند. .... ′۱۰

۲ــ انواع نوسان‌ساز را از نظر تولید شکل موج نام ببرد. .... ′۱۰

۳ــ نیازهای اولیه را برای نوسان‌سازی شرح دهد. .... ′۲۵

۴ــ اصل بارک‌هاوزن را توضیح دهد. .... ′۱۰

۵ــ نحوهٔ تولید نوسان‌ها را در نوسان‌سازها از لحظه کلیدزنی تا پایدار شدن نوسانات توضیح دهد. .... ′۲۵

۶ــ انواع نوسان‌سازها را از نظر مدار تولیدکنندهٔ فرکانس نام ببرد. .... ′۱۵

۷ــ انواع نوسان‌سازهای LC و RC (پل‌وین) را از نظر شبکه فیدبک نام ببرد. .... ′۱۵

۸ــ مدار نوسان‌ساز آرمسترانگ را با توجه به اصول نوسان‌سازی تشریح کند. .... ′۳۰

۹ــ فرمول‌های مربوط به محاسبه فرکانس نوسان‌ها در مدار نوسان‌ساز آرمسترانگ را بنویسد. .... ′۱۵

۱۰ــ مدار نوسان‌ساز هارتلی را با توجه به اصول نوسان‌سازی تشریح کند. .... ′۳۰

۱۱ــ فرمول‌های مربوط به محاسبهٔ فرکانس نوسان‌ها در مدار نوسان‌ساز هارتلی را بنویسد. .... ′۱۵

۱۲ــ مدار نوسان‌ساز کولپیتس را با توجه به اصول نوسان‌سازی تشریح کند. .... ′۳۰

۱۳ــ فرمول‌های مربوط به محاسبهٔ فرکانس نوسان‌ها در مدار نوسان‌ساز کولپیتس را بنویسد. .... ′۱۰

۱۴ــ مدار نوسان‌ساز کلاپ را با توجه به اصول نوسان‌سازی تشریح کند. .... ′۳۰

۱۵ــ فرمول‌های مربوط به محاسبهٔ فرکانس نوسان‌ها در مدار نوسان‌ساز کلاپ را بنویسد. .... ′۱۰

۱۶ــ مدار نوسان‌ساز پل‌وین را با توجه به اصول نوسان‌سازی تشریح کند. .... ′۳۰

۱۷ــ نوسان‌ساز موج مربعی (مولتی ویبراتور) را با ترانزیستور و آی‌سی ۵۵۵ شرح دهد. .... ′۹۰

۱۸ــ اصول کار یک نوع نوسان‌ساز کریستالی را شرح دهد. .... ′۲۵

۱۹ــ اصول کار یک نوع نوسان‌ساز VCO را شرح دهد. .... ′۲۵

۲۰ــ با استفاده از نرم‌افزارهای مولتی‌سیم یا مشابه آن مدارهای شبیه‌سازی شدهٔ نوسان‌سازها را مشاهده کند و درصورت امکان آن مدارها را شبیه‌سازی کند. ....

۲۱ــ در فرایند اجرای آموزش متناسب با شرایط و محتوا، به آزمون‌های تشخیصی، تکوینی و پایانی پاسخ دهد. .... (برای ۲۰ و ۲۱: ′۹۰)

۲۲ــ هدف‌های رفتاری در حیطهٔ عاطفی که در فصل اول آمده است را در این فصل نیز اجرا نماید. ....

www.ControlMakers.ir

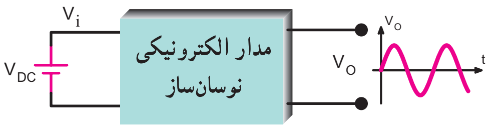
پیشگفتار

نوسان‌سازها مدارهای ویژه‌ای هستند که کاربرد نسبتاً گسترده‌ای در مدارهای مخابراتی دارند. بدون نوسان‌سازها ارسال و دریافت پیام‌های رادیویی امکان‌پذیر نیست. نوسان‌سازها یا مولدهای شکل موج، در دستگاه‌هایی نظیر مولتی‌مترهای دیجیتالی، اسیلوسکوپ، گیرنده و فرستنده‌های رادیویی، رایانه‌ها و وسایل دیجیتالی نظیر شمارنده‌ها، تایمرها، ماشین‌های حساب و دستگاه‌های فراوان دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. لذا می‌توان گفت نوسان‌ساز یکی از اجزاء اساسی دستگاه‌های الکترونیکی است.

۱ـ۵ـ اصول نوسان‌سازی

۱ـ۱ـ۵ـ نوسان‌ساز چیست؟ نوسان‌ساز، مداری است که بدون اعمال سیگنال متناوب به ورودی آن، در خروجی، سیگنال متناوب تولید کند.

شکل ۱ــ۵ نقشهٔ بلوکی (بلوک دیاگرام) نوسان‌ساز سینوسی را نشان می‌دهد.



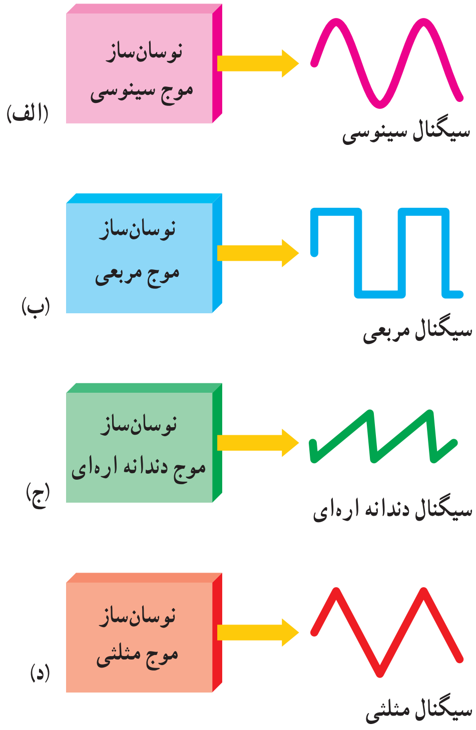
شکل ۱ــ۵ــ نقشهٔ بلوکی یک نوسان‌ساز سینوسی

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.

۲ـ۵ـ انواع نوسان‌ساز از نظر شکل موج تولیدی

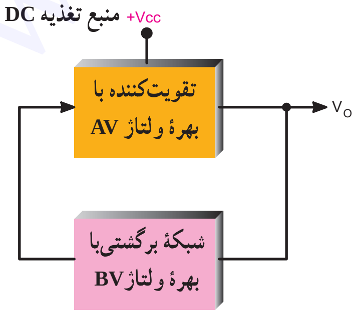
نوسان‌سازها می‌توانند انواع شکل موج‌ها را به‌وجود آورند. در شکل ۲ــ۵ چهار نمونه نوسان‌ساز به صورت بلوک دیاگرام با توجه به شکل موج آن ترسیم شده است. این نوسان‌سازها شامل نوسان‌ساز موج سینوسی (الف)، نوسان‌ساز موج مربعی (ب)، نوسان‌ساز موج دندانه اره‌ای (ج) و نوسان‌ساز موج مثلثی (د) است.



شکل ۲ــ۵ــ انواع نوسان‌سازها با توجه به شکل موج تولیدی

۳ـ۵ـ اصول کار مدارهای الکترونیکی نوسان‌ساز

اغلب نوسان‌سازها از یک طبقه تقویت‌کننده و طبقه‌ای به نام شبکهٔ برگشتی یا فیدبک (FeedBack) تشکیل شده‌اند. شبکهٔ برگشتی معمولاً بخشی از سیگنال خروجی تقویت‌کننده را به ورودی تقویت‌کننده برگشت می‌دهد. شکل ۳ــ۵ بلوک دیاگرام کلی نوسان‌ساز را نشان می‌دهد.



شکل ۳ــ۵ــ بلوک دیاگرام کلی نوسان‌ساز

۴ـ۵ـ نیازهای اولیه برای نوسان‌سازی

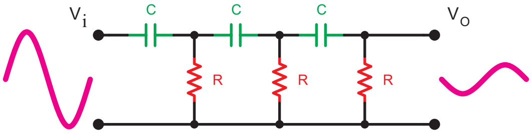
در کلیهٔ نوسان‌سازها باید شرایط و عوامل زیر وجود داشته باشد تا مدار به نوسان درآید.

الف) منبع انرژی : منبع انرژی می‌تواند منبع تغذیه، باتری شیمیایی یا باتری نوری باشد (شکل ۴ــ۵).

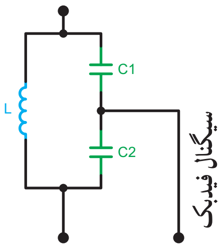
شکل ۴ــ۵ چند نمونه باتری را به‌عنوان منبع انرژی نشان می‌دهد.

شکل ۴ــ۵ــ چند نمونه باتری

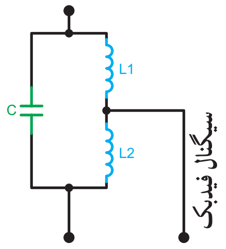
ب) مدار تعیین‌کننده فرکانس : این مدار معمولاً یک مدار رزونانس LC یا مدار RC یا مدارهایی با مشخصات ویژه است. نوسان‌های اولیه، در این مدارها تولید می‌شود. شکل ۵ــ۵ــالف،ب و ج مدار تعیین فرکانس RC و LC را نشان می‌دهد.



الف ــ مدار رزونانس RC



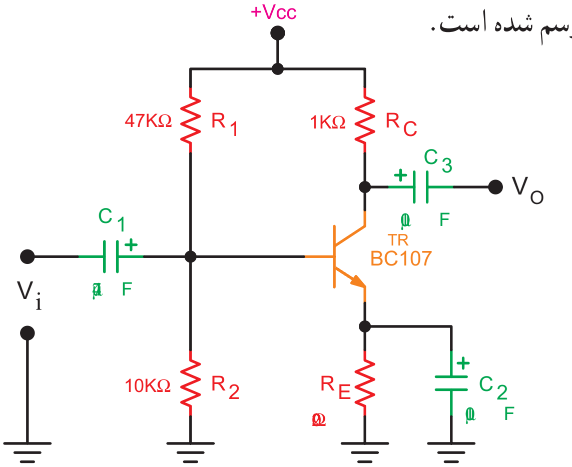
ب ــ مدار رزونانس LC



ج ــ مدار رزونانس LC

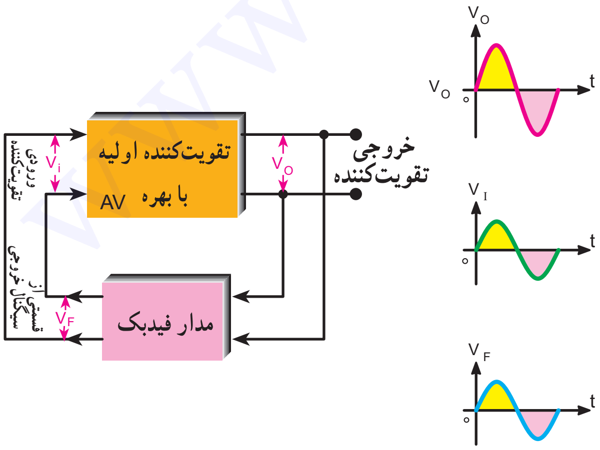
شکل ۵ــ۵ــ مدارهای رزونانس RC و LC

ج) تقویت‌کننده : مدار تقویت‌کننده معمولاً یکی از انواع تقویت‌کننده‌های ترانزیستوری BJT، FET یا IC است. سیگنال‌های اولیه که توسط مدارتعیین‌کننده فرکانس تولید می‌شود به‌وسیله مدار تقویت‌کننده تقویت می‌گردد. در شکل ۶ــ۵ یک نمونه تقویت‌کننده رسم شده است.



شکل ۶ــ۵ــ تقویت‌کننده ترانزیستوری

د) مدار فیدبک یا بازخورد (Feed Back) : فیدبک به مفهوم انتقال بخشی از سیگنال خروجی به ورودی مدار است. در نوسان‌سازها قسمتی از سیگنال خروجی طوری به ورودی منتقل می‌شود که با آن هم فاز باشد. در این حالت فیدبک را مثبت (Positive Feed Back) می‌نامند. در صورتی که سیگنال برگشتی با سیگنال ورودی ۱۸۰ درجه اختلاف فاز داشته باشد آن را فیدبک منفی (Negative Feed Back) می‌نامند. شکل ۷ــ۵ فیدبک مثبت را نشان می‌دهد.

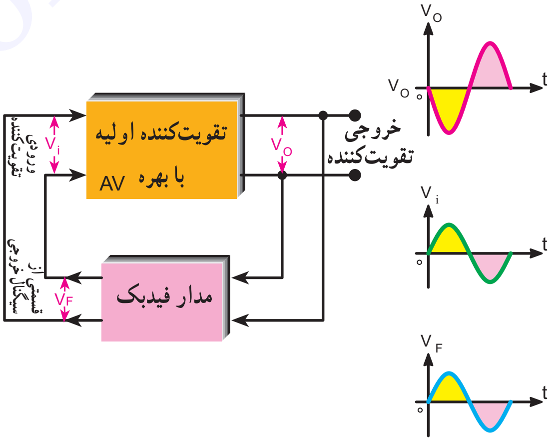


شکل ۷ــ۵ــ ایجاد فیدبک مثبت توسط شبکهٔ برگشتی

مشاهده می‌شود که سیگنال خروجی مدار فیدبک با سیگنال ورودی تقویت‌کننده هم‌فاز است. در شکل ۷ــ۵ بین ورودی و خروجی تقویت‌کننده هیچ اختلاف فازی وجود ندارد. مدار فیدبک هم سیگنال خروجی را بدون اختلاف فاز به ورودی تقویت‌کننده برگشت می‌دهد.

در نوسان‌سازها لازم است سیگنال خروجی مدار فیدبک با سیگنال ورودی تقویت‌کننده هم‌فاز باشد یعنی نوع فیدبک مثبت باشد. همچنین مدار تعیین فرکانس معمولاً در بخش مدار فیدبک قرار دارد.

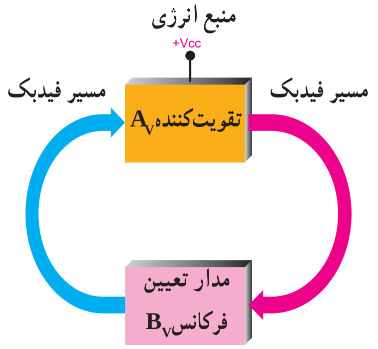
اما در شکل ۸ــ۵ تقویت‌کننده سیگنال ورودی خود را با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز در خروجی و به صورت تقویت شده ظاهر می‌کند. در این حالت مدار فیدبک، سیگنال خروجی را ۱۸۰ درجه اختلاف فاز می‌دهد تا سیگنال برگشتی با سیگنال ورودی تقویت‌کننده هم‌فاز شود.



شکل ۸ــ۵ــ ایجاد فیدبک مثبت توسط شبکهٔ برگشتی

معمولاً مدار تعیین فرکانس در بخش مدار فیدبک یا بازخورد نوسان‌ساز قرار دارد.

نوسان‌های اولیه برای نوسان‌سازی به‌وسیله مدار تعیین‌کننده فرکانس تولید می‌شود. این نوسان‌ها توسط مدار تقویت‌کننده تقویت می‌شود و سپس از طریق مدار فیدبک به ورودی منتقل می‌شود. اگر فیدبک مثبت باشد نوسان‌ها تداوم می‌یابد و پایدار می‌شود. در شکل ۹ــ۵ بخش‌های مورد نیاز جهت نوسان‌سازی به‌صورت بلوک دیاگرام ترسیم شده است.



شکل ۹ــ۵ــ بخش‌های مورد نیاز برای نوسان‌سازی

۵ــ۵ــاصل بارک‌هاوزن (Barkhausen Criterion)

بنابر اصل بارک‌هاوزن، زمانی نوسان‌های یک نوسان‌ساز پایدار می‌شود که حاصل ضرب بهره ولتاژ تقویت‌کننده (A_V) در B_V که ضریب بهره ولتاژ مدار فیدبک نامیده می‌شود برابر یک شود. معادله ۱ــ۵ رابطه بین A_V و B_V را در شرایطی که مدار دارای نوسان‌های پایدار می‌شود، نشان می‌دهد.

$$A_V \cdot B_V = ۱ \qquad ۱ــ۵$$

A_V = بهره تقویت‌کننده

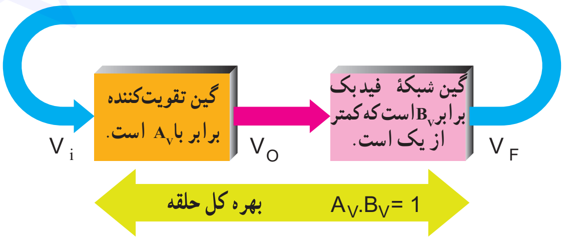
B_V = بهره مدار فیدبک

مفهوم اصل بارک‌هاوزن در شکل ۱۰ــ۵ نشان داده شده است. بهرهٔ کل سیستم باید برابر با یک باشد تا نوسان‌های مدار تداوم یابد. در این مدار مقدار $A_V = \frac{V_O}{V_i}$ و $B_V = \frac{V_F}{V_O}$ است.

V_i = ولتاژ ورودی تقویت‌کننده

V_O = ولتاژ خروجی تقویت‌کننده

V_F = ولتاژ خروجی مدار فیدبک



شکل ۱۰ــ۵ــ بررسی اصل بارک هاوزن

برای تولید نوسان پایدار دو شرط $A_V . B_V = 1$ و فیدبک مثبت ضروری است.

مثال ۱ـ۵

در صورتی که ضریب تقویت مدار تقویت‌کننده به کار رفته در یک نوسان‌ساز برابر با ۱۰ باشد، مقدار بهرهٔ مدار فیدبک را طوری به‌دست آورید که مدار دارای نوسان‌های پایدار باشد.

پاسخ :

با استفاده از اصل بارک‌هاوزن داریم :

$$A_V . B_V = 1 \Rightarrow 10 \times B_V = 1 \Rightarrow \boxed{B_V = 0/1}$$

بهرهٔ مدار فیدبک باید ۰/۱ باشد تا مدار به نوسان‌های پایدار خود ادامه دهد.

۶ـ۵ـ یک اسیلاتور چگونه به نوسان درمی‌آید؟

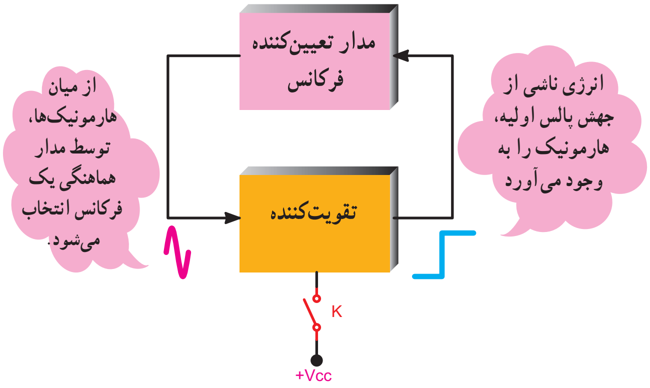
در شکل ۱۱ــ۵ الی ۱۳ــ۵ سه مرحله از تولید نوسان‌ها در نوسان‌ساز نشان داده شده است. این سه مرحله به ترتیب عبارت‌اند از :

الف) مرحلهٔ روشن کردن دستگاه با زدن کلید

ب) مرحلهٔ تولید سیگنال اولیه

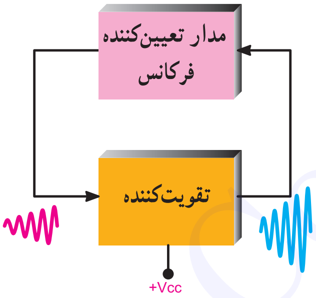
ج) مرحلهٔ پایدار شدن نوسان‌ها

هنگامی که منبع انرژی به مدار متصل می‌شود، در لحظهٔ برقراری جریان، به علت افزایش ناگهانی ولتاژ و به وجود آمدن حالت گذرا، ضربه‌ای به مدار وارد می‌شود که به منزلهٔ اعمال یک پالس به مدار است (شکل ۱۱ــ۵). با وارد شدن پالس به مدار، هارمونیک‌های مختلف موجود در پالس در مدار هماهنگی ظاهر می‌شود. هارمونیک انتخاب شده، برابر با فرکانس رزونانس مدار هماهنگی است.



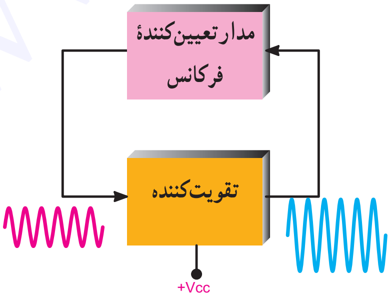
شکل ۱۱ــ۵ــ مرحلهٔ روشن شدن دستگاه با زدن کلید K

هارمونیک انتخاب شده از طریق مدار فیدبک به صورت هم‌فاز به ورودی مدار تقویت‌کننده برمی‌گردد. سیگنال برگشتی پس از تقویت، دوباره در خروجی ظاهر می‌شود و از طریق مدار فیدبک به ورودی برمی‌گردد (شکل۱۲ــ۵). نوسان‌ها، زمانی تداوم می‌یابد که حاصل‌ضرب بهرهٔ مدار تقویت‌کننده و بهرهٔ مدار فیدبک براساس اصل بارک هاوزن برابر با یک شود. این شرایط زمانی رخ می‌دهد که عناصر مدار به‌طور صحیح انتخاب شده باشند.



شکل ۱۲ــ۵ــ سیگنال اولیه ساخته می‌شود.

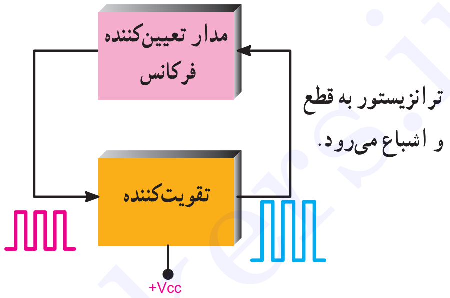
درصورتی که چنین شرایطی پدید آید می‌توانیم سیگنال سینوسی داشته باشیم(شکل۱۳ــ۵).



شکل ۱۳ــ۵ــ نوسانات پایدار می‌شود (موج سینوسی)

۷ـ۵ـ تولید نوسان مربعی

اگر شرایط مدار طوری تنظیم شود که تقویت‌کننده مدار به قطع و اشباع برود سیگنال مربعی تولید می‌شود (شکل ۱۴ــ۵). این حالت زمانی اتفاق می‌افتد که مدار رزونانس LC در مدار وجود نداشته باشد.



شکل ۱۴ــ۵ــ ترانزیستور به قطع و اشباع می‌رود و نوسان‌ها تداوم می‌یابد.

۸ـ ۵ ـ الگوی پرسش

تشریحی

۱ــ اسیلاتور چیست؟ شرح دهید.

۲ــ نیازهای اولیه برای نوسان‌سازی را نام ببرید و تشریح کنید.

۳ــ اصل بارک‌هاوزن را شرح دهید.

۴ــ سه مرحله از تولید نوسان را در نوسان‌ساز شرح دهید.

۵ــشرط تولید موج مربعی را در نوسان‌ساز شرح دهید.

کامل‌کردنی

۶ــدر نوسان‌سازها نوع فیدبک .... است.

چهارگزینه‌ای

۷ــ در صورتی که مقدار بهرهٔ مدار فیدبک در یک نوسان ساز ۰/۰۲ باشد، ضریب تقویت مدار تقویت‌کننده را چقدر انتخاب کنیم تا نوسان مدار پایدار شود؟

۱) ۱۰۰ ۲) ۵۰ ۳) ۲۰۰ ۴) ۷۵

کوتاه پاسخ

۸ ــ اگر تقویت‌کنندهٔ مربوط به مدار نوسان‌ساز در قطع و اشباع کار کند، چه نوع سیگنالی تولید می‌شود؟

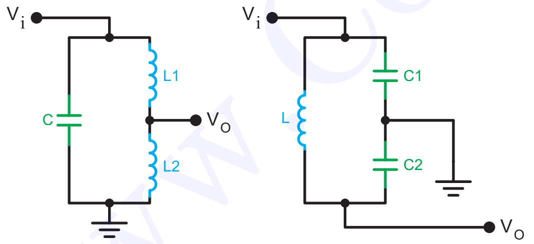
۹ـ۵ـ انواع نوسان‌سازهای سینوسی

در زمان‌های قدیم از لامپ‌های خلأ به عنوان تقویت‌کننده در نوسان‌سازها استفاده می‌کردند. امروزه استفاده از ترانزیستورهای FET،BJT ، تقویت‌کننده‌های عملیاتی (Op Amp)، مدارهای منطقی و سایر آی‌سی‌ها در مدارهای نوسان‌ساز بسیار متداول است.

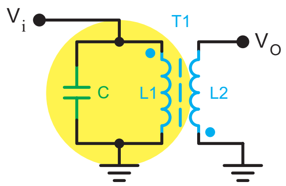
مدارهای نوسان‌ساز را از نظر نوع مدار تعیین‌کننده فرکانس و نحوهٔ انجام فیدبک، تقسیم‌بندی می‌کنند.

۱ـ۹ـ۵ـ انواع نوسان‌سازها از نظر مدار تعیین‌کننده فرکانس: نوسان‌سازها را از نظر نوع مدار تعیین‌کننده فرکانس به دو دسته RC و LC تقسیم می‌کنند. در مدارهای LC مدار تعیین‌کنندهٔ فرکانس یک مدار هماهنگی موازی LC است. این مدار انرژی را در خود ذخیره می‌کند، لذا مدار تانک نامیده می‌شود.

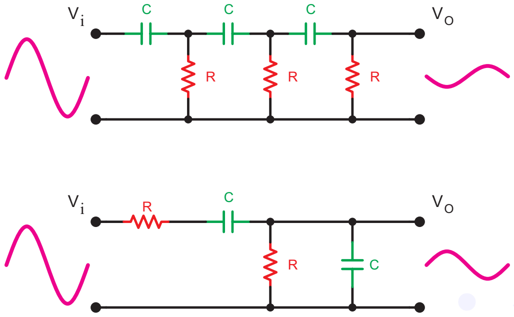
در مدارهای RC مدار تعیین کنندهٔ فرکانس یک مدار ترکیبی RC است. به علت کاربرد مدارهای نوسان‌ساز LC در فرستنده‌ها و گیرنده‌های رادیویی در این فصل، به تشریح نوسان‌ساز با شبکهٔ تولید فرکانس LC می‌پردازیم و سپس یک یا چند مدار نوسان‌ساز RC را تشریح می‌نماییم شکل‌های ۱۵ــ۵،۱۶ــ۵ و ۱۷ــ۵ انواع شبکه‌های تعیین فرکانس LC و RC را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵ــ۵ــ چند نمونه مدار تعیین فرکانس LC



شکل ۱۶ــ۵ــ مدار تعیین فرکانس LC



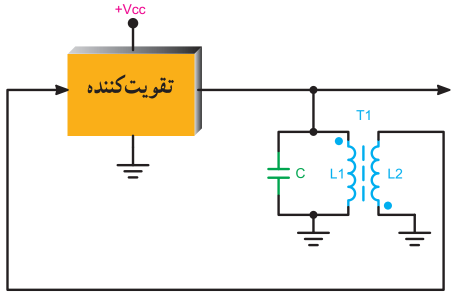
شکل ۱۷ــ۵ــ چند نمونه مدار تعیین فرکانس RC

۲ـ۹ـ۵ـ انواع نوسان‌سازهای LC از نظر شبکه

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

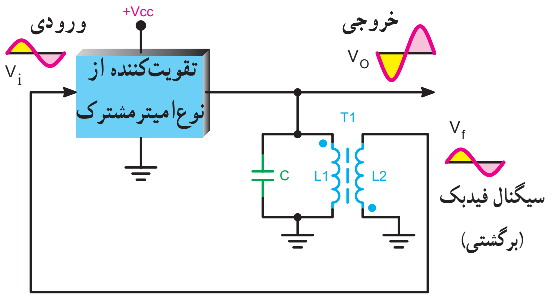
۳ـ۹ـ۵ـ نوسان ساز با شبکهٔ فیدبک ترانسفورماتوری :

در این مدار عمل فیدبک از طریق یک ترانسفورماتور صورت می‌گیرد. این نوع مدارها را مدار آرمسترانگ (Armstrong) می‌نامند. در شکل ۱۸ــ۵ مدار کلی نوسان‌ساز آرمسترانگ را که شبکهٔ فیدبک آن ترسیم شده است، مشاهده می‌کنید. اگر در تقویت‌کننده بین سیگنال ورودی و خروجی ۱۸۰° اختلاف فاز ایجاد شود مدار تعیین فرکانس نیز باید بین سیگنال ورودی و خروجی خود ۱۸۰° اختلاف فاز ایجاد نماید تا فیدبک از نوع مثبت شود.



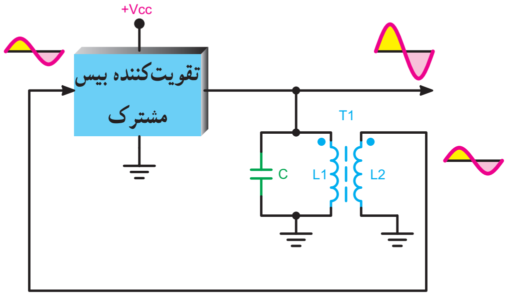
شکل ۱۸ــ۵ــ مدار کلی نوسان‌ساز آرمسترانگ

در ترانسفورماتورها محل‌های نقطه‌گذاری شده (.) نشانهٔ هم فاز بودن سیگنال‌ها است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شبکهٔ برگشتی به سیگنال ورودی خود ۱۸۰° اختلاف فاز می‌دهد تا نوع فیدبک مثبت شود. اگر بهره ولتاژ تقویت‌کننده A_V باشد، ترانسفورماتور که کاهنده است دامنهٔ سیگنال ورودی را کاهش می‌دهد. به این ترتیب اصل بارک‌هاوزن ($A_V \times B_V = ۱$) برقرار می‌شود و مدار نوسان پایدار ایجاد می‌نماید (شکل ۱۹ــ۵).



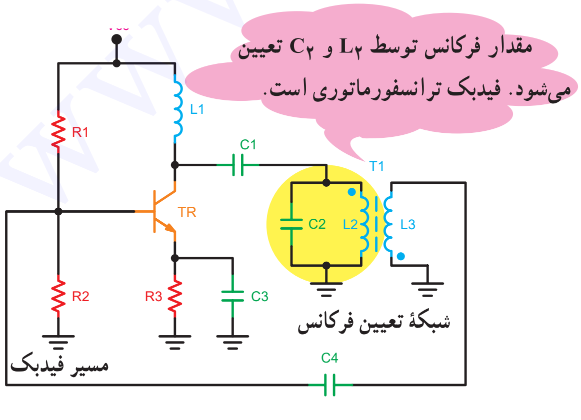
شکل ۱۹ــ۵ــ اختلاف فاز بین ورودی و خروجی ۱۸۰ درجه است.

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 ۲۰ــ۵ شبکه برگشتی را برای تقویت‌کننده بیس مشترک نشان می‌دهد.



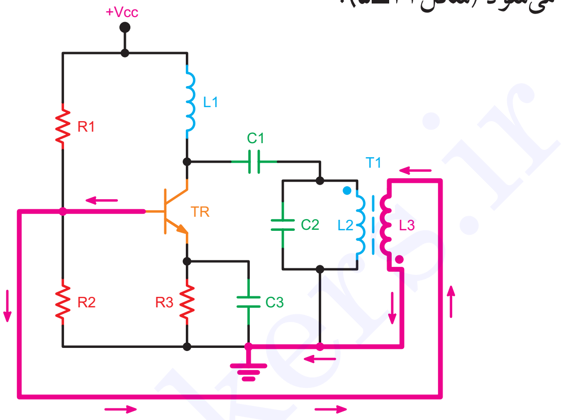
شکل ۲۰ــ۵ــ شبکهٔ برگشتی برای تقویت‌کنندهٔ بیس مشترک

در شکل ۲۱ــ۵ یک نمونه مدار آرمسترانگ ترسیم شده است. مدار تقویت‌کننده در این نوسان‌ساز از نوع امیتر مشترک است. مقاومت‌های R_1 و R_2 با یاسینگ DC مدار را تأمین می‌کنند. مقاومت R_3 مقاومت تثبیت حرارتی است. خازن C_3 مقاومت امیتر را از نظر AC به شاسی، بای‌پاس می‌کند.



شکل ۲۱ــ۵ــ مدار نوسان‌ساز آرمسترانگ

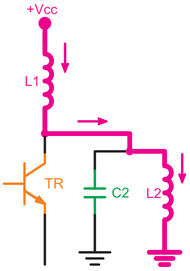
خازن C_4 به منظور کوپلاژ سیگنال خروجی از بوبین L_3 به بیس ترانزیستور به کار رفته است؛ ضمن این که این خازن مانع اتصال کوتاه شدن DC بیس ترانزیستور از طریق L_3 به شاسی می‌شود (شکل ۲۲ـ۵).



شکل ۲۲ـ۵ـ اتصال کوتاه شدن بیس به زمین در اثر نبودن خازن C_4

بار کلکتور ترانزیستور شامل سیم‌پیچ L_1 و مجموعه مدار تانک (تشدید) موازی L_2 و C_2 است. سیم‌پیچ L_1 را سیم‌پیچ RFC (چوک فرکانس رادیویی ـ Radio Frequency choke) 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 ۲۳ـ۵ به زمین اتصال کوتاه می‌شود و عملاً قطب مثبت منبع تغذیه را به قطب منفی آن از طریق سیم‌پیچ متصل می‌کند.



شکل ۲۳ـ۵ـ اتصال کوتاه شدن کلکتور در اثر نبودن خازن C_1

کار با نرم‌افزار

قابل توجه مربی محترم

توصیه می‌شود، مدار نوسان‌ساز آرمسترانگ را با استفاده از نرم‌افزار مولتی‌سیم شبیه‌سازی کنید و سیگنال‌های نقاط مختلف مدار را ملاحظه نمایید.

سیم‌پیچ L_3، که با سیم‌پیچ L_2 به صورت ترانسفورماتور بسته شده است، شبکهٔ 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 ترانزیستور) برمی‌گردد. به عبارت 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 صورتی که اصل بارک‌هاوزن برقرار باشد نوسان‌های مدار تداوم خواهد یافت. این نوع سیم‌پیچ فیدبک را گاهی تیکلرکویل (سیم‌پیچ تحریک) نیز می‌نامند.

ـ نحوهٔ نوسان‌سازی در اسیلاتور آرمسترانگ: با زدن کلید و اعمال ولتاژ DC منبع تغذیه به مدار، ولتاژ بیس ترانزیستور شروع به رشد می‌کند. این رشد ولتاژ پس از تقویت، با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز روی کلکتور ظاهر می‌شود و از طریق خازن کوپلاژ C_1 به مدار تانک L_2C_2 می‌رسد. درست مانند این است که مدار تانک توسط پالس DC تحریک شده باشد. توسط مدار تانک یکی از هارمونیک‌های تشکیل‌دهندهٔ پالس، که فرکانس آن برابر با فرکانس رزونانس مدار تانک است، انتخاب می‌شود و به صورت میرا شروع به نوسان می‌کند. نوسان‌های میرا شونده از طریق کوپلاژ ترانسفورماتوری با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه 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 (۱۸۰ درجه در اثر مدار امیترمشترک و ۱۸۰ درجه در اثر ترانس T_1)، فیدبک مثبت است. درصورتی که اصل بارک‌هاوزن برقرار باشد نوسان‌های مدار تداوم می‌یابد.

مقدار فرکانس رزونانس مدار با تقریب قابل قبول از رابطهٔ ۲ـ۵ به‌دست می آید.

F_r = فرکانس نوسان اسیلاتور برحسب هرتز

L_2 = ضریب خودالقا برحسب هانری

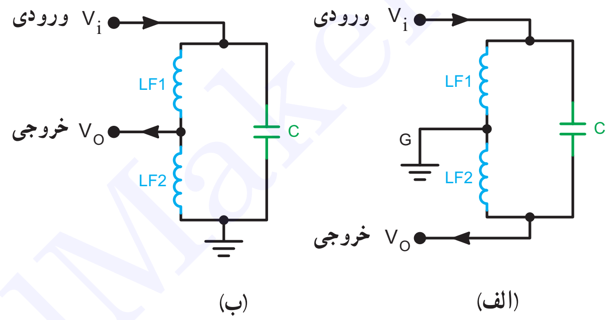
C_2 = مقدار ظرفیت خازن برحسب فاراد

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}} \qquad (۵ـ۲)$$

۴ـ۹ـ۵ـ نوسان‌ساز با شبکهٔ فیدبک از طریق تقسیم ولتاژ سلفی:

سلفی: در صورتی که ولتاژ فیدبک از طریق تقسیم ولتاژ روی سلف صورت گیرد نوسان ساز را هارتلی (Hartly) می‌نامند. این نوسان‌ساز در فرکانس‌های بالا بهتر عمل می کند. در شکل‌های ۲۴ـ۵ـ الف و ب دو نمونه شبکهٔ فیدبک مدار نوسان‌ساز هارتلی ترسیم شده است.

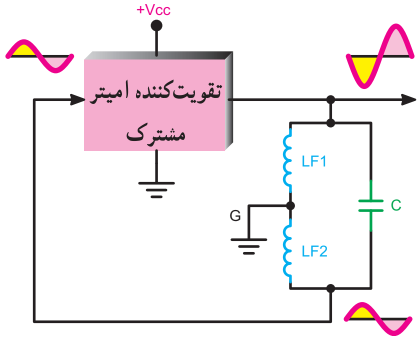
اگر تقویت‌کننده در مدار نوسان‌ساز دارای آرایش امیترمشترک باشد بین سیگنال ورودی و خروجی آن °۱۸۰ اختلاف فاز وجود دارد.



شکل ۲۴ـ۵ـ دونمونه مدار تعیین فرکانس در نوسان‌ساز هارتلی

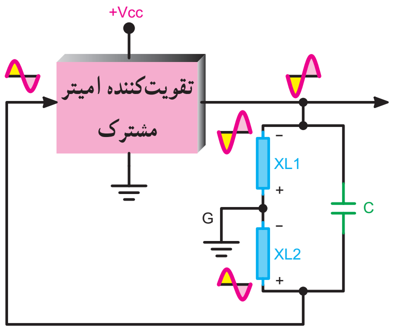
شکل ۲۵ـ۵ تقویت‌کننده را به صورت بلوکی و شبکهٔ برگشتی نوسان‌ساز هارتلی نشان می‌دهد.

لازم است شبکهٔ برگشتی نیز به سیگنال خروجی تقویت‌کننده °۱۸۰ اختلاف فاز بدهد تا نوع فیدبک را مثبت کند و تضعیف لازم را ایجاد نماید، در نهایت برای پایداری نوسان باید اصل بارک هاوزن $(A_V . B_V = 1)$ برقرار شود.



شکل ۲۵ـ۵ـ تقویت‌کننده و شبکه برگشتی در نوسان‌ساز هارتلی

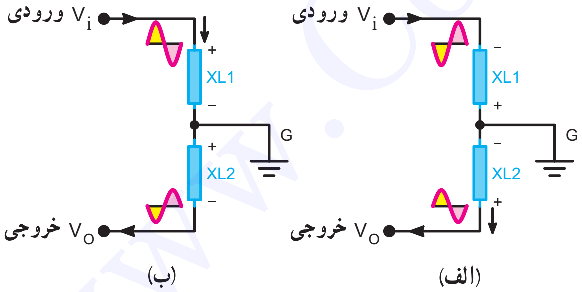
این دو شرط توسط LF_1 و LF_2 صورت می‌گیرد. چنانچه در فرکانس کار دو سیم‌پیچ را معادل XL_1 و XL_2 درنظر بگیریم (شکل ۲۶ـ۵) سیگنال ورودی شبکهٔ برگشتی نسبت به زمین، سیگنال دوسر XL_1 و سیگنال خروجی نسبت به زمین سیگنال دو سر XL_2 است که این دو سیگنال در فاز مخالف هم قرار دارند.



شکل ۲۶ـ۵ـ شبکهٔ فیدبک در مدار امیتر مشترک

در صورتی که سیگنال‌های ورودی و خروجی شبکهٔ فیدبک مدار امیتر مشترک شکل ۲۶ـ۵ را در دو حالت ورودی و خروجی به‌طور جداگانه بررسی کنیم، شکل‌های ۲۷ـ۵. الف و ب به‌وجود می‌آید. این شکل‌ها سیگنال‌های ورودی و خروجی دوسر سیم‌پیچ LF_1 و LF_2 را در دو نیم سیکل منفی و مثبت نشان می‌دهد که نسبت به نقطهٔ G در فاز مخالف هم قرار دارند.

سیگنال دوسر XL_2 که تضعیف شده، سیگنال خروجی است و به ورودی تقویت‌کننده برگشت داده می‌شود.

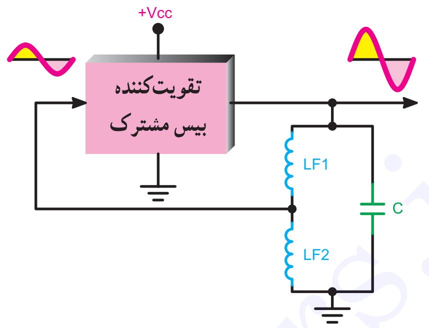


شکل ۲۷ـ۵ـ سیگنال‌های ورودی و خروجی برای دو حالت مدار امیتر مشترک

اگر تقویت‌کننده دارای آرایش بیس مشترک باشد در این صورت بین سیگنال ورودی و خروجی آن اختلاف فازی وجود ندارد در این صورت شبکهٔ برگشتی هم نباید اختلاف فازی بین سیگنال ورودی و خروجی ایجاد نماید. شکل ۲۸ـ۵ تقویت‌کننده

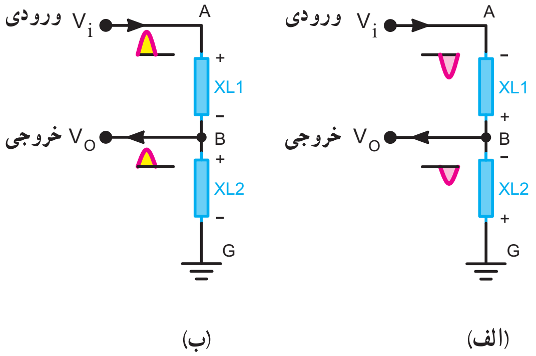
www.ControlMakers.ir

را به صورت بلوکی و مدار تعیین فرکانس را برای آرایش بیس مشترک نشان می‌دهد.



شکل ۲۸ـ۵ـ تقویت‌کنندهٔ بیس مشترک و شبکهٔ برگشتی

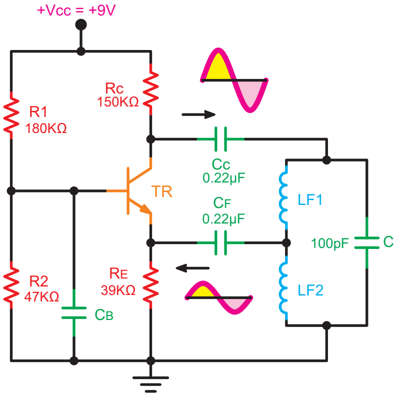
در صورتی که سیگنال‌های ورودی و خروجی شبکهٔ فیدبک مدار بیس مشترک شکل ۲۸ـ۵ را در دو حالت ورودی و خروجی به‌طور جداگانه بررسی کنیم، شکل ۲۹ـ۵ـ الف و ب به‌وجود می‌آید. در این شکل‌ها LF_1 و LF_2 در فرکانس کار معادل راکتانس XL_1 و XL_2 در نظر گرفته شده‌اند. مشاهده می‌شود همواره پتانسیل A نسبت به G با پتانسیل B نسبت به G هم‌فاز است.



شکل ۲۹ـ۵ـ پتانسیل نقاط A و B نسبت به G برای دو حالت مدار بیس مشترک

در شکل ۳۰ـ۵ مدار یک نوسان‌ساز هارتلی ترسیم شده است.

مدار تعیین کنندهٔ فرکانس در نوسان ساز هارتلی پیچیدگی خاصی دارد. در شکل ۳۰ـ۵ سیم‌پیچ‌های LF_1 و LF_2 دارای تأثیر متقابل روی یکدیگر هستند چرا که روی یک هسته پیچیده شده‌اند.



شکل ۳۰ـ۵ـ مدار نوسان‌ساز هارتلی

کار با نرم‌افزار

قابل توجه مربی محترم

توصیه می‌شود، انواع مدارهای تقسیم‌کننده ولتاژ را با استفاده از نرم‌افزار مولتی سیم شبیه‌سازی کنید و به هنرجویان نشان دهید.

ـ **تشریح عملکرد مدار:** مدار تقویت‌کننده این نوسان‌ساز به صورت بیس مشترک بسته شده است. خازن‌های C_C و C_F خازن‌های کوپلاژند که مانع تداخل ولتاژ DC بین ورودی و خروجی می‌شوند. قسمتی از سیگنال خروجی توسط شبکه تقسیم ولتاژ LF_1 و LF_2 انتخاب و به ورودی اعمال می‌شود. در این مدار یک سرسیم‌پیچ LF_2 دقیقاً به شاسی متصل شده است و سر دیگر آن به ورودی برمی‌گردد. یک سرسیم‌پیچ LF_1 نیز با LF_2 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 این‌رو، اختلاف فازی بین ورودی و خروجی به‌وجود نمی‌آید و دریافت سیگنال به‌طور مستقیم از مدار تانک موجب فیدبک مثبت می‌شود و مدار به نوسان درمی‌آید. خازن C_B پایه بیس را ازنظر AC به زمین متصل می‌کند.

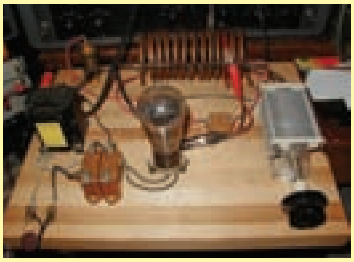
www.ControlMakers.ir

آشنایی با مخترعین و دانشمندان

آقای رالف وینتون لیون هارتلی Ralf Vinton Lyon Hartly در سال ۱۸۸۶ در ایالت نوادای آمریکا به دنیا آمد. وی تحصیلات خود را در طی دوره‌های کاردانی در دانشگاه یوتا و کارشناسی را در دانشگاه آکسفورد گذراند و پس از بازگشت به آمریکا به عنوان محقق در کمپانی وسترن الکتریک شروع به کار کرد. وی در سال ۱۹۱۵ نوسان‌ساز هارتلی را اختراع کرد که باعث تغییرات اساسی در سیستم‌های رادیوتلفن شد. او همکاری‌های خود را با شرکت بِل ادامه داد. هارتلی در سال ۱۹۷۰ درگذشت.

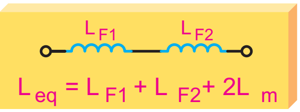
با مراجعه به منابع مختلف درباره آرمسترانگ Armstrong و کول پیتس Colpitts تحقیق کنید.

رالف هارتلی



اولین نوسان‌ساز هارتلی لامپی ساخته شده توسط آقای رالف هارتلی

نحوهٔ محاسبه فرکانس مدار: فرکانس تولید شده توسط نوسان‌ساز از رابطه $F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LeqC}}$ به‌دست می‌آید. Leq سیم‌پیچ معادل مدار است.



$$L_{eq} = L_{F1} + L_{F2} + 2L_m \qquad ۵_۳$$

Leq = ضریب خودالقایی معادل

L_m = ضریب القای متقابل

L_{F1} و L_{F2} = ضریب خودالقای هر سیم‌پیچ‌برحسب هانری است.

مقدار L_m از رابطهٔ ۵ــ۴ قابل محاسبه است.

$$L_m = K\sqrt{L_{F1}L_{F2}} \qquad ۵_۴$$

L_m = ضریب القای متقابل برحسب هانری

K = ضریب کوپلاژ بین دو سیم‌پیچ است.

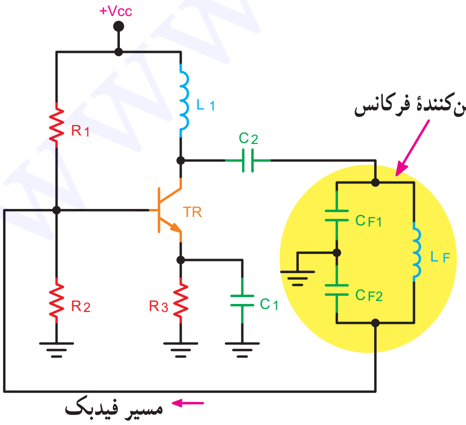
$K = \frac{\varphi_2}{\varphi_1}$

φ_2 = شار مغناطیسی سیم‌پیچ دوم

φ_1 = شار مغناطیسی سیم پیچ اول

۵ـ۹ـ۵ـ نوسان‌ساز با فیدبک از طریق تقسیم ولتاژ

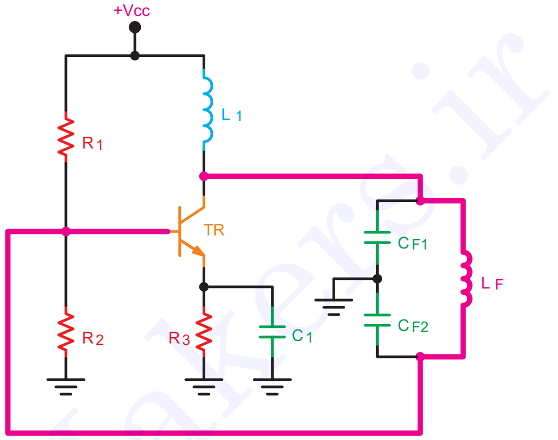
خازنی: در صورتی که فیدبک مدار از طریق تقسیم ولتاژ توسط خازن صورت گیرد، مدار نوسان‌ساز را کول‌پیتس (Colpitts) می‌نامند. در شکل ۳۱ــ۵ یک نمونه مدار نوسان‌ساز کول‌پیتس ترسیم شده است. مدار تقویت‌کنندهٔ این نوسان‌ساز از نوع امیتر مشترک است و مشابه مدار آرمسترانگ و هارتلی است. مدار تعیین‌کننده فرکانس، مجموعهٔ خازن‌های C_{F1}، C_{F2} و سیم‌پیچ L_F است. محل اتصال C_{F2} و C_{F1} به شاسی متصل شده است تا اختلاف فاز به‌وجود آمده توسط مدار امیتر مشترک را جبران کند. قسمتی از سیگنال خروجی که در دوسر C_{F2} قرار دارد به ورودی برگشت داده شده است و یک سر خازن C_{F2} به ورودی اتصال دارد.



شکل ۳۱ــ۵ــ مدار نوسان‌ساز کول‌پیتس

www.ControlMakers.ir

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 ۳۲ــ۵ به بیس اتصال می‌یابد و مدار تقویت‌کننده از نظر DC به درستی بایاس نمی‌شود.



شکل ۳۲ــ۵ــ وجود نداشتن خازن کوپلاژ C_2 کلکتور را به بیس اتصال می‌دهد.

ــ **فرکانس نوسان‌ساز کول پیتس:** مقدار فرکانس نوسان‌ساز از رابطه ۵ــ۵ قابل محاسبه است.

$$Fr=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_FCeq}}$$

$$\frac{1}{Ceq}=\frac{1}{C_{F1}}+\frac{1}{C_{F2}}\Rightarrow Ceq=\frac{C_{F1}C_{F2}}{C_{F1}+C_{F2}} \qquad ۵ــ۵$$

$F_r =$ فرکانس نوسان‌ساز برحسب هرتز

$L_F =$ مقدار اندوکتانس برحسب هانری

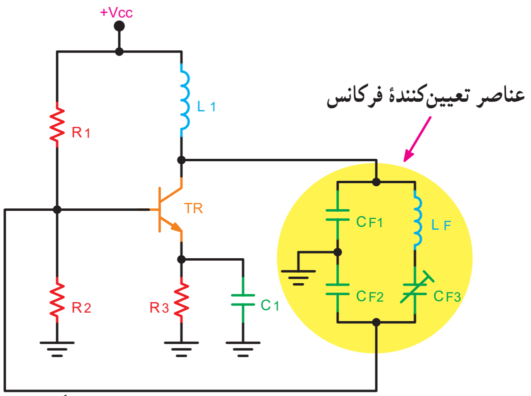
$Ceq =$ مقدار ظرفیت معادل برحسب فاراد

$$Fr=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_FCeq}} \qquad Ceq=\frac{C_{F1}C_{F2}}{C_{F1}+C_{F2}}$$

فرکانس رزونانس — اندوکتانس — خازن معادل مدار — خازن تقسیم ولتاژ — خازن فیدبک

۶ــ۹ــ۵ــ نوسان‌ساز کلاپ (Clapp): با تغییر کوچکی در نوسان‌ساز کول پیتس، نوسان‌ساز جدیدی به‌وجود می‌آید که آن را نوسان‌ساز کلاپ (Clapp) می‌نامند. در شکل۳۳ــ۵ مدار نوسان‌ساز کلاپ را ملاحظه می‌کنید. در این مدار خازن C_{F3} به صورت سری با L_F قرار دارد. این خازن دارای ظرفیت کم است و با سلف L_F به‌صورت سری قرار می گیرد. اصطلاحاً این خازن را تریمر Trimer می‌نامند. خازن تریمر را با نماد $\not\equiv$ نشان می‌دهند و برای تنظیم فرکانس تولید شده توسط نوسان‌ساز به‌کار می‌رود.

به علت وجود خازن C_{F3}، نیازی به خازن کوپلاژ در مسیر کلکتور به شبکهٔ برگشتی (مدار تعیین فرکانس) نیست. این نوع نوسان‌ساز را نوسان‌ساز اصلاح شدهٔ کول‌پیتس می‌نامند.



شکل ۳۳ــ۵ــ نوسان‌ساز کلاپ

ــ **فرکانس نوسان‌ساز کلاپ:** مقدار فرکانس رزونانس این نوسان‌ساز تابع هرسه خازن C_{F1}، C_{F2} و C_{F3} می‌شود. مقدار فرکانس این نوسان‌ساز از رابطهٔ۶ــ۵محاسبه می‌شود.

$$F_r=\frac{1}{2\pi\sqrt{L_FCeq}} \qquad ۵ــ۶$$

$F_r =$ فرکانس رزونانس برحسب هرتز

$L_F =$ ضریب خودالقای مدار تانک برحسب هانری

$Ceq =$ ظرفیت خازنی معادل برحسب فاراد

$$Ceq=\frac{1}{\frac{1}{C_{F1}}+\frac{1}{C_{F2}}+\frac{1}{C_{F3}}}$$

کار با نرم‌افزار

قابل توجه مربی محترم

توصیه می‌شود، مدار نوسان‌ساز کول‌پیتس و کلاپ را با استفاده از نرم‌افزار مولتی‌سیم یا هر نوع نرم‌افزار دیگر شبیه‌سازی کنید و نتایج را برای هنرجویان نمایش دهید.

www.ControlMakers.ir

www.ControlMakers.ir

در جدول ۱ــ۵ مشخصات انواع نوسان‌سازهای LC به اختصار آمده است.

جدول ۱ــ۵ــ مشخصات انواع نوسان‌سازهای LC

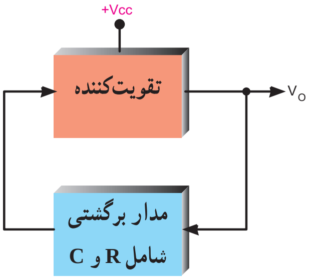
نوسان‌ساز	مشخصهٔ ویژه	مقدار فرکانس
آرمسترانگ Armstrong شکل ۲۱ــ۵	فیدبک خروجی به ورودی از طریق ترانسفورماتور صورت می‌گیرد سیم‌پیچ ثانویه را تیکلرکویل نیز می‌نامند.	$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}}$
هارتلی Hartly شکل ۳۰ــ۵	استفاده از تقسیم‌کنندهٔ ولتاژ سلفی در مدار فیدبک	$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{eq}C}}$
کولپیتس Colpitts شکل ۳۱ــ۵	استفاده از تقسیم‌کنندهٔ ولتاژ خازنی در مدار فیدبک	$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_F C_{eq}}}$
کلاپ Clapp شکل ۳۳ــ۵	نوع اصلاح شدهٔ نوسان‌ساز کولپیتس. اضافه شدن یک خازن به صورت سری با سیم‌پیچ مدار تانک	$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_F C_{eq}}}$

جهت دانش‌آموزان علاقه‌مند

اگر تاب را به عنوان یک نوسان‌ساز درنظر بگیریم عناصر این سیستم مکانیکی را با مدار نوسان‌ساز الکترونیکی مقایسه کنید. چه عامل یا عواملی باعث توقف نوسان‌های تاب می‌شود. این عامل یا عوامل با کدام عامل یا عوامل در مدار الکترونیکی قابل مقایسه است؟

۱۰ـ۵ـ نوسان‌ساز RC

در این نوسان‌سازها دو قسمت تقویت‌کننده و مدار برگشتی وجود دارد. مدار برگشتی معمولاً از R و C تشکیل می‌شود. شکل ۳۴ــ۵ مدار بلوکی این نوع نوسان‌سازها را نشان می‌دهد.

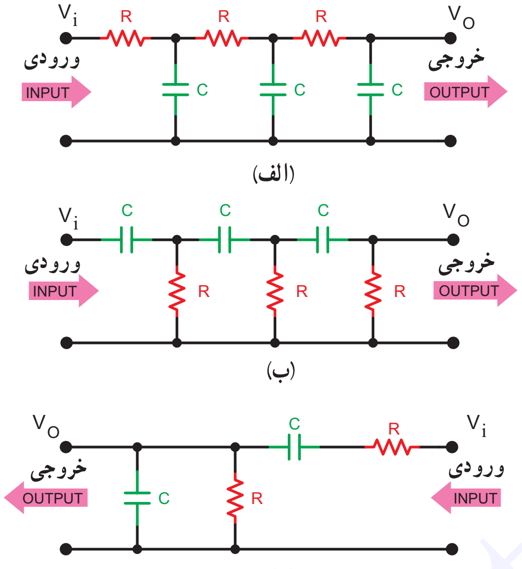


شکل ۳۴ــ۵ــ مدار بلوکی نوسان‌ساز RC

مانند سایر نوسان‌سازها لازم است دو شرط اصلی ایجاد نوسان یعنی اصل بارک‌هاوزن و فیدبک مثبت برقرارشود تا مدار نوسان پایداری را ایجاد کند.

شکل‌های ۳۵ــ۵ــ الف، ب و ج آرایش‌های مختلف شبکهٔ RC را نشان می‌دهد.

این نوسان‌سازها برای تولید فرکانس‌های تا حدود ۱۰۰KHz مناسب هستند.

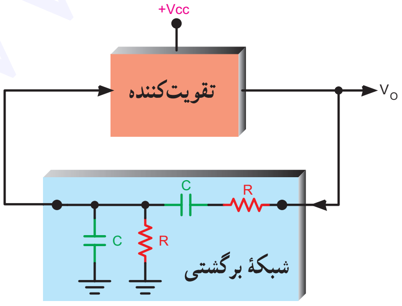


شکل ۳۵ــ۵ــ شبکهٔ RC

۱۰ـ۵ـ۱ـ نوسان‌ساز پل‌وین

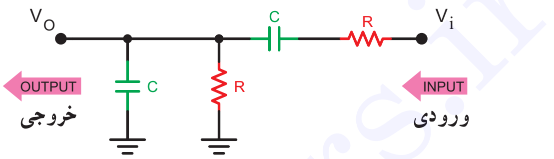
(Wein Bridge Oscillator) : نوسان‌ساز پل وین یک مولد سیگنال سینوسی با اعوجاج کم است. مدار این نوسان‌ساز از یک تقویت‌کننده و شبکه برگشتی RC تشکیل می‌شود.

شکل ۳۶ــ۵ نماد بلوکی تقویت‌کننده و شبکهٔ برگشتی نوسان‌ساز را نشان می‌دهد.



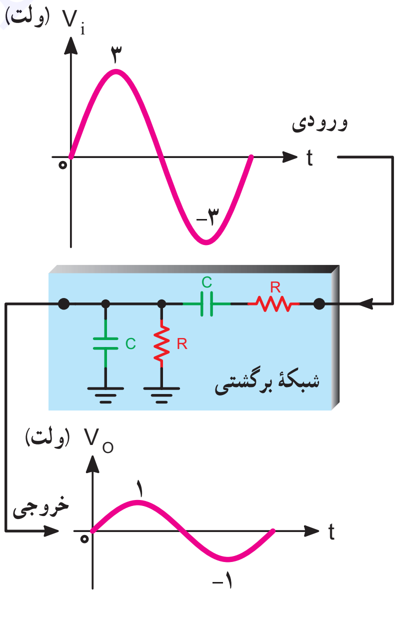
شکل ۳۶ــ۵ــ نماد بلوکی و شبکهٔ برگشتی نوسان‌ساز پل‌وین

شبکهٔ برگشتی شامل یک مدار R و C سری و یک مدار R و C موازی مطابق شکل ۳۷ـ۵ است. این مدار دامنه سیگنال ورودی خود را در فرکانس خاص نوسان‌ساز به اندازهٔ $\frac{۱}{۳}$ تضعیف می‌کند، در این مدار بین سیگنال‌های ورودی و خروجی هیچ اختلاف فازی به‌وجود نمی‌آید.



شکل ۳۷ـ۵ـ شبکهٔ برگشتی نوسان‌ساز

یعنی اگر به عنوان مثال دامنهٔ سیگنال ورودی شبکهٔ برگشتی ۳ ولت باشد سیگنال خروجی دارای دامنهٔ ۱ ولت است و بین سیگنال ورودی و خروجی هیچ اختلاف فازی وجود ندارد. شکل۳۸ـ۵ این مطلب را نشان می‌دهد.

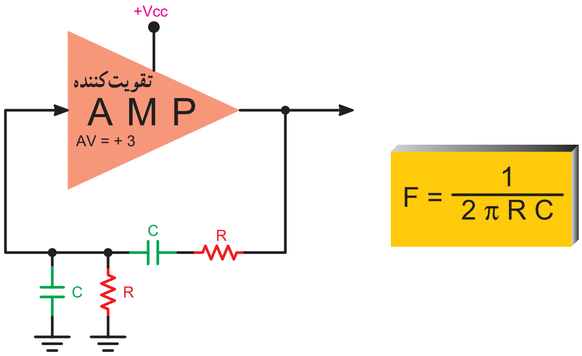


شکل ۳۸ـ۵ـ موج ورودی و خروجی شبکهٔ RC

برای برقراری اصل بارک‌هاوزن ($A_V \cdot B_V = ۱$) باید تقویت‌کننده مدار دارای بهرهٔ ولتاژ ۳+ باشد تا مدار نوسان کند.

شکل ۳۹ـ۵ مدار کلی نوسان‌ساز پل‌وین را نشان می‌دهد.

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



شکل ۳۹ـ۵ـ مدار کلی نوسان‌ساز پل‌وین

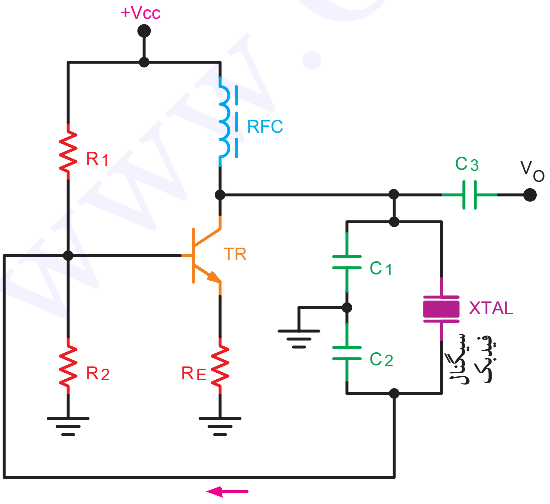
۵ـ۱۱ـ نوسان‌ساز کریستالی (Crystal oscillator)

عواملی نظیر درجه حرارت، تغییرات ولتاژ و سایر کمیت‌ها می‌توانند 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 درآید.

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

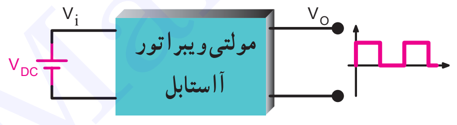
شکل ۴۰ـ۵ یک نوسان‌ساز کریستالی که کریستال در مدار تعیین فرکانس قرار گرفته است را نشان می‌دهد.



شکل ۴۰ـ۵ـ یک نمونه نوسان‌ساز کریستالی

۵-۱۲- نوسان‌ساز موج مربعی (مولتی‌ویبراتور) (multivibrator)

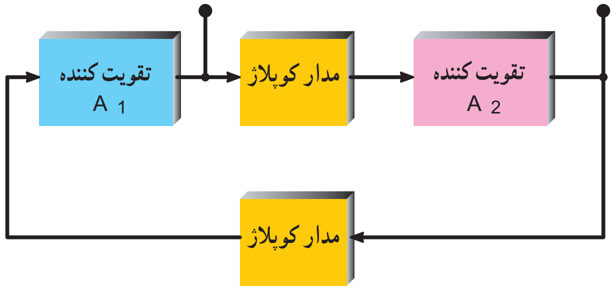
یکی از اجزاء اصلی مدارهایی که با پالس سروکار دارند و عمل کلیدزنی در آنها انجام می‌شود، مولتی‌ویبراتور است. مولتی‌ویبراتورها بسته به نوعشان کارهای مختلفی از قبیل تولید موج مربعی، ایجاد پالس‌هایی با عرض معین و غیره انجام می‌دهند. شکل ۴۱ــ۵ یک نوع مولتی‌ویبراتور را به صورت بلوکی و شکل موج خروجی آن را نشان می‌دهد. به مولتی ویبراتور چند ارتعاشگر نیز می‌گویند. مولتی‌ویبراتورها انواع مختلف دارند که یک نوع آن مولتی ویبراتور بی‌ثبات یا آاستابل(Astable) نام دارد که به تشریح مدار آن می‌پردازیم :



شکل ۴۱ــ۵ــ بلوک دیاگرام مولتی‌ویبراتور آاستابل و موج خروجی آن

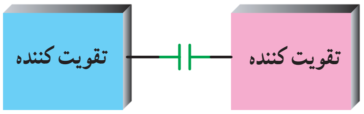
۵-۱۲-۱- بلوک دیاگرام کلی مولتی ویبراتورها:

در شکل ۴۲ــ۵ بلوک دیاگرام کلی مولتی‌ویبراتورها ترسیم شده است. هر مولتی ویبراتور از دو تقویت‌کننده و دو مدار کوپلاژ تشکیل شده است.

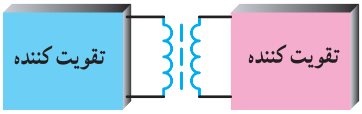


شکل ۴۲ــ۵ــ بلوک دیاگرام کلی مولتی‌ویبراتور

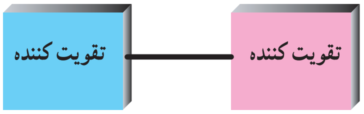
نوع کوپلاژ می‌تواند خازنی، سلفی (ترانسفورماتوری) یا مستقیم باشد. شکل‌های ۴۳ــ۵ تا ۴۵ــ۵ انواع کوپلاژ را بین دو طبقهٔ تقویت‌کننده، نشان می‌دهد.



شکل ۴۳ــ۵ــ کوپلاژ خازنی



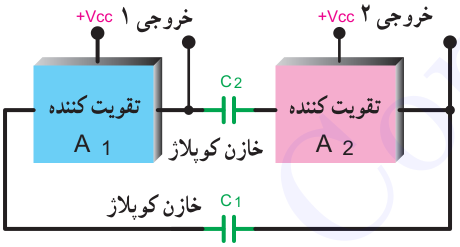
شکل ۴۴ــ۵ــ کوپلاژ ترانسفورماتوری



شکل ۴۵ــ۵ــ کوپلاژ مستقیم

۵-۱۲-۲- بلوک دیاگرام مولتی ویبراتور آاستابل

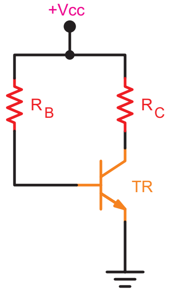
(Astable Multivibrator): در مولتی ویبراتور آاستابل معمولاً کوپلاژ دوطبقه تقویت‌کننده از نوع خازنی است. شکل ۴۶ــ۵ تقویت کننده را به صورت بلوکی و خازن کوپلاژ بین دوطبقه تقویت‌کننده را نشان می‌دهد. سیگنال خروجی هر تقویت‌کننده به وسیلهٔ خازن کوپلاژ به ورودی تقویت‌کنندهٔ دیگر اتصال می‌یابد.



شکل ۴۶ــ۵ــ مولتی‌ویبراتور و خازن کوپلاژ بین دو طبقه

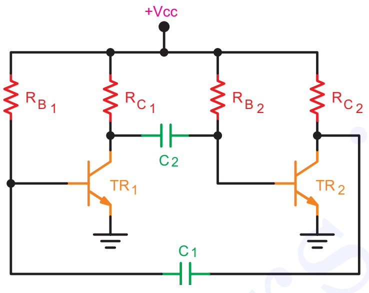
۵-۱۲-۳- مدار تقویت‌کننده در مولتی ویبراتور

آاستابل: تقویت‌کننده مولتی ویبراتور آاستابل معمولاً یک تقویت‌کننده با بایاس بیس با یک منبع ولتاژ مطابق شکل ۴۷ــ۵ است. نقطهٔ کار این تقویت‌کننده در منطقه فعال و نزدیک به اشباع درنظر گرفته می‌شود.

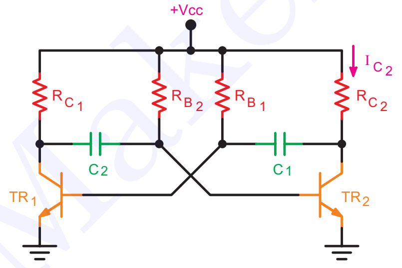


شکل ۴۷ــ۵ــ تقویت کننده درمولتی‌ویبراتور

۴ـ۱۲ـ۵ـ مدار مولتی ویبراتور آستابل: مدار مولتی ویبراتور آستابل به‌صورت شکل ۴۸ــ۵ است. می‌توان این مدار را به‌صورت شکل ۴۹ــ۵ هم ترسیم نمود.

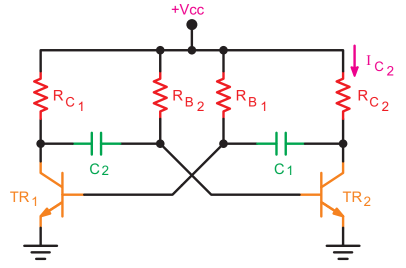


شکل ۴۸ــ۵ــ مدارمولتی‌ویبراتور آستابل



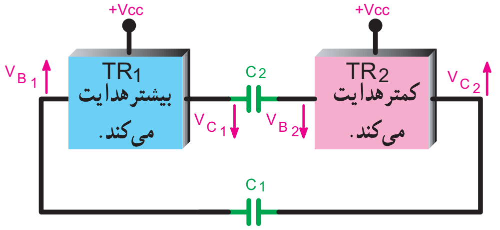
شکل ۴۹ــ۵ــ مدارمولتی‌ویبراتور آستابل

۵ـ۱۲ـ۵ـ طرز کار مدار: بعد از وصل منبع تغذیه هر دو ترانزیستور می‌توانند به‌طور یکسان در ناحیهٔ هدایت کار کنند. اگر کلیهٔ شرایط و مشخصات در مدار تقویت‌کننده یکسان باشد مدار بدون نوسان باقی می‌ماند (شکل ۵۰ــ۵).



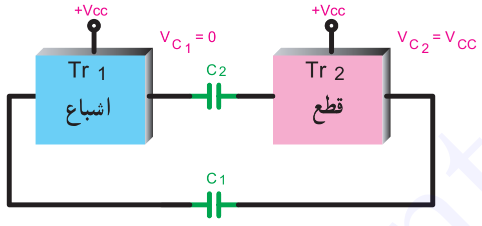
شکل ۵۰ــ۵ــ هر دو تقویت کننده از منبع تغذیه جریان می‌کشند.

اما در عمل چنین پدیده‌ای امکان‌پذیر نیست زیرا عواملی نظیر خطای مقاومت‌ها یا یکسان نبودن β ترانزیستورها سبب می‌گردد یک ترانزیستور بیشتر از ترانزیستور دیگر هدایت کند و از کلکتور آن جریان بیشتری عبور نماید. مثلاً ترانزیستور TR_1 هادی تراز ترانزیستور TR_2 باشد در این صورت 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 V_{C_2} افزایش می‌یابد. در شکل ۵۱ــ۵ افزایش و کاهش ولتاژها با فلش نشان داده شده است.



شکل ۵۱ــ۵ــ TR_1 هدایت بیشتر دارد و TR_2 کمترهدایت می‌کند.

(↑ معرف افزایش ولتاژ ↓ معرف کاهش ولتاژ) افزایش ولتاژ کلکتور TR_2 از طریق خازن C_1 پتانسیل بیس TR_1 را زیاد می‌کند و TR_1 هادی‌تر می‌گردد تا سرانجام TR_1 به اشباع می‌رود و TR_2 قطع می‌گردد (شکل ۵۲ــ۵).



شکل ۵۲ــ۵ــ TR_1 اشباع و TR_2 قطع است.

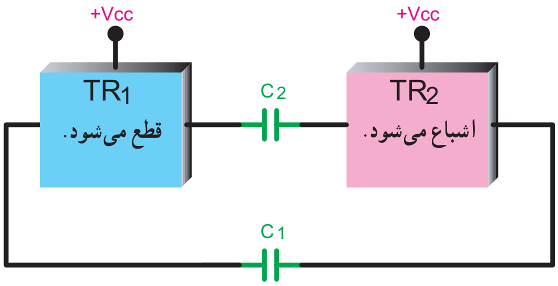
در زمان اشباع بودن TR_1 و قطع بودن TR_2 مقدار ولتاژ کلکتور ــ امیتر (V_{CE}) ترانزیستورها به صورت زیر است:

$$V_{CE\ Tr1} \simeq 0 \qquad V_{CE\ Tr2} = V_{CC}$$

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

در شکل ۵۳ــ۵ تغییر وضعیت ترانزیستور در بلوک مدار تقویت کننده نشان داده شده است.

www.ControlMakers.ir



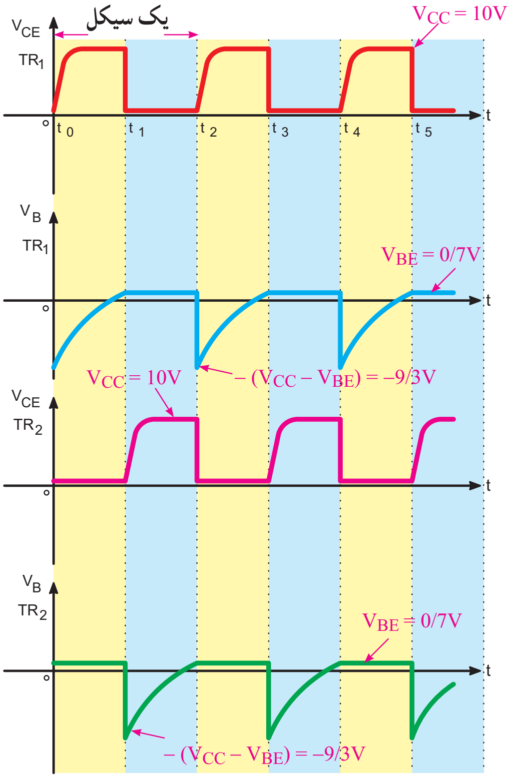
شکل ۵۳ــ۵ــ TR_1 قطع TR_2 اشباع شده است.

در این حالت ولتاژ کلکتور ترانزیستورها به صورت زیر است.

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

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

۶ـ۱۲ـ۵ـ شکل موج کلکتور و بیس 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 ۵۴ــ۵ دریافت نمود. در این شکل، ولتاژ بیس ترانزیستورها رسم شده است.



شکل ۵۴ــ۵ــ شکل موج‌های ولتاژ نقاط مختلف مولتی‌ویبراتور

نکتهٔ مهم

ولتاژ قطع منفی بیس ترانزیستورها از طریق ولتاژ شارژ خازن‌ها به دست می‌آید.

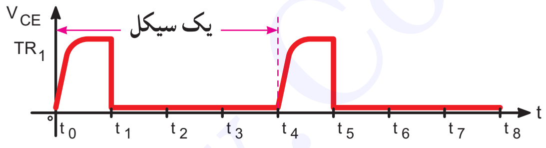
۷ـ۱۲ـ۵ـ فرکانس مولتی ویبراتور بی‌ثبات: پریود نوسان‌های ایجاد شده توسط مولتی ویبراتور از رابطهٔ $T = 0/7(R_{B1}C_1 + R_{B2}C_2)$ به‌دست می‌آید. لذا فرکانس نوسان‌ها از رابطهٔ $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0/7(R_{B1}C_1 + R_{B2}C_2)}$ محاسبه می‌گردد.

اگر $R_{B1} = R_{B2} = R_B$ و $C_1 = C_2 = C$ باشد موج مربعی ایجاد شده کاملاً متقارن است: در این صورت می‌توان فرکانس موج را از رابطهٔ $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1/4R_BC}$ به‌دست آورد.

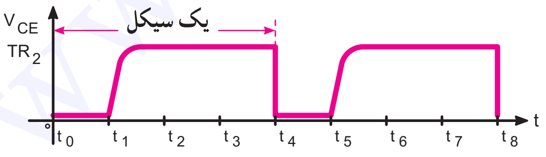
جهت دانش‌آموزان علاقه‌مند

تحقیق کنید، به چه دلیل ولتاژهای نشان داده شده در شکل ظاهر می‌شود.

چنانچه R_{B1} با R_{B2} یا C_1 با C_2 برابر نباشد موج مربعی نامتقارن و به صورت شکل‌های ۵۵ــ۵ و ۵۶ــ۵ است.



شکل ۵۵ ــ ۵ ــ شکل موج کلکتورـ امیتر ترانزیستور TR_1



شکل ۵۶ــ۵ــ شکل موج کلکتورـ امیتر ترانزیستور TR_2

مولتی ویبراتورهای مونواستابل و بی‌استابل نیز وجود دارند که با توجه به نیاز در مورد آنها بحث خواهد شد.

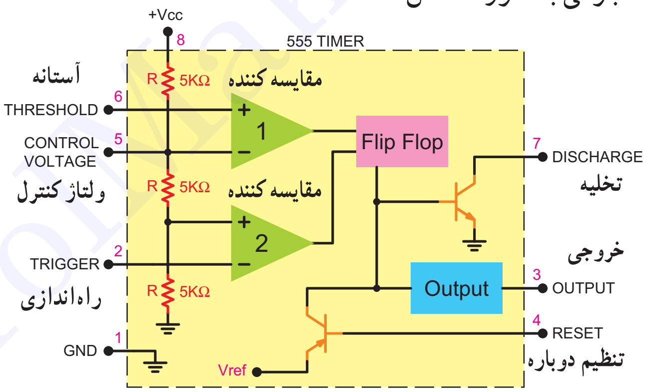
کار با نرم‌افزار

قابل توجه مربی محترم

توصیه می‌شود، انواع مولتی‌ویبراتور را با استفاده از شبیه‌سازی مورد بررسی قرار دهید.

۱۳ـ۵ـ مولد موج مربعی توسط آی‌سی ۵۵۵

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 نوسان‌سازهای مربعی، در تایمرها، در مدارهای آژیر و غیره استفاده نمود. مدار داخلی آی‌سی از نظر بلوکی به صورت شکل ۵۷ــ۵ است.

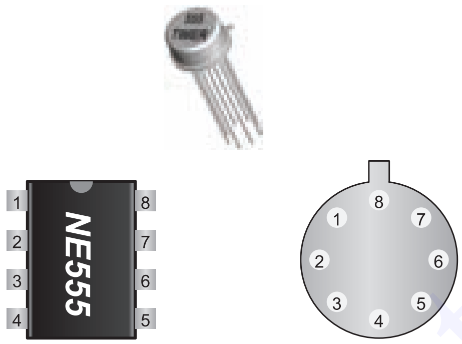


شکل ۵۷ــ۵ــ بلوک دیاگرام مدار داخلی آی‌سی۵۵۵

مدار شکل ۵۷ــ۵ صرفاً به خاطر آشنایی آمده است و توضیحات آن منوط به کسب اطلاعات بیشتر است که به تدریج در درس الکترونیک عمومی ۲ و دیجیتال فراخواهید گرفت. لذا از این مدار در سؤالات امتحانی پرسش نخواهد شد.

محفظهٔ آی‌سی: آی‌سی ۵۵۵ به دوصورت TO‌ــ۹۹ و DIP (دوطرفه) (Dual inline package) ساخته می‌شود. در شکل۵۸ــ۵ نوع محفظه‌ها و شمارهٔ پایه‌های آی‌سی مشخص شده است.

شماره و نام پایه‌ها و شرح مختصر عملکرد پایه‌ها در آی‌سی ۵۵۵ در جدول ۲ــ۵ آمده است.



شکل ۵۸ــ۵ــ نوع محفظه‌ها و شمارهٔ پایه‌های آی سی ۵۵۵

جدول ۲ــ۵ــ شماره و نام پایه‌های آی‌سی ۵۵۵

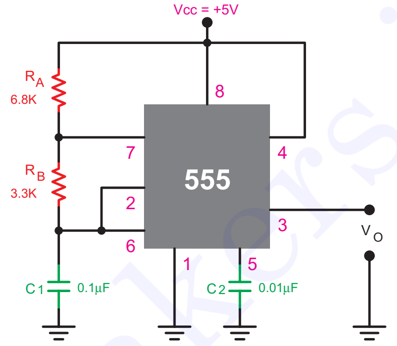
شمارهٔ پایه	نام پایه	معادل انگلیسی پایه	عملکرد پایه به اختصار
۱	مشترک یا زمین	GND	پایهٔ زمین یا پایهٔ مشترک آی‌سی است.
۲	راه‌انداز	Trigger	ولتاژ این پایه سطح خروجی آی‌سی را در پایین یا بالا تعیین می‌کند.
۳	خروجی	output	از این پایه سیگنال خروجی آی‌سی دریافت می‌شود.
۴	تنظیم دوباره	Reset	از طریق ولتاژ این 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. (شکل ۵۷ــ۵)
۷	تخلیه	Discharge	تخلیه خازن C_1 از طریق این پایه انجام می‌گیرد. (شکل ۵۷ــ۵)
۸	تغذیهٔ مثبت یا +VCC	+VCC	محل اتصال تغذیهٔ (+VCC) مقدار VCC بین ۵ تا ۱۸ ولت است.

www.ControlMakers.ir

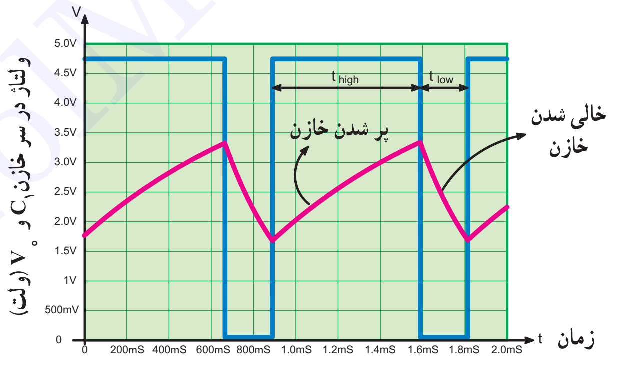
۵-۱۳-۱- مدار مولد موج مربعی توسط آی‌سی ۵۵۵

۵۵۵ : در شکل مدار ۵ــ۵۹ 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 ۵ــ۶۰ است.



شکل ۵۹ــ۵ــ مدار یک نوسان‌ساز موج مربعی با آی‌سی ۵۵۵



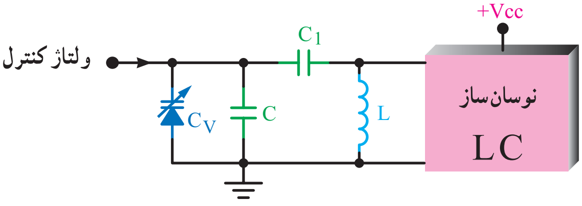
شکل ۶۰ــ۵ــ شکل موج دو سرخازن C_1 و خروجی مدار

۵-۱۴-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.

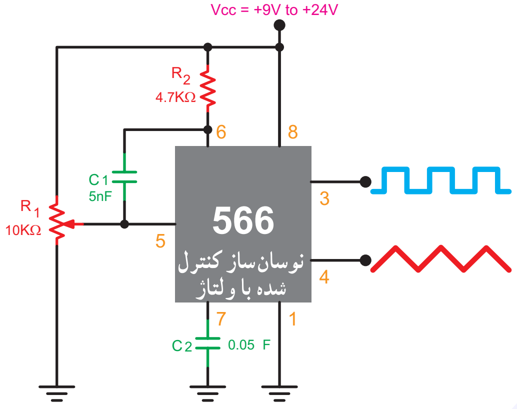
در شکل ۵ــ۶۱ نوسان‌ساز LC به صورت بلوکی و مدار رزونانس آن همراه با دیود خازنی رسم شده است.

با تغییر ولتاژ کنترل، ظرفیت دیود خازنی تغییر می‌کند و خازن معادل مدار تانک را تغییر می‌دهد و فرکانس نوسان‌ساز تغییر می‌کند.



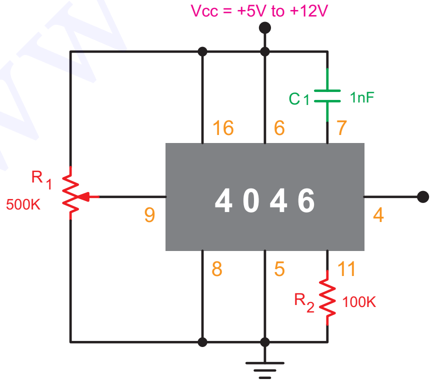
شکل ۶۱ــ۵ــ نوسان‌ساز با دیود خازنی

شکل ۶۲ــ۵ یک نوسان‌ساز VCO را که توسط آی‌سی ۵۶۶ دو نوع موج مربعی و مثلثی را تولید نموده است، نشان می‌دهد. ولتاژ کنترل از طریق پتانسیومتر R_1 به پایهٔ ۵ آی‌سی اعمال می‌شود.



شکل ۶۲ــ۵ــ نوسان‌ساز کنترل شده با ولتاژ(VCO)

مدار یک نمونه دیگر نوسان‌ساز VCO با استفاده از آی‌سی ۴۰۴۶ در شکل ۵ــ۶۳ رسم شده است. فرکانس سیگنال خروجی در محدودهٔ شنوایی و حدود ۱ کیلوهرتز تا ۱۸ کیلوهرتز است. با تغییر پتانسیومتر می‌توان فرکانس موج خروجی را تغییر داد. برای شنیدن سیگنال صوتی، خروجی مدار را باید به آمپلی‌فایر وصل نمود.



شکل ۶۳ــ۵ــ یک نمونه نوسان‌ساز VCO با آی‌سی ۴۰۴۶

در صورتی که در کلاس پرسشی مطرح می‌شود، سعی کنید در مورد آن فکر کنید و داوطلبانه به آن پاسخ دهید. هرگز از این هراس نداشته باشید که ممکن است پاسخ شما درست نباشد.

کار با نرم‌افزار

قابل توجه مربی محترم

توصیه می‌شود، انواع نوسان‌ساز را با استفاده از IC شماره ۵۵۵ به وسیلهٔ نرم‌افزارهای در دسترس شبیه‌سازی کنید و نتایج را برای هنرجویان نمایش دهید.

۵ـ۱۵ـ الگوی پرسش

۱ــ انواع نوسان‌سازها را از نظر شبکهٔ تعیین‌کننده فرکانس نام ببرید.

۲ــ انواع نوسان‌سازها را از نظر نوع فیدبک نام ببرید.

۳ــ در نوسان‌ساز آرمسترانگ مسأله اختلاف فاز ۱۸۰ درجه ناشی از تقویت‌کننده امیتر مشترک را چگونه جبران می‌کنند؟

۴ــ تفاوت نوسان‌ساز هارتلی را با آرمسترانگ شرح دهید.

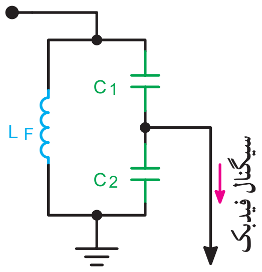
۵ــ تفاوت نوسان‌ساز کلاپ با کول‌پیتس در چیست؟ شرح دهید.

۶ــ اختلاف فاز ناشی از تقویت‌کننده امیتر مشترک در نوسان سازهای هارتلی و کول‌پیتس چگونه جبران می‌شود؟ شرح دهید.

۷ــ مدار شکل ۵ـ۳۰ را به‌طور کامل مورد تجزیه و تحلیل قرار دهید.

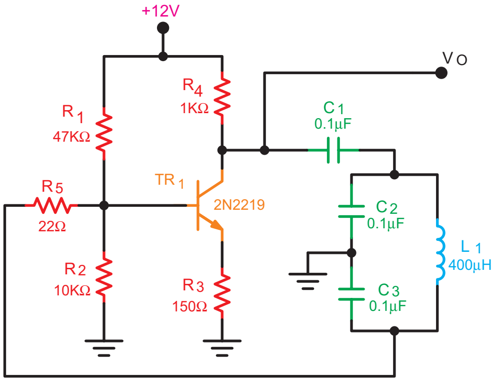
۸ ــ فرکانس نوسان‌سازهای هارتلی، آرمسترانگ، کول‌پیتس و کلاپ براساس چه روابطی تعیین می‌شوند؟

۹ــ مدار تعیین فرکانس شکل ۵ـ۶۴ مربوط به چه نوع نوسان‌سازی است؟ تقویت‌کنندهٔ این مدار تعیین فرکانس، چه آرایشی باید داشته باشد تا مدار نوسان کند؟



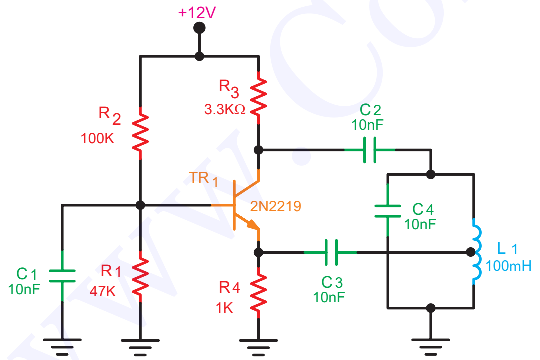
شکل ۵ـ۶۴

۱۰ــ فرکانس کار نوسان‌ساز شکل ۵ـ۶۵ را محاسبه کنید.



شکل ۵ـ۶۵

۱۱ــ نقش خازن‌های C_1 ، C_2 و C_3 را در نوسان‌ساز شکل ۵ـ۶۶ توضیح دهید.



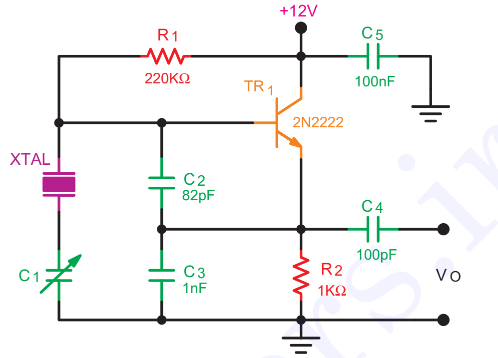
شکل ۵ـ۶۶

۱۲ــ مدار تعیین فرکانس نوسان‌ساز RC پل‌وین را رسم کنید.

بهرهٔ ولتاژ تقویت‌کننده در این نوع نوسان‌سازها چه‌قدر است؟

www.ControlMakers.ir

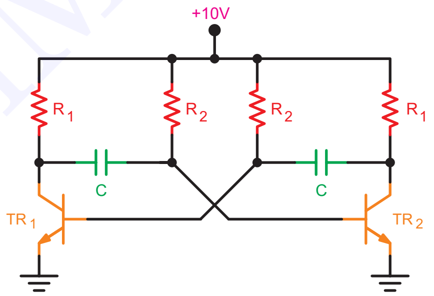
۱۳ــ نوسان‌ساز شکل ۶۷ــ۵ از نظر شبکهٔ تعیین فرکانس و از نظر نوع فیدبک چه نام دارد؟



شکل ۶۷ــ۵

کامل کردنی

۱۴ــ عوامل تعیین فرکانس نوسان‌ساز شکل ۶۸ــ۵ عناصر .... هستند.



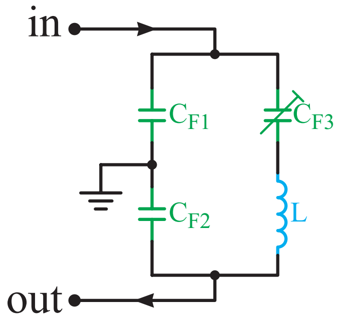
شکل ۶۸ــ۵

چهارگزینه‌ای

۱۵ــ مدار تعیین فرکانس شکل ۶۹ــ۵ مربوط به چه نوع نوسان‌سازی است؟

۱) هارتلی　　　　۲) کولپیتس

۳) آرمسترانگ　　　　۴) کلاپ



شکل ۶۹ــ۵

www.ControlMakers.ir