آزمایش شمارهٔ ۹

زمان اجرا: ۲۴ ساعت

نوسان‌سازها

هدف کلی آزمایش

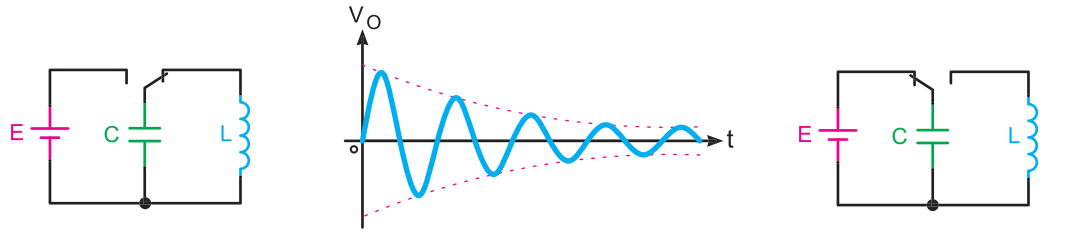
آموزش اصول نوسان‌سازی از بُعد عملی و بررسی آزمایشگاهی چند نمونه مدار نوسان‌ساز سینوسی LC و RC و نوسان‌ساز مولد موج مربعی با ترانزیستور و آی‌سی

هدف‌های رفتاری: در پایان این آزمایش، از فراگیرنده انتظار می‌رود :

	زمان پیشنهادی برای آموزش نظری	عملی
■ به سؤالات نظری و کارگاهی آزمایش شمارهٔ ۸ پاسخ دهد.		۴۵′
■ یک سیم‌پیچ جهت مدار تانک طراحی و سیم‌پیچی کند.		۹۰′
■ مدار تانک را ببندد و نوسان‌های میراشونده را تولید و شکل موج آن را رسم کند.		۴۵′
■ نحوهٔ تولید نوسان‌های میراشونده را شرح دهد.	۳۰′	
■ مدار یک نمونه نوسان‌ساز آرمسترانگ یا هارتلی یا کول‌پیتس را ببندد و آن را راه‌اندازی کند.		۹۰′
■ سبب به‌وجود آمدن نوسان‌ها را در نوسان‌ساز تشریح کند.	۳۰′	
■ فرکانس رزونانس نوسان‌ساز مورد آزمایش را به‌صورت تئوری محاسبه کند.	۳۰′	
■ موج ایجاد شده توسط نوسان‌ساز را مشاهده و رسم کند و فرکانس آن را اندازه بگیرد.		۴۵′
■ نوسان‌ساز RC (پل‌وین) را با آی‌سی ببندد و آن را راه‌اندازی کند.		۹۰′
■ فرکانس رزونانس نوسان ایجاد شده را به صورت تئوری محاسبه کند.		۳۰′
■ موج ایجاد شده توسط نوسان‌ساز را مشاهده و رسم کند، پریود و فرکانس آن را اندازه بگیرد.		۳۰′
■ نوسان‌ساز موج مربعی را با ترانزیستور (مولتی‌ویبراتور) ببندد و آن را راه‌اندازی کند.		۹۰′
■ شکل موج نقاط مختلف نوسان‌ساز را رسم کند و پریود و فرکانس آن را اندازه بگیرد.		۶۰′
■ نوسان‌ساز موج مربعی را با آی‌سی ۵۵۵ ببندد و آن را راه‌اندازی کند.		۹۰′
■ شکل موج خروجی نوسان‌ساز را رسم کند و فرکانس آن را اندازه بگیرد.		۴۵′
■ با استفاده از نرم‌افزارها موارد فوق را اجرا کند.		۲۴۰′
■ گزارش کار جامعی از مراحل عملی آزمایش‌ها تهیه کند و آن را در دفتر گزارش کار و فعالیت‌های آزمایشگاهی بنویسد (خارج از محیط آزمایشگاه).		
■ کلیهٔ هدف‌های رفتاری در حیطهٔ عاطفی که در آزمایش شمارهٔ ۱ آمده است را باید در این آزمایش مورد توجه قرار دهد.		

۱ــ۹ــ اطّلاعات اوّلیه

می‌دانیم هرگاه یک سیم‌پیچ با یک خازن به صورت موازی بسته شود ؛ مدار تانک شکل می‌گیرد. با اعمال یک پالس به مدار تانک، انرژی در خازن ذخیره می‌شود. این انرژی در داخل سیم‌پیچ تخلیه می‌شود و میدانی را در اطراف آن به وجود می‌آورد. وقتی خازن کاملاً دشارژ شد، انرژی ذخیره شده در سیم‌پیچ خازن را مجدّداً شارژ می‌کند و نوسان‌ها تداوم می‌یابد. در شکل ۱ــ۹ــ الف نحوهٔ شارژ خازن (تولید پالس) و در شکل ۱ــ۹ــ ب نحوهٔ تولید نوسان در مدار تانک، نشان داده شده است.



الف ــ خازن شارژ می‌شود　　نوسان‌های میرا　　ب ــ مدار تانک نوسان می‌کند

شکل ۱ــ۹ــ تولید نوسان در مدار تانک

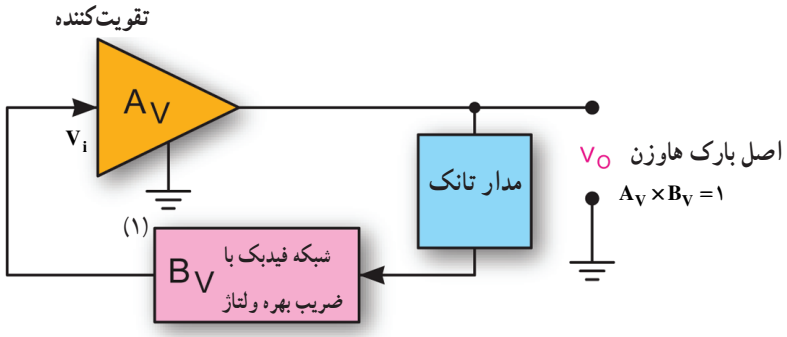
در صورتی که مقاومت اهمی سیم‌پیچ صفر و مقاومت عایق خازن بی‌نهایت باشد، نوسان‌ها پایدار خواهد شد. از آن‌جا که عملاً این مقادیر صفر و بی‌نهایت نیستند، نوسان‌ها پایدار نخواهد بود و بعد از مدّت زمان معیّنی، که مقدار آن به مقاومت سیم‌پیچ بستگی دارد، میرا می‌شود. فرکانس نوسان‌ها از رابطهٔ $F_r = \frac{۱}{۲\pi\sqrt{LC}}$ قابل محاسبه است.

برای پایدار کردن نوسان‌های میراشونده از تقویت‌کننده و مدار فیدبک استفاده می‌شود. طبق اصل بارک هاوزن زمانی نوسان‌ها پایدار می‌شود که ضریب تقویت ولتاژ در مدار فیدبک از نظر عددی برابر با عکس ضریب تقویت ولتاژ مدار تقویت‌کننده شود. در شکل ۲ــ۹، بلوک دیاگرام یک نوسان‌ساز رسم شده است. در اغلب نوسان‌سازها از مدار تانک به عنوان شبکه فیدبک استفاده می‌شود.

$$B_V = \frac{\text{خروجی شبکهٔ فیدبک}}{\text{ورودی شبکهٔ فیدبک}}$$

$$B_V = \frac{V_i}{V_o}$$

$$B_V = \frac{۱}{A_V}$$

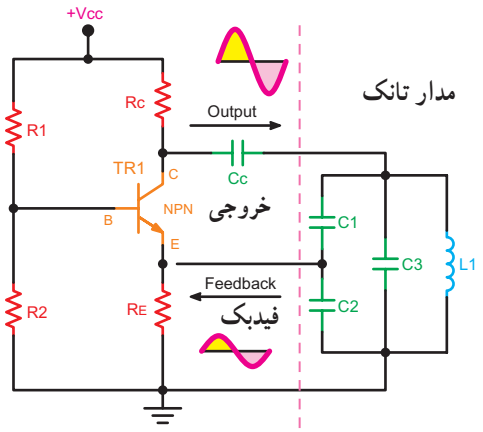


شکل ۲ــ۹ــ بلوک دیاگرام نوسان‌ساز

۱ــ ضریب تقویت شبکه فیدبک را با B_V نشان داده‌ایم. عکس B_V ($\frac{۱}{B_V}$) را ضریب تضعیف شبکهٔ فیدبک می‌نامند.

برای کسب اطّلاعات بیش‌تر در این مورد، به کتاب مبانی مخابرات و رادیو مراجعه کنید.

با توجّه به نحوهٔ فیدبک و آرایش مدار، انواع نوسان‌سازهای هارتلی، آرمسترانگ، کول‌پیتس و... شکل می‌گیرد. نوسان‌ساز مورد آزمایش، یک نوسان‌ساز کول‌پیتس است، که از نظر آرایش مدار تقویت‌کننده، به صورت بیس مشترک است (شکل ۳ــ۹).



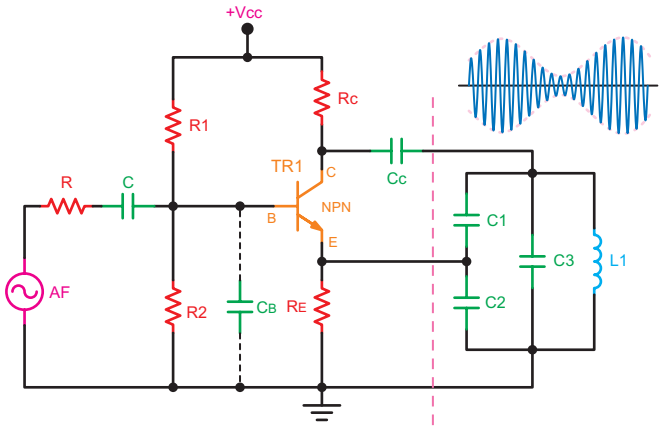
شکل ۳ــ۹ــ نوسان‌ساز کول‌پیتس

مقاومت‌های R_1 و R_2 از طریق خطّ تغذیه، ولتاژ بیس را تأمین می‌کنند. مقاومت R_E، ضمن تثبیت حرارت، به عنوان مقاومت ورودی امیتر نیز استفاده شده است. مقاومت R_C به انضمام مدار تانک، متشکّل از L_1، C_1، C_2 و C_3، بار کلکتور را تشکیل می‌دهد. چون ورودی به امیتر و خروجی از کلکتور دریافت شده است، لذا ترانزیستور به صورت بیس مشترک است. مقاومت R_C، ولتاژ V_{CC} را به کلکتور می‌رساند و ترانزیستور را بایاس می‌کند.

خازن‌های C_1 و C_2، ولتاژ خروجی را تقسیم می‌کنند. ولتاژ دو سر C_2، که جزئی از ولتاژ خروجی است، به دو سر مقاومت R_E، که ورودی مدار تقویت‌کننده است، اعمال می‌شود. چون مدار به صورت بیس مشترک اتّصال دارد، به ایجاد اختلاف فاز، بین ورودی و خروجی نیاز نخواهد بود. مقادیر مقاومت‌های R_1، R_2، R_C و R_E و خازن‌های C_1 و C_2 باید طوری انتخاب شود که اصل بارک هاوزن در مدار صدق کند. در غیر این صورت، مدار نوسان نخواهد کرد.

نسبت خازن‌های C_1 و C_2 از اهمیّت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا عملاً مقدار ظرفیت این خازن‌هاست که ضریب تضعیف مدار را تعیین می‌کند. نقطهٔ کار مدار نیز در پایدار شدن نوسان‌ها دخالت مستقیم دارد. زیرا با جابه‌جایی نقطهٔ کار، امپدانس ورودی و خروجی مدار تغییر می‌کند و مقدار A_V کم و زیاد می‌شود و در نهایت ممکن است شرایطی پدید آید که $A_V.B_V$ (ضریب تقویت تقویت‌کننده × ضریب تقویت شبکه فیدبک) مساوی یک نشود و مدار از نوسان بیفتد.

با قرار دادن یک خازن بین بیس و شاسی، می‌توان میزان A_V مدار را افزایش داد. در شکل ۴ــ۹ این خازن با خط‌چین نشان داده شده است. چون می‌خواهیم از این مدار، به عنوان مدولاتور، نیز استفاده کنیم از این رو مدار طوری طراحی شده است که نیازی به خازن بای‌پاس بیس ندارد.



شکل ۴ــ۹ــ مدولاتور AM

با اعمال ولتاژ مدوله‌کنندهٔ مناسب به بیس ترانزیستور، مدار اسیلاتور تبدیل به مدولاتور AM می‌شود. در شکل ۴ــ۹ نحوهٔ تبدیل اسیلاتور را به مدولاتور نشان داده‌ایم.

مقدار فرکانس نوسان‌ساز، به ظرفیّت خازن‌های C_1، C_2 و C_3، ضریب خودالقای سیم‌پیچ L_1 و امپدانس ورودی و خروجی مدار ترانزیستوری بستگی دارد. چنان‌چه از امپدانس‌های ورودی و خروجی صرف‌نظر کنیم، مقدار فرکانس

رزونانس به صورت زیر قابل محاسبه است :

$$\frac{1}{C_{12}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$C_{12} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C_{eq} = C_{12} \| C_3 = C_{12} + C_3$$

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_{eq}}}$$

مجدّداً یادآور می‌شود که چون مدار به صورت بیس مشترک اتّصال دارد، نیازی به ایجاد اختلاف فاز بین ورودی و خروجی نیست.

۲ــ۹ــ دستورهای حفاظت و ایمنی

▲ ابتدا منبع تغذیه را روی ولتاژ مورد نظر تنظیم کنید، سپس تغذیه را به مدار وصل کنید.

▲ در هنگام اتصال پروب وسایل اندازه‌گیری به مدار آزمایش دقت کنید، تا اتصال کوتاه در مدار رخ ندهد.

▲ هنگام اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی، توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری، از حوزهٔ صحیح کار و گسترهٔ مناسب آن استفاده کنید.

۳ــ۹ــ قطعات و تجهیزات مورد نیاز

- منبع تغذیه ۰ــ۳۰ ولت یک دستگاه
- اسیلوسکوپ دوکاناله یک دستگاه
- بردبرد یک قطعه
- مقاومت‌های ۱۲۰KΩ، ۳۳KΩ ، ۱۵۰KΩ، ۴۷KΩ

از هر کدام یک عدد

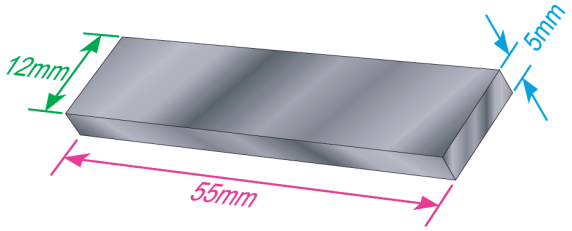
- خازن ۰/۱ میکروفاراد ۲ عدد ــ خازن ۳۳۰ پیکوفاراد ۲۲۰ پیکوفاراد از هرکدام یک عدد، خازن ۶۸۰ پیکوفاراد یک عدد
- سلف ۱۰۰μH با هستهٔ فریتی
- ترانزیستور معمولی برای کاربرد عمومی General purpose با hfe برابر با ۷۵ تا ۱۲۰ مانند BC ۳۳۷ ، ۲SC۹۴۵

یا هر نوع ترانزیستور عمومی دیگر یک عدد

۴ــ۹ــ مراحل اجرای آزمایش (قسمت اول)

موارد‌ی که با ستاره (*) مشخص شده است و هدف کلی آزمایش را در کتاب گزارش کار و فعالیت‌های آزمایشگاهی نوشته شود.

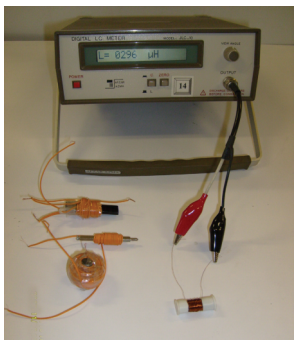
۱ــ۴ــ۹ــ ساختن سیم‌پیچ برای نوسان‌ساز: برای ساختن سلف نوسان‌ساز، که دارای ضریب خودالقایی حدود ۳۰۰ میکروهانری است، می‌توانید هستهٔ فریتی مطابق شکل ۵ــ۹ را با ابعاد نشان داده شده انتخاب کنید.



شکل ۵ــ۹ــ هسته فریتی برای سلف مورد نظر

در صورتی که سیم‌پیچ ۳۰۰ میکروهانری یا سه عدد سیم‌پیچ ۱۰۰ میکروهانری در اختیار دارید، اجرای این قسمت اجباری نیست.

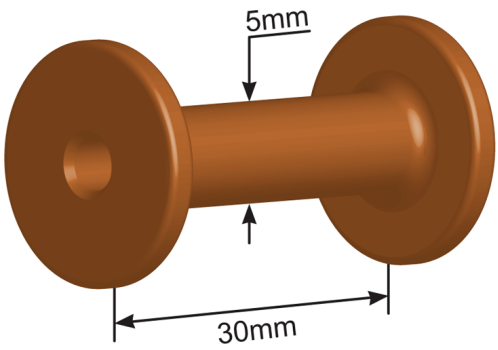
۲ــ۴ــ۹ــ روی هسته را حدود ۷۵ دور سیم تلفنی روکش‌دار یا هر نوع سیم‌دیگر بپیچید. سیم‌پیچ با ضریب خودالقایی حدود ۳۰۰μH ساخته می‌شود. شکل ۶ــ۹ سیم‌پیچ ساخته شده و مقدار اندوکتانس آن را توسط دستگاه پل LCR متر نشان می‌دهد.



شکل ۶ــ۹ــ سیم‌پیچ ۳۰۰ میکروهانری

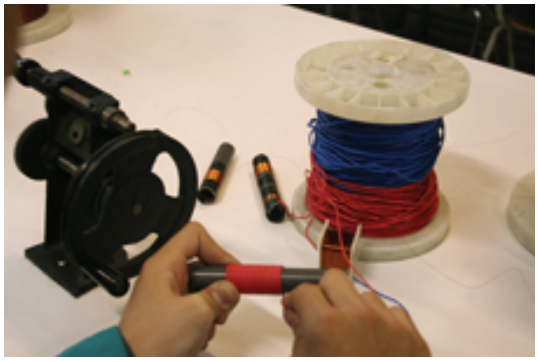
می‌توانید از هستهٔ فریتی استوانه‌ای و قرقرهٔ مناسب آن برای ساختن سیم‌پیچ استفاده کنید.

شکل ۷ــ۹ این قرقره و ابعاد آن را نشان می‌دهد.



شکل ۷ــ۹ــ قرقره سیم‌پیچ

اگر حدود ۷۵ تا ۸۰ دور سیم لاکی ۰/۲۰ را روی این هستهٔ فریتی بپیچید سلفی با ضریب خودالقایی حدود ۳۰۰ میکروهانری به‌وجود می‌آید. شکل ۸ــ۹ نمونهٔ ساخته شدهٔ این سیم‌پیچ را نشان می‌دهد.



شکل ۸ــ۹ــ یک نمونه دیگر سلف ۳۰۰μH

۳ــ۴ــ۹ــ پس از ساختن سیم‌پیچ از پل LCR متر استفاده کنید و ضریب خودالقایی سیم‌پیچ ساخته شده را اندازه بگیرید. در صورتی که ضریب خودالقایی سیم‌پیچ، ۳۰۰ میکروهانری نباشد با کم و یا زیاد کردن تعداد دور سیم، ضریب خودالقایی را برابر با ۳۰۰ میکروهانری تنظیم کنید.

توجه داشته باشید بعد از پیچیدن سیم روی قرقره، روی سیم را با چسب کاغذی و یا هر چسب دیگری محکم کنید، تا سیم پیچیده شده باز نشود و لایه‌های سیم‌پیچ از هم جدا نگردد.

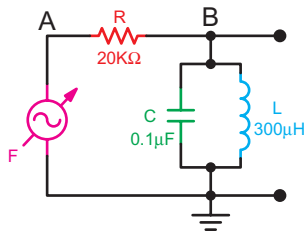
توجه

در صورتی که ابعاد فریت شما با ابعاد داده شده متفاوت است با تغییر تعداد دور و با استفاده از LCR متر، به سلف ۳۰۰ میکروهانری برسید.

۴ــ۴ــ۹ــ در صورتی که این مرحله از آزمایش را اجرا کردید خلاصه‌ای از مراحل ساخت را در دفتر گزارش کار و فعالیت‌های آزمایشگاهی بنویسید.

۵ــ۹ــ مراحل اجرای آزمایش مشاهدهٔ نوسان‌های میراشونده (قسمت دوم)

*۱ــ۵ــ۹ــ مدار شکل ۹ــ۹ را روی بِرد بُرد ببندید. مدار را رسم کنید.



شکل ۹ــ۹ــ مدار نوسان‌های میراشونده

۲ــ۵ــ۹ــ فانکشن ژنراتور را روی سیگنال مربعی قرار دهید و فرکانس آن را روی یک کیلوهرتز تنظیم کنید و دامنهٔ خروجی فانکشن ژنراتور را روی بیش‌ترین مقدار بگذارید. در صورتی که سیگنال میرا ظاهر نشد دامنه و فرکانس فانکشن ژنراتور را کمی تغییر دهید.

۳ــ۵ــ۹ــ پروب کانال یک اسیلوسکوپ را به نقطهٔ A و پروب کانال دو اسیلوسکوپ را به نقطهٔ B متصل کنید.

۴ــ۵ــ۹ــ کلید DC-GND-AC اسیلوسکوپ را در وضعیت AC بگذارید.

*۵ــ۵ــ۹ــ شکل موج نقاط A و B را روی نمودارهای ۱ــ۹ و ۲ــ۹ رسم کنید.

*۶ــ۵ــ۹ــ روی کدام لبهٔ موج مربعی نوسان‌های میراشونده ظاهر شده است؟ شرح دهید.

* **۷ــ۵ــ۹ــ** فرکانس نوسان‌های میراشونده را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

* **۸ــ۵ــ۹ــ** تعیین کنید فرکانس اندازه‌گیری شده چند برابر فرکانس ورودی است؟ شرح دهید.

* **۹ــ۵ــ۹ــ** مقدار فرکانس ورودی را یک بار روی ۵ کیلوهرتز و بار دیگر روی صدکیلوهرتز بگذارید و اثر آن را روی سیگنال نقاط A و B مشاهده کنید و نتایج به‌دست آمده را بنویسید.

* **۱۰ــ۵ــ۹ــ** خازن ۰/۱ میکروفارادی را، که با سیم‌پیچ موازی است، بردارید و بررسی نمایید آیا باز هم نوسان‌های میراشونده ظاهر می‌شود؟ نتایج را تجزیه و تحلیل کنید.

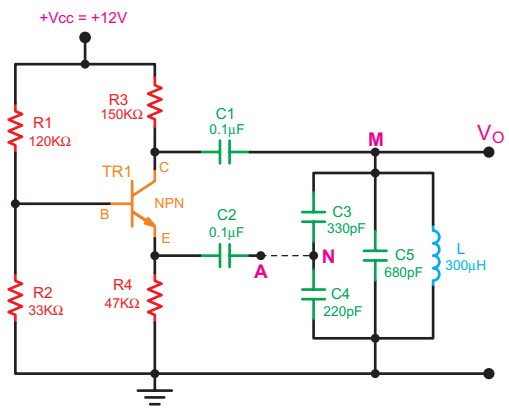
قسمت اول نوسان‌سازهای سینوسی

۶ــ۹ــ مراحل اجرای آزمایش نوسان‌ساز کول‌پیتس

۱ــ۶ــ۹ــ از سیم‌پیچی (سلف ۳۰۰ میکروهانری) که مطابق دستور ارائه شده برای نوسان‌ساز ساخته‌اید، استفاده کنید.

۲ــ۶ــ۹ــ تمام قطعات و المان‌های مورد آزمایش را به کمک مولتی‌متر آزمایش کنید و از سالم بودن آن‌ها مطمئن شوید.

۳ــ۶ــ۹ــ مدار شکل ۱۰ــ۹ را روی بردبرد ببندید. توجه داشته باشید که پایه‌های سیم‌پیچ به‌طور صحیح به مدار اتصال داده شود. در این مرحله نقطهٔ N را به A وصل نکنید.



شکل ۱۰ــ۹ــ مدار نوسان‌ساز کول‌پیتس

هنرجوی عزیز شکل مدار را دوباره در دفتر گزارش کار و فعالیت‌های آزمایشگاهی ترسیم کنید.

توجه

به منظور جلوگیری از پاره شدن سیم‌های خروجی سیم‌پیچ، آن را روی یک پایه از جنس فیبر مدار چاپی سوار کنید و خروجی‌های آن را به پین‌های استاندارد متصل شده به مدار چاپی وصل کنید.

۴ــ۶ــ۹ــ اتصال بین A و N را برقرار کنید.

۵ــ۶ــ۹ــ پروب کانال یک اسیلوسکوپ را به نقطهٔ M و سیم زمین آن را به سیم مشترک مدار وصل کنید.

۶ــ۶ــ۹ــ منبع تغذیه را روی ۱۲ ولت DC قرار دهید.

۷ــ۶ــ۹ــ مدار را راه‌اندازی کنید. چنان‌چه نوسان پایدار سینوسی در خروجی ظاهر نشد، منبع تغذیه را خاموش کنید و مدار را مجدداً مورد بررسی قرار دهید، برای اطمینان از صحت کار مدار باید V_{CE} تقریباً نصف V_{CC} باشد.

۸ــ۶ــ۹ــ چنان‌چه مدار راه‌اندازی شد، اتصال بین نقاط A و N را بردارید. در این حالت مدار از نوسان باز می‌ایستد.

* **۹ــ۶ــ۹ــ** ولتاژ DC پایه‌های بیس، امیتر و کلکتور ترانزیستور را با استفاده از مولتی‌متر (نسبت به شاسی) اندازه بگیرید و مقادیر را بنویسید.

* **۱۰ــ۶ــ۹ــ** با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده، کلاس کار تقویت‌کننده را مشخص کنید. تقویت‌کننده در چه ناحیه‌ای کار می‌کند؟ شرح دهید.

۱۱ــ۶ــ۹ــ اتصال بین A و N را مجدداً برقرار کنید.

* **۱۲ــ۶ــ۹ــ** مقادیر ولتاژ بایاس ترانزیستور را در این حالت اندازه بگیرید و مقادیر را بنویسید.

* **۱۳ــ۶ــ۹ــ** مقادیر به‌دست آمده در مراحل ۹ــ۶ــ۹ و ۱۲ــ۶ــ۹ را با هم مقایسه کنید. آیا مقادیر باهم تطبیق می‌کند؟ توضیح دهید.

فعالیت فوق برنامه ویژهٔ هنرجویان علاقه‌مند

با مراجعه به بازار و کتاب اطلاعات ترانزیستور، تعدادی ترانزیستور General purpose را پیدا کنید که hfe آن بین ۷۵ تا ۱۲۰ باشد، نتایج را در دفتر گزارش کار و فعالیت‌های آزمایشگاهی بنویسید.

* **۱۴ــ۶ــ۹ــ** شکل موج نقاط A و M را بامقیاس مناسب و با توجه به فاز آن‌ها روی نمودارهای ۳ــ۹ و ۴ــ۹ رسم کنید. توجه داشته باشید که شکل موج نقطهٔ A ولتاژ ورودی و شکل موج نقطهٔ M ولتاژ خروجی است.

* **۱۵ــ۶ــ۹ــ** آیا ولتاژ ورودی و خروجی با هم هم‌فاز هستند؟ شرح دهید.

* **۱۶ــ۶ــ۹ــ** مقدار فرکانس و ولتاژ پیک تا پیک سیگنال ورودی و خروجی را اندازه بگیرید و مقادیر را بنویسید.

* **۱۷ــ۶ــ۹ــ** مقدار A_V مدار تقویت‌کننده را، با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده، از رابطهٔ $A_V = \frac{V_{opp}}{V_{inpp}}$ محاسبه کنید.

* **۱۸ــ۶ــ۹ــ** آیا مقدار A_V از رابطهٔ $\frac{C_3 + C_4}{C_3}$، که تقریباً برابر با عکس ضریب تضعیف شبکهٔ فیدبک است، تبعیّت می‌کند؟ توضیح دهید.

* **۱۹ــ۶ــ۹ــ** جای خازن‌های C_3 و C_4 را عوض کنید و اثر آن را روی شکل موج خروجی، تجزیه و تحلیل کنید و نتایج را بنویسید.

* ۷ــ۹ــ نتایج آزمایش

نتایج به‌دست آمده از این آزمایش را به‌طور خلاصه بنویسید.

روش مطالعه

برای کسب موفقیت تحصیلی، علاوه بر داشتن علاقه به مطالعه، آشنایی با روش صحیح مطالعه نیز ضروری است. به‌کارگیری فنون ماهرانه مطالعه، آن را آسان‌تر و لذت‌بخش‌تر می‌کند.

۸ــ۹ــ الگوی پرسش

۱ــ۸ــ۹ــ به چه دلیل در نوسان‌ساز مورد آزمایش، بین سیگنال ورودی و خروجی اختلاف فاز وجود ندارد؟

۲ــ۸ــ۹ــ به چه دلیل پایداری فرکانس نوسان‌ساز به نقطهٔ کار ترانزیستور بستگی دارد؟

۳ــ۸ــ۹ــ اصل «بارک هاوزن» را شرح دهید.

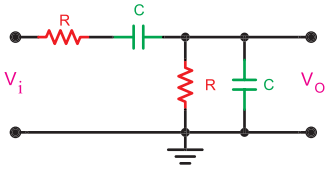
۴ــ۸ــ۹ــ چرا در مدار مورد آزمایش از تقویت‌کننده بیس‌مشترک استفاده شده است؟

۵ــ۸ــ۹ــ چرا روی بیس ترانزیستور نوسان‌ساز مورد آزمایش، خازن بای‌پاس وجود ندارد؟

نوسان‌ساز RC (آرسی) سینوسی (پل‌وین)

۹ــ۹ــ اطّلاعات اوّلیه

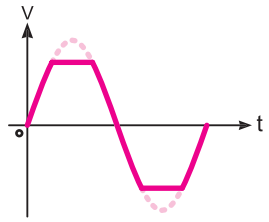
نوسان‌ساز «پل‌وین» از نوع نوسان سازهای RC با اعوجاج کم است. شبکه فیدبک در این نوسان‌ساز به صورت شکل ۱۱ــ۹ است.



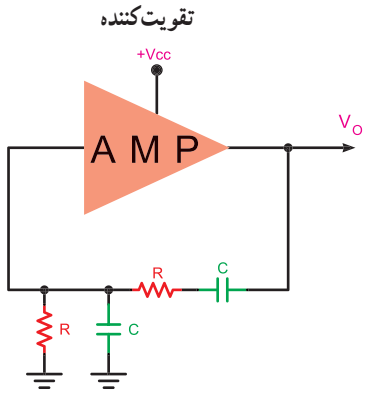
شکل ۱۱ــ۹ــ شبکه فیدبک نوسان‌ساز پل‌وین

اثبات می‌شود در فرکانس $F_o = \frac{1}{2\pi RC}$، اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی و خروجی شبکهٔ برگشتی صفر است و دامنهٔ سیگنال ورودی به اندازهٔ $\frac{1}{3}$ تضعیف می‌شود. لذا تقویت‌کننده در این نوسان‌ساز باید دارای بهرهٔ ولتاژی دقیقاً برابر ۳+ باشد.

اگر بهرهٔ ولتاژ کم‌تر از ۳ باشد، نوسان صورت نمی‌گیرد. در صورتی که بهرهٔ ولتاژ بزرگ‌تر از ۳ باشد، خروجی نوسان‌ساز به اشباع می‌رود، در این حالت شکل موج نوسان ایجاد شده به صورت شکل ۱۲ــ۹ درمی‌آید. در شکل ۱۳ــ۹ مدار کلی نوسان‌ساز رسم شده است.



شکل ۱۲ــ۹ــ موج نوسان‌ساز در حالتی که تقویت‌کننده اشباع است.

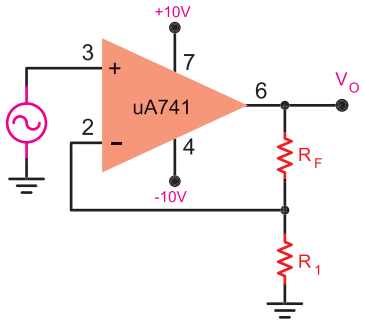


شکل ۱۳ــ۹ــ مدار کلی نوسان‌ساز

مدار تقویت‌کننده را می‌توان با استفاده از تقویت‌کنندهٔ عملیاتی ۷۴۱ طراحی نمود. تقویت‌کننده عملیاتی (Operational Amplifier) نوعی تقویت‌کننده است که به صورت مدار مجتمع (IC) ساخته می‌شود (در مورد آن در کتاب الکترونیک عمومی ۲ به تفصیل توضیح داده شده است). تقویت‌کنندهٔ عملیاتی ۷۴۱ به صورت آی‌سی ۸ پایه است. در شکل ۱۴ــ۹ شکل ظاهری آی‌سی رسم شده است. در شکل ۱۵ــ۹ شمارهٔ پایه‌های آی‌سی نشان داده شده است. از این‌آی‌سی می‌توان به عنوان تقویت‌کننده با ضریب تقویت مثبت (مطابق شکل ۱۶ــ۹) استفاده نمود.

شکل ۱۴ــ۹ــ شکل ظاهری آی‌سی ۷۴۱

شکل ۱۵ــ۹ــ شماره پایه‌های آی‌سی



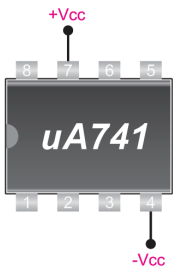
شکل ۱۶ــ۹ــ تقویت‌کننده با ضریب تقویت مثبت

بهرهٔ ولتاژ این تقویت‌کننده از رابطهٔ $A_V = \frac{R_F + R_1}{R_1} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$ به‌دست می‌آید. با انتخاب مقادیر مناسب برای R_F و R_1 می‌توان A_V تقویت‌کننده را ۳+ تنظیم نمود (در کتاب الکترونیک عمومی ۲ و آزمایشگاه الکترونیک در مورد تقویت‌کنندهٔ عملیاتی و آزمایش‌های مربوط به این تقویت‌کننده، به تفصیل بحث شده است).

۱۰ــ۹ــ دستورهای حفاظت و ایمنی

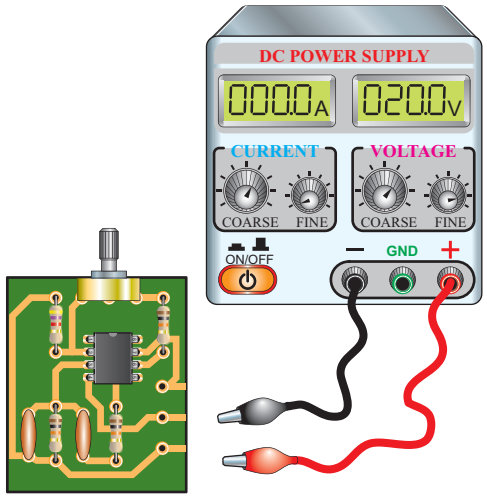
▲ ضمن رعایت نکات ایمنی مطرح شده در مرحلهٔ ۳ــ۹، به نکات ایمنی زیر نیز توجه کنید.

▲ در اتصال منبع تغذیه به پایه‌های آی‌سی دقت لازم را به کار ببرید، به‌طوری که $+V_{CC}$ باید به پایهٔ شماره ۷ و $-V_{CC}$ باید به پایهٔ شماره ۴ آی‌سی وصل شود (شکل ۱۷ــ۹).



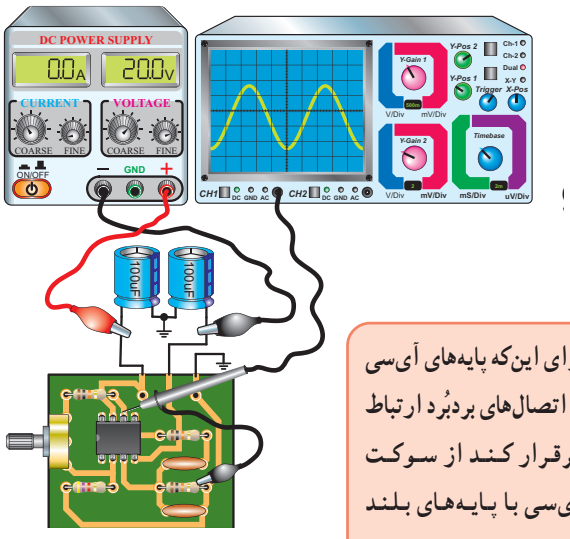
شکل ۱۷ــ۹ــ اتصال $+V_{CC}$ و $-V_{CC}$ به آی‌سی

▲ ابتدا منبع تغذیه را تنظیم کنید. سپس آن را به مدار اتصال دهید (شکل ۱۸ــ۹).



شکل ۱۸ــ۹ــ تنظیم منبع تغذیه

▲ در هنگام اتصال پروب وسایل اندازه‌گیری به مدار مورد آزمایش، دقت کنید تا اتصال کوتاه در مدار رخ ندهد (شکل ۱۹ــ۹).



برای این‌که پایه‌های آی‌سی با اتصال‌های بردبُرد ارتباط برقرار کنند از سوکت آی‌سی با پایه‌های بلند استفاده کنید.

شکل ۱۹ــ۹ــ در هنگام اتصال پروب نباید اتصال کوتاه رخ دهد.

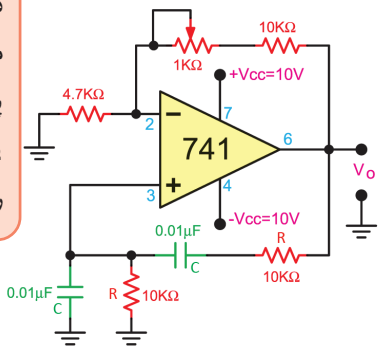
۱۱ــ۹ــ قطعات و تجهیزات مورد نیاز

- منبع تغذیهٔ دوبل ۳۰ــ۰ ولت، یک دستگاه
- مولتی‌متر دیجیتالی، یک دستگاه
- اسیلوسکوپ دوکاناله، یک دستگاه
- بردبرد، ۱عدد
- تقویت‌کنندهٔ عملیاتی ۷۴۱، ۱ عدد
- مقاومت ۱۰KΩ، سه عدد، ۴/۷KΩ ، یک عدد
- خازن ۰/۰۱ میکروفاراد، ۲ عدد
- پتانسیومتر خطی ۱KΩ، یک عدد

۱۲ــ۹ــ مراحل اجرای آزمایش نوسان‌ساز RC پل‌وین

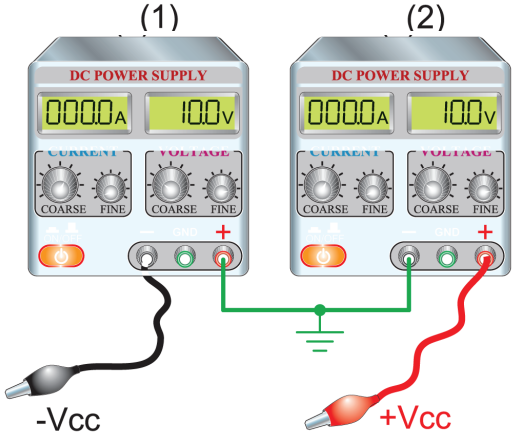
*۱ــ۱۲ــ۹ــ مدار شکل ۲۰ــ۹ را روی برد برد ببندید. شکل مدار را دوباره رسم کنید.

در صورت وجود اعوجاج در شکل موج خروجی مقاومت ۱۰kΩ سری با پتانسیومتر را به ۸/۲kΩ و پتانسیومتر را به ۲kΩ تغییر دهید.



شکل ۲۰ــ۹ــ مدار نوسان‌ساز پل‌وین

۲ــ۱۲ــ۹ــ برای تهیهٔ ولتاژ تغذیه $\pm V_{CC}$ می‌توانید دو منبع تغذیه را مطابق شکل ۲۱ــ۹ به هم اتصال دهید یا از منبع تغذیه دوبل استفاده کنید.



شکل ۲۱ــ۹ــ ساختن $\pm V_{CC}$

۳ــ۱۲ــ۹ــ مدار را کنترل کنید و از اتصال صحیح قطعات به مدار، مطمئن شوید.

۴ــ۱۲ــ۹ــ منبع تغذیه را به مدار وصل کنید. سپس منبع تغذیه‌ها را روی ۱۰+ و ۱۰− ولت قرار دهید و آن را روشن و مدار را راه‌اندازی کنید.

۵ــ۱۲ــ۹ــ اسیلوسکوپ را به خروجی مدار وصل کنید و با تغییر پتانسیومتر، شکل موج خروجی را بدون اعوجاج با مقیاس صحیح و مناسب روی صفحه اسیلوسکوپ ظاهر کنید.

* **۶ــ۱۲ــ۹ــ** شکل موج خروجی را، با مقیاس صحیح و مناسب، در نمودار ۵ــ۹ رسم کنید.

* **۷ــ۱۲ــ۹ــ** دامنهٔ پیک تا پیک موج و پریود موج را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

* **۸ــ۱۲ــ۹ــ** فرکانس موج خروجی را از رابطهٔ $F=\frac{1}{T}$ محاسبه کنید.

* **۹ــ۱۲ــ۹ــ** بااستفاده از رابطهٔ $F=\frac{1}{2\pi RC}$ فرکانس موج خروجی را محاسبه کنید.

* **۱۰ــ۱۲ــ۹ــ** آیا فرکانس موج خروجی از طریق محاسبه با فرکانس موج به‌دست آمده یک‌سان است؟ در صورت وجود اختلاف، سبب آن را توضیح دهید.

* **۱۱ــ۱۲ــ۹ــ** شکل موج ورودی تقویت‌کننده (ورودی مثبت آی‌سی نسبت به زمین) را توسط اسیلوسکوپ مشاهده کنید و آن را، با مقیاس صحیح ومناسب، در نمودار ۶ــ۹ رسم کنید.

* **۱۲ــ۱۲ــ۹ــ** دامنهٔ پیک تا پیک موج ورودی تقویت‌کننده را اندازه بگیرید و آن را یادداشت کنید.

* **۱۳ــ۱۲ــ۹ــ** بهرهٔ ولتاژ تقویت‌کننده را از رابطهٔ $A_V=\frac{V_{opp}}{V_{inpp}}$ محاسبه کنید.

* **۱۴ــ۱۲ــ۹ــ** ضریب تقویت شبکهٔ فیدبک را از رابطهٔ $B_V=\frac{V_{inpp}}{V_{opp}}$ به‌دست آورید.

* **۱۵ــ۱۲ــ۹ــ** آیا اصل بارک هاوزن $(A_V\times B_V=1)$ برقرار است؟ توضیح دهید.

* **۱۶ــ۱۲ــ۹ــ** اختلاف فاز بین موج ورودی و خروجی تقویت‌کننده را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

تحقیق ویژه هنرجویان علاقه‌مند

مدار اشمیت‌تریگر (Schmitt trigger) چیست و چه کاربردی دارد؟ یک نمونه عملی آن را بیابید و نقشهٔ آن را در دفتر گزارش کار و فعالیت های آزمایشگاهی رسم کنید.

* ۱۳ــ۹ــ نتایج آزمایش

نتایج به‌دست آمده از این آزمایش را به‌طور خلاصه بنویسید.

۱۴ــ۹ــ الگوی پرسش

سؤالات زیر را به دقت مطالعه کنید و پاسخ آن‌ها را در دفتر گزارش کار و فعالیت‌های آزمایشگاهی بنویسید.

۱ــ۱۴ــ۹ــ مدار تقویت‌کننده با ضریب تقویت مثبت را با آی‌سی ۷۴۱ رسم کنید و فرمول بهرهٔ ولتاژ آن را بنویسید.

۲ــ۱۴ــ۹ــ مدار شبکهٔ برگشتی نوسان‌ساز پل‌وین را رسم کنید.

۳ــ۱۴ــ۹ــ فرکانس موج ایجاد شده، توسط نوسان‌ساز پل‌وین، از چه رابطه‌ای به‌دست می‌آید؟

۴ــ۱۴ــ۹ــ برای تغییر فرکانس موج ایجاد شده، توسط نوسان‌ساز، چه قطعاتی را باید تغییر داد؟

۵ــ۱۴ــ۹ــ آیا بین سیگنال ورودی و خروجی شبکهٔ

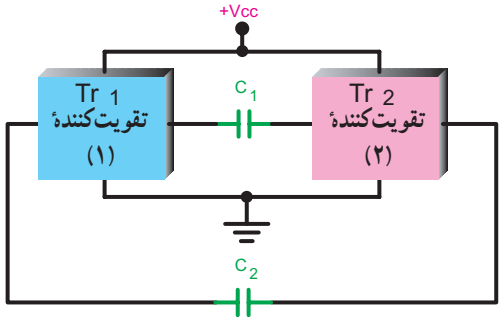
برگشتی در این نوسان‌ساز اختلاف فازی وجود دارد؟

۶ــ۱۴ــ۹ــ نوع فیدبک در نوسان‌ساز پل‌وین مثبت است یا منفی؟

قسمت دوم نوسان‌ساز مربعی
نوسان‌ساز موج مربعی (مولتی‌ویبراتور آاستابل)

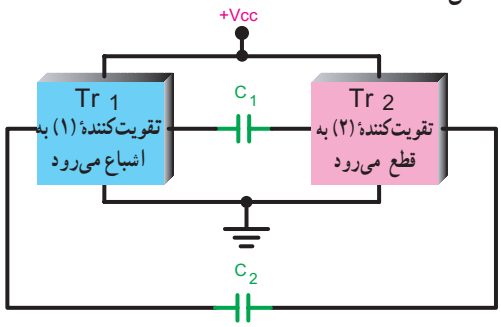
۱۵ــ۹ــ اطّلاعات اوّلیه

همان‌طوری که در کتاب مبانی مخابرات و رادیو توضیح داده شد، مولتی‌ویبراتور آاستابل یک نوسان‌ساز موج مربعی است. مدار این نوسان‌ساز شامل دو تقویت‌کنندهٔ اشباع شده است که خروجی هریک به ورودی دیگری با کوپلاژ خازنی متصل شده است. در شکل ۲۲ــ۹ این نوسان‌ساز به صورت بلوکی نشان داده شده است.



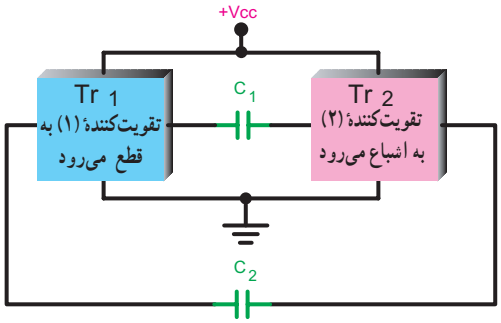
شکل ۲۲ــ۹ــ شکل بلوکی نوسان‌ساز

هنگامی که یک تقویت‌کننده در اشباع قرار دارد تقویت‌کنندهٔ دیگر به قطع می‌رود. در شکل بلوکی ۲۳ــ۹ این حالت نشان داده شده است.



شکل ۲۳ــ۹ــ یکی از تقویت‌کننده‌ها قطع و دیگری اشباع است.

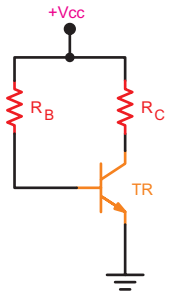
وضعیت قطع و اشباع تقویت‌کننده‌ها دوام چندانی ندارد و پس از مدتی، تقویت‌کنندهٔ حالت قطع به حالت اشباع می‌رود و تقویت‌کننده اشباع شده قطع می‌شود. شکل بلوکی ۲۴ــ۹ تغییر وضعیت تقویت‌کننده‌ها را در این حالت نشان می‌دهد.



شکل ۲۴ــ۹ــ وضعیت تقویت‌کننده‌ها تغییر نموده است.

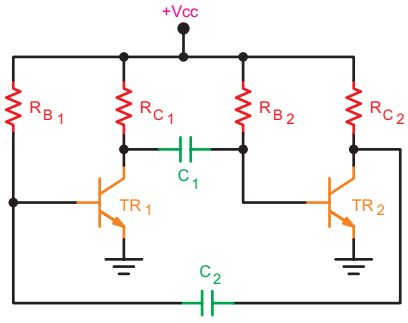
این سیکل به‌طور نامحدود تکرار می‌شود.

مدار تقویت‌کننده در مولتی‌ویبراتور آاستابل معمولاً از نوع بایاس مستقیم است. شکل ۲۵ــ۹ مدار تقویت‌کننده را نشان می‌دهد.



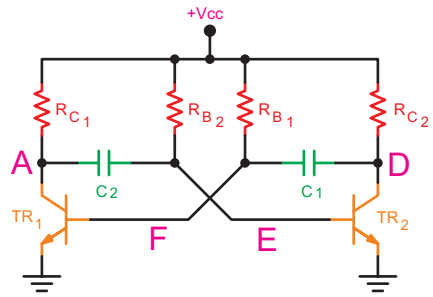
شکل ۲۵ــ۹ــ مدار تقویت‌کننده

در شکل ۲۶ــ۹ مدار نوسان‌ساز موج مربعی (مولتی ویبراتور آاستابل) با دو تقویت‌کنندهٔ ترانزیستوری رسم شده است.



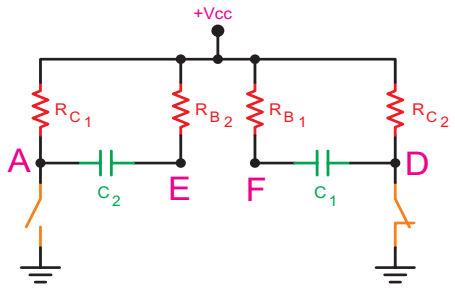
شکل ۲۶ــ۹ــ مدار مولتی ویبراتور

این مدار را به صورت شکل ۲۷ــ۹ نیز می‌توان نشان داد.



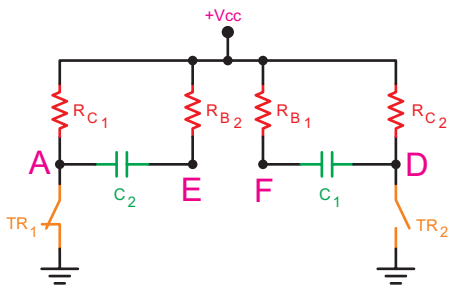
شکل ۲۷ــ۹ــ مدار مولتی ویبراتور آاستابل

هنگامی که TR_1 قطع و TR_2 اشباع است می‌توان ترانزیستور قطع را با کلید باز و ترانزیستور اشباع را با کلید بسته مطابق شکل ۲۸ــ۹ نشان داد.



شکل ۲۸ــ۹ــ ترانزیستور TR_1 قطع و TR_2 اشباع

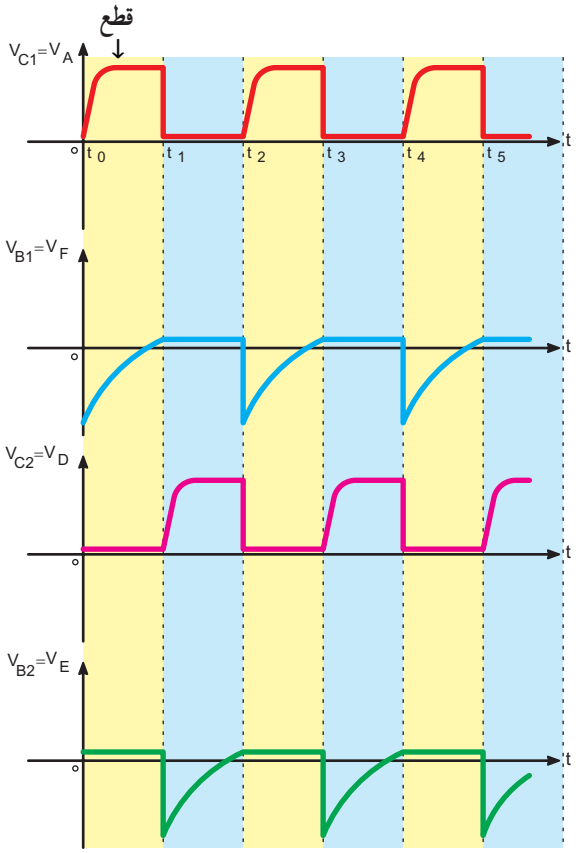
در حالتی که ترانزیستور TR_1 قطع است ولتاژ بیس‌امیتر ترانزیستور منفی است و ولتاژ کلکتور امیتر آن برابر با V_{CC} است. پس از تغییر وضعیت، TR_1 اشباع می‌شود و ترانزیستور TR_2 قطع می‌گردد. در این حالت پتانسیل بیس‌امیتر TR_1 منفی و ولتاژ کلکتور امیتر آن برابر V_{CC} می‌شود. شکل ۲۹ــ۹، TR_1 را مانند کلید بسته و TR_2 را به صورت کلید باز نشان داده است.



شکل ۲۹ــ۹ــ ترانزیستور TR_1 اشباع و TR_2 قطع

در شرایطی که ترانزیستوری اشباع است، ولتاژ بیس امیتر آن برابر با $V_{BE}(sat)$ که حدود ۰/۸ ولت است می‌شود و ولتاژ کلکتور امیتر آن برابر با $V_{CE}(sat) \simeq ۰/۲$ می‌گردد.

در شکل ۳۰ــ۹ چگونگی تغییرات ولتاژ V_{CE} و V_{BE} ترانزیستورها و ارتباط زمانی آن‌ها با یکدیگر مشخص شده است.



شکل ۳۰ــ۹ــ شکل موج نقاط مختلف مدار

۱ــ۱۵ــ۹ــ فرکانس مولتی‌ویبراتور بی‌ثبات: اگر $R_{C_1} = R_{C_2} = R_C$ و $R_{B_1} = R_{B_2} = R_B$ درنظر گرفته شود و ظرفیت خازن C_1 نیز با ظرفیت خازن C_2 برابر باشد $(C_1 = C_2 = C)$ موج مربعی ایجاد شده متقارن است. در این صورت پریود موج مربعی ایجاد شده از رابطهٔ $T = ۱/۴R_BC$ به‌دست می‌آید.

با استفاده از رابطهٔ $F = \frac{۱}{T} = \frac{۱}{۱/۴R_BC}$ فرکانس موج را به‌دست می‌آورند. مشاهده می‌شود فرکانس موج مربعی ایجاد