

مدارات کنترل رگولاتور سوئیچینگ

بسیاری از منابع تغذیه سوئیچینگ امروزی از نوع PWM ، (کنترل عرض پالس)، می‌باشند. در این تکنیک، زمان هدایت ترانزیستورهای سوئیچ، در طی یک پریود تغییر می‌کند. که این تغییر، برای کنترل و تنظیم ولتاژ خروجی تا یک مقدار ثابت می‌باشد. (این مقدار ثابت از قبل مشخص شده است).

اگر چه ممکن است روشهای دیگری برای کنترل و تنظیم ولتاژ خروجی استفاده شده باشد، PWM روش بهتر را پیشنهاد می‌کند. (به دلایلی نظیر تنظیم بار و پایداری با تغییرات درجه حرارت.) در سالهای اخیر مدارات مجتمع که شامل همه کارهای لازم برای طراحی یک منبع تغذیه سوئیچینگ می‌باشند، پیشرفت کرده‌اند. هدف این قسمت آشنایی با بعضی از تکنیکها و مداراتی که برای تکامل قسمت PWM منبع تغذیه سوئیچینگ استفاده شده اند، می‌باشد.

روش جداسازی سیستم رگولاتور سوئیچینگ:

نقش یک رگولاتور یا تنظیم کننده در منبع تغذیه دو قسمت است:

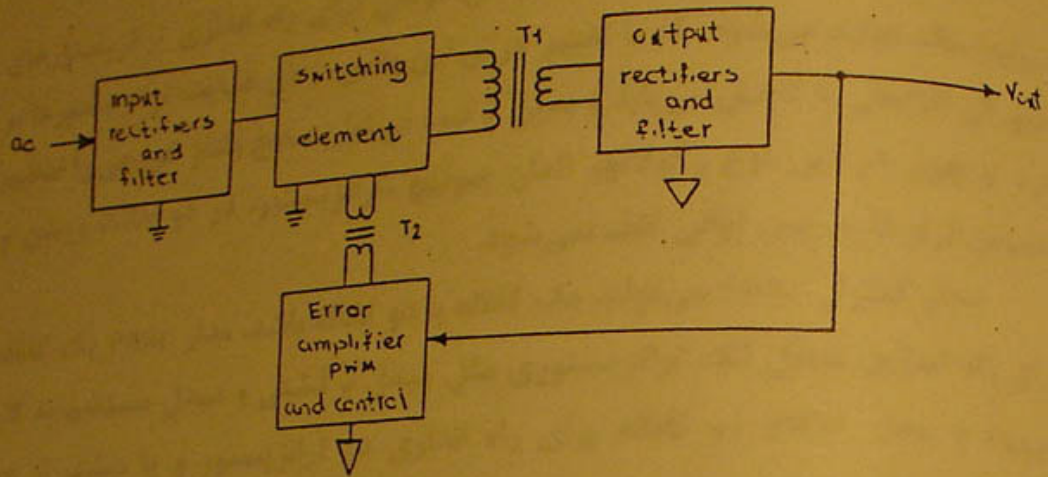
- اول اینکه نباید سطح ولتاژ خروجی منبع تغذیه را تا سطح ولتاژ ورودی وسایل و مدارهای الکترونیک و قدرت پائین آورد.

- دوم اینکه باید ایزوله خوب و مطمئن بین ورودی و خروجی داشته باشد، تا مصرف کننده از شوکهای وارده از جریانهای ناشی و ولتاژهای بالا محافظت شود.

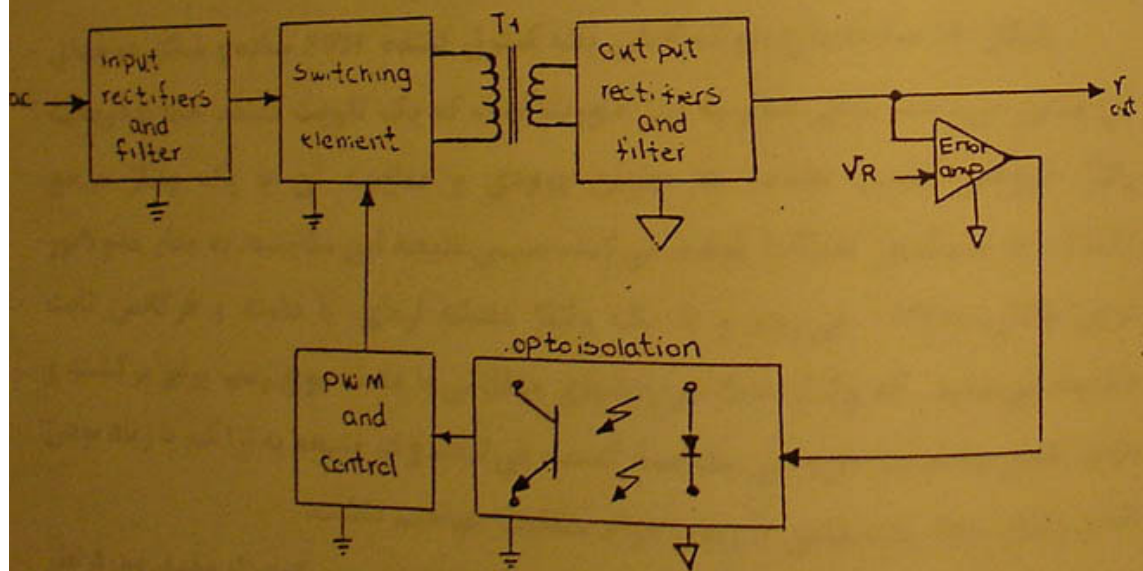
در شکل دو بلوک دیاگرام مختلف نمایش داده شده است. این شکلها چگونگی ایزوله کردن قسمت‌های مختلف منبع سوئیچینگ را نشان می‌دهند. این دو بلوک دیاگرام عمومی هستند و برای طراحی هر نوع منبع تغذیه سوئیچینگ مثل تمام پل، نیم پل برگشتی، مستقیم و... استفاده می‌شوند.

حال به بررسی بلوک دیاگرام شکل می‌پردازیم. در این شکل، بلوکهای زمین مشترک، با سمبل زمین همانند رسم شده اند. در بلوک دیاگرام تقویت کننده خطا، مدار کنترل PWM و فیلتر خروجی، زمین مشترک دارند. ایزولاسیون بین ورودی و خروجی مدار، توسط ترانس T_1 و راه اندازی توسط ترانس T_2 انجام می‌شود، که عموماً ترانس T_2 ، راه انداز بیس یا راه انداز گیت است. این روش می‌تواند برای انواع طراحیها، با مبدل‌های مختلف استفاده شود.

در بلوک دیاگرام مدار کنترل PWM ، همان سوئیچ و فیلتر ورودی، زمین مشترک دارند. که ایزولاسیون بین ورودی و خروجی توسط ترانس T_1 و ایزولاتور نوری انجام می‌شود. این روش بیشتر در مبدل‌های برگشتی و مستقیم به کار برده می‌شود.



شکل (۱-۱) a



شکل (۱-۱) b

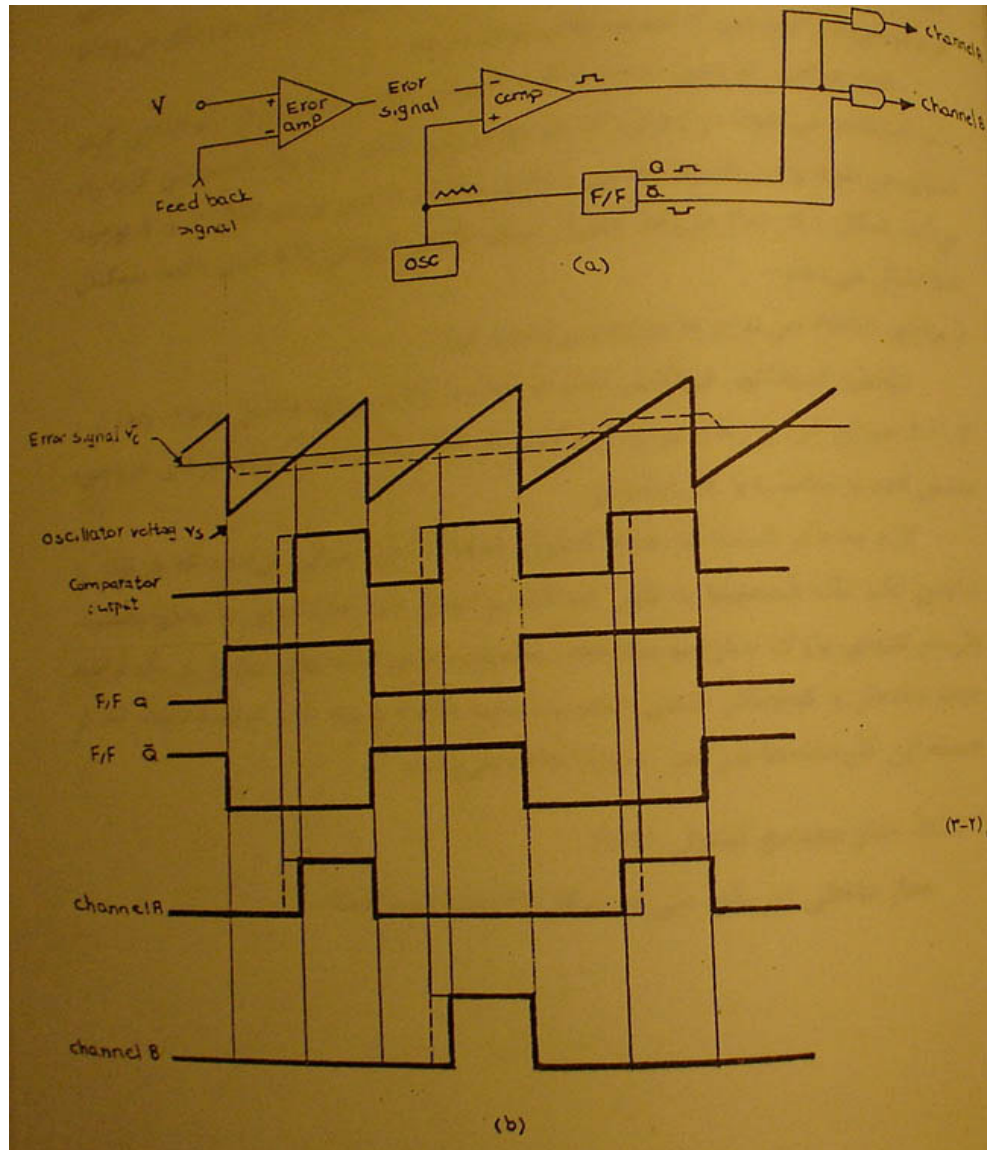
PWM سیستم

معمولا در سیستم PWM ، یک پالس مربعی برای راه اندازی ترانزیستورهای سوئیچینگ تولید می‌شود. که با تغییر عرض این پالس، زمان هدایت ترانزیستورها بر طبق آن افزایش یا کاهش می‌یابد و بدین ترتیب می‌توان سطح ولتاژ خروجی را تنظیم کرد. و چون در این نوع رگولاتور المان سوئیچ، ترانزیستور، در دو حالت روشن و خاموش قرار دارد، پس توانی تلف نمی‌شود. مدار کنترل PWM می‌تواند یک کاناله یا دو کاناله باشد. مدار PWM یک کاناله برای راه اندازی مبدل تک ترانزیستوری مثل مبدل برگشتی و مبدل مستقیم به کار می‌رود و مدار PWM دو کاناله برای راه اندازی دو ترانزیستور و یا بیشتر از دو ترانزیستور کاربرد دارد. مثل مبدل‌های نیم پل، تمام پل و پوش پل. در زیر به بررسی کار مدار PWM دو کاناله می‌پردازیم.

مدار کنترلی PWM دو کاناله (مدار مجتمع PWM)

شکل ۱۸ ساختمان بلوک اصلی یک کنترل کننده PWM ساده و شکل موجهای آنرا نشان می‌دهد. عمل مدار به این صورت است که یک تقویت کننده خطا با دریافت ولتاژ خروجی منبع تغذیه به عنوان ورودی و مقایسه آن با یک ولتاژ مرجع $V=2.5(V)$ ، سیگنال خطا را تولید می‌کند، سپس نتیجه این مقایسه، به مدار مدولاتور عرض پالس، PWM ، می‌رود و با یک ولتاژ دندانه اری، با دامنه و فرکانس ثابت مقایسه می‌شود. که ولتاژ خطا در زمانهای متفاوتی با دامنه موج رمپ برابر برگشته و باعث تغییر وضعیت خروجی مقایسه کننده می‌گردد و در نتیجه به ازای کم یا زیاد بودن مقدار ولتاژ خطا پالسهای با زمان دوام متفاوت خواهیم داشت.

پس به طور کلی می‌توانیم بگوئیم که اگر ولتاژ خروجی کمتر از مقدار مورد نظر باشد، عرض پالس خروجی بیشتر می‌شود و در نتیجه سوئیچ مدت زمان بیشتری وصل خواهد بود و انرژی بیشتری به خروجی منتقل می‌گردد، تا اینکه ولتاژ خروجی به حد مشخص شده اش برسد. بالعکس اگر ولتاژ خروجی بیشتر از حد لازم باشد با کم شدن عرض پالس و در نتیجه کاهش زمان وصل سوئیچ، ولتاژ خروجی کم شده تا به حد قابل قبول برسد. همانطور که درنشان داده شده است،



این ولتاژ دندانه اری برای با دامنه ۲۵ ولت توسط یک اسیلاتور تولید می‌گردد. خروجی این اسیلاتور برای راه اندازی فیلپ فلاپ نشان داده شده در شکل هم بکار می‌رود تا موج مربعی در خروجی T فیلپ فلاپ تولید گردد.

موج مربعی خروجی مقایسه گرد خروجی فیلپ فلاپ، برای راه اندازی گیت and استفاده می‌شوند و زمانی که هر دو ورودی گیت and یک باشند این گیت راه اندازی می‌شود و در نتیجه پالس با زمان هدایت متغییر در دو کانال A و B بوجود می‌آید. شکل (b-۱۸) طریقه کنترل عرض پالس خروجی را با تغییر دامنه سیگنال خطا نشان می‌دهد.

از مزایای PWM می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

داشتن اسیلاتور فرکانس ثابت با قابلیت برنامه ریزی، داشتن $Duty-Cycle$ از ۰ تا ۱۰۰٪، میزان کردن زمان برای جلوگیری از

هدایت همزمان ترانزیستورهای خروجی، داشتن قیمت مناسب و کار مطمئن.

لازم به ذکر است که مدار کنترل *PWM* دارای اجزائی می باشد که می توان با ساختن تک تک قسمت ها به طور جداگانه و اتصال آنها، مدار مزبور را تحقق بخشید. ولی شرکتهای بزرگ سازنده مدارهای مجتمع، تمامی قسمت های فوق را در یک تراشه جهت ساده تر و کوچکتر شدن حجم سیستم ساخته و به بازار عرضه نموده اند. از جمله این کارخانه ها شرکت *MOTOROLA* می باشد.

آی سی *SG3524*، آی سی اصلی این منبع تغذیه می باشد. این وسیله دارای ولتاژ مرجع ۵ ولت، تقویت کننده خطا، اسیلاتور قابل برنامه ریزی، فیلپ فلاپ پالس فرمان، لچ *RS*، مدار *Shut-down* و خروجیهای *Sink* و *Source* می باشد، که در زیر بررسی کار این مدار را انجام می دهیم. ولتاژ تغذیه آی سی ۱۲ ولت است، که خروجی یک رگولاتور بوده و ورودی این رگولاتور ولتاژ ورودی سیستم می باشد. این ولتاژ برای راه اندازی آی سی می باشد که به *Pin5* آی سی وارد شده است. برای اطمینان از اینکه دقیقاً ۱۲ ولت وارد آی سی می شود، یک مدار قفل کننده در ولتاژ پائین، *UVLO*، به کار برده شده است. این قسمت در زمانی که ولتاژ ورودی کمتر از ۱۲ ولت شود، بجز رگولاتور ولتاژ مرجع، بقیه مدارهای داخلی را بکار می اندازد، تا زمانی که دوباره آی سی با ولتاژ دقیق ۱۲ ولت روشن شود.

در خط ورودی این آی سی یک خازن $100\mu F$ قرار می دهیم تا استارت اولیه توسط این خازن ایجاد می شود و علاوه بر این، خازن دیگری به اندازه $100nF$ ، برای جلوگیری و حذف نویز استفاده شده تا ولتاژ دقیق و ثابتی به آی سی برسد.

همچنین در این آی سی یک مقایسه گر سطح ولتاژ به کار برده شده است که خروجی *UVLO* و خط V_{CC} ورودیهای آن می باشند و بدین صورت عمل می کند که اگر سطح ولتاژ ورودی از یک حدی کمتر شود، باعث قطع مدار می گردد. خروجی این مقایسه گر به ورودی گیت *NOR* در طبقه خروجی متصل شده است.

در داخل این آی سی یک اسیلاتور نیز وجود دارد که از آن برای تولید یک کلاک پالس داخلی استفاده شده است، تا از هدایت همزمان ترانزیستورهای سوئیچینگ جلوگیری شود. همچنین این اسیلاتور توانایی سنکرون کردن چندین مدار با هم را دارا می باشد و از طریق پایه *Pin3*، *SYNC*، چندین آی سی *SG3524* می توانند با هم فرمان بگیرند. به عنوان مثال اگر دو آی سی در نظر گرفته شود، می توان آی سی اول را به عنوان آی سی اصلی و آی سی دوم را به عنوان آی سی فرعی فرض کرد، که با از کار انداختن اسیلاتور و آمپلی فایر خطا در آی سی فرعی و اتصال پایه های *SYNC* و *Comp* آن، به پایه های مشابه در آی سی اصلی، این دو همزمان با هم کار می کنند.

فرکانس کار این اسیلاتور در دست استفاده کننده می باشد با قراردادن یک خازن در *Pin5* و یک مقاومت در *Pin6* براحتی می توان فرکانس مورد نظر را تولید نمود. مقادیر R_T و C_T از روی منحنی مربوط که ضمیمه می باشد و یا از رابطه تقریبی:

$$F = \frac{1.15}{R_T C_T}$$

بدست می آیند. با توجه به اینکه فرکانس خروجی، نصف فرکانس اسیلاتور می باشد، با انتخاب فرکانس $50 KHz$ برای منبع تغذیه، با

دو ترانزیستور، آی سی باید در فرکانس 100 KHz کار کند، که در شکل ۲۰ نشان داده شده است.

با مراجعه به منحنی، در فرکانس 100 KHz و انتخاب خازن 2 nF ، مقدار مقاومت $6\text{ K}\Omega$ بدست می آید، که مقادیر 2.2 nF و $5.6\text{ K}\Omega$ در عمل بکار برده شده است.

$$R_T = 5.6\text{ K}\Omega$$

$$C_T = 2.2\text{ nF}$$

این مقاومت زمانی، جریان شارژ ثابتی را برای C_T ایجاد می کند که با توجه به رابطه:

$$V = \frac{1}{C} \int i dt$$

می توان گفت که خازن یک ولتاژ رمپ ثابتی را تولید می کند. این ولتاژ رمپ همانطور که قبلا اشاره شد تقریبا ۲۵ ولت نوسان می کند.

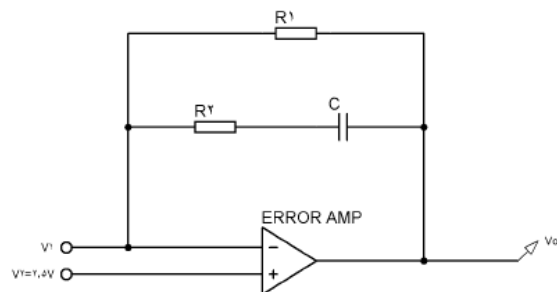
برای شارژ خازن C_T در این آی سی پایه $Disch\ arg\ e(DIS)$ ، در $Pin7$ در نظر گرفته شده است، که تا زمانی که خازن C_T در حال شارژ شدن است، این ترانزیستور قطع می باشد و در هنگامی که خازن C_T شروع به شارژ شدن می کند، با فراهم کردن ولتاژ لازم برای بایاس ترانزیستور باعث هدایت ترانزیستور می شود، در نتیجه براحتی ولتاژ دو سر خازن از طریق ترانزیستور تخلیه می شود. با دشارژ خازن C_T ، خروجی اسیلاتور قطع می شود و در نتیجه پالس فرمان، برای راه اندازی فیلپ فلاپ پالس فرمان و لچ PWM قطع می شود که منجر به قطع خروجی می گردد.

برای حفاظت و نیز جلوگیری از افت توان روی کلکتور- امیتر این ترانزیستور، یک مقاومت کوچک (در حد چند اهم) روی کلکتور آن قرار داده می شود. این مقاومت یک پهنایی برای تنظیم زمان اتلافی تولید می کند.

$$R_4 = 10\Omega$$

بخش فیدبک :

حال به بررسی بخش کنترل می پردازیم. مدار کنترل اصلی از نوع مدولاتور عرض پالس PWM می باشد، که نحوه کار این نوع مدارهای کنترل به طور کامل در بخش های قبل توضیح داده شده است. ولی اگر بخواهیم مروری مختصر داشته باشیم به صورت زیر بیان می کنیم. قسمت کنترل با دریافت ولتاژ خروجی به عنوان ورودی و مقایسه آن با یک سطح ولتاژ، ولتاژ خطا را تولید می نماید. این مقایسه توسط یک مقایسه کننده ساده که از یک تقویت کننده عملیاتی $Op - Amp$ تشکیل گردیده است، انجام می شود. در زیر این مدار مقایسه کننده دیده می شود.



که ولتاژ ثابت 2.5 ولتی، به $Pin2$ و قسمتی از ولتاژ خروجی V_O ، به $Pin1$ اعمال شده است و خروجی این تقویت کننده از طریق $Pin9$ در اختیار مصرف کننده بوده، و می‌تواند هرگونه جبران دلخواهی را جهت پایداری سیستم به مدار اعمال کند.

لازم به ذکر است که برای داشتن یک ولتاژ مرجع ثابت و پایدار، یک رگولاتور خطی در داخل این آی سی قرار دارد که ولتاژ مرجع ۵ ولت را بوجود می‌آورد این ولتاژ ۱٪ دقت درست می‌شود و از طریق $pin16$ در اختیار مصرف کننده می‌باشد این ولتاژ مرجع با یک تقسیم مقاومتی به $pin2$ اعمال می‌شود که با قرار دادن دو مقاومت مساوی در حد چند کیلو اهم براحتی می‌توان از ولتاژ ۵ ولتی، ولتاژ ۲.۵ ولتی را بدست آورد.

همانطور که در رابطه زیر آمده است:

$$V_{NINV} = \frac{V_{REF} \times R_2}{R_2 + R_3} = \frac{V_{REF} \times R_2}{2R_2} = \frac{V_{REF}}{2}$$

$$R_2 = R_3$$

که:

پس داریم:

$$V_{NINV} = \frac{5}{2} = 2.5v$$

این 2.5 ولت برای اعمال به پایه $NINV$ تقویت کننده خطا لازم است. خروجی تقویت کننده خطا به پایه منفی مدار مدولاتور عرض پالس PWM رفته و به پایه مثبت این مدار نیز ولتاژ رمپ با دامنه 2.5 ولت اعمال می‌گردد که مدار مدولاتور عرض پالس یا PWM با پردازش سیگنال خطا، پالسهایی با پهنای متفاوت بوجود می‌آورد. خروجی این مدار به یک OR داخل آی سی متصل می‌گردد.

خروجی این گیت OR همراه با خروجی اسیلاتور (که به عنوان پالس فرمان فیلپ فلاپ پالس فرمان، به کار گرفته شده است). به لچ PWM می‌روند. این دو ورودی حتی در محیطهای پرنویز به راحت به مداری لچ PWM اعمال می‌شوند.

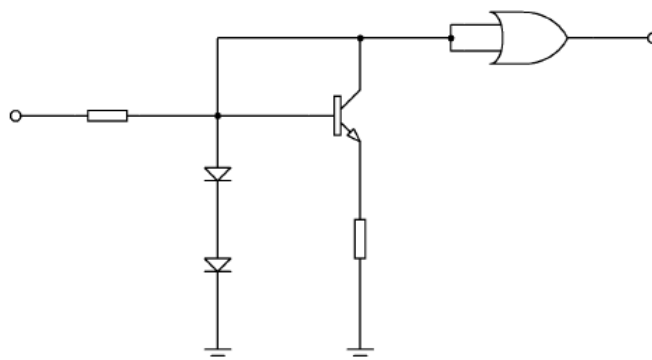
لچ PWM در حالت عادی که خطایی وجود ندارد و مدولاتور عرض پالسی، پالسی را تولید نکرده است. روی یک سطح قفل کرد. و خروجی آن صفر است که به گیت NOR در طبقه خروجی می‌رود، اما به محض اینکه خطایی بوجود بیاید که سطح خطای بوجود آمده از سطح لچ PWM بیشتر باشد، هر کلاک پالسی قفل بار می‌شود و این مدار شروع به کار می‌کند و در نتیجه با فرستادن پالسی راه اندازه‌های خروجی را قادر می‌سازد که هر وقت پالس PWM پایان می‌یابد خاموش شوند.

همانطور که در بالا اشاره شد از خروجی اسیلاتور، پالس فرمانی برای تغییر حالت، به فیلپ فلاپ پالس فرمان اعمال می‌شود که خروجیهای این فیلپ فلاپ بصورت مکمل عمل کرده و به این ترتیب با روشن بودن یک ترانزیستور، ترانزیستور دیگری حتما خاموش خواهد بود. در نتیجه از هدایت همزمان ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 جلوگیری می‌شود.

در این مدار $Pin8$ با عنوان *soft start* قرار دارد که این قسمت برای اینکه آی سی به آرامی روشن شود و جریان زیادی یکدفعه وارد آن نشود در مدار طراحی شده است. این قسمت تنها یک خازن زمانی را در خروجی لازم دارد با کمک *soft start* خازن کم شارژ می‌شود و روشن شدن آی سی به آرامی صورت می‌گیرد.

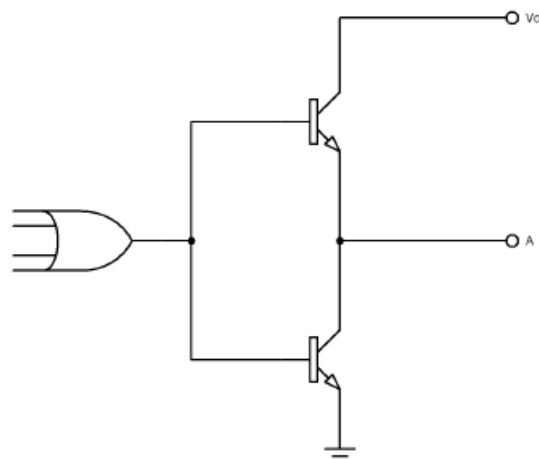
$$C_1 = 10\mu F$$

قسمت دیگر آی سی مدار *Shut down* می‌باشد که اگر بار زیادی به مدار وصل شود و در نتیجه جریان زیادی از مدار کشیده شود، این قسمت از آی سی دارد عمل شده و آی سی را خاموش می‌کند که در نتیجه خروجیها قطع می‌شوند، شکل این مدار در زیر آمده است.



که در صورت عبور جریان زیاد دیودهای ورودی، شروع به هدایت کرده و این جریان را از خود عبور می‌دهند، در نتیجه جریان به طبقه خروجی نمی‌رود و آی سی قطع می‌گردد. $Pin12$ هم به عنوان زمین برای این آی سی در نظر گرفته شده است.

در طبقه خروجی، یک گیت وجود دارد که همراه با دو ترانزیستور به کار برده شده است، که به بررسی کار این قسمت از مدار می‌پردازیم. در این قسمت یک گیت وجود دارد که در واقع کار دو گیت *NOR* و *OR* را انجام می‌دهد، شکل ظاهری این گیت همراه با دو ترانزیستور متصل به آن در زیر آمده است.



V_C ، ولتاژ لازم برای بایاس ترانزیستور Q_1 از طریق خط ولتاژ $V_{CC} = 12(V)$ تأمین می‌شود و همانطور که قبلاً اشاره شد، در روی کلکتور این ترانزیستور نیز باید یک مقاومت کوچک قرار داد.

$$R_6 = 10\Omega$$

V_C ولتاژ کلکتور در ترانزیستور Q_1 از طریق $Pin3$ در دسترس می‌باشد.

چهار ورودی این گیت به ترتیب خروجی فیلپ فلاپ پالس فرمان، خروجی اسیلاتور، خروجی لچ PWM و خروجی دو مدار $Shut-Down$ و مقایسه‌گر سطح می‌باشند. زمانی که همه این ورودیها در حالت پائین باشند NOR این گیت شروع به هدایت می‌کند و در نتیجه ترانزیستور Q_1 شروع به هدایت می‌کند و جریانی به سمت کانال A فرستاده می‌شود و بنابراین ترانزیستور سوئیچینگ متصل به این کانال راه اندازی می‌شود. در همین زمان بیس ترانزیستور Q'_1 که به خروجی قسمت OR این گیت متصل شده است، قطع می‌باشد. (چون ورودیهای قسمت OR این گیت در حالت پائین می‌باشند).

حال اگر تنها یکی از پایه‌های ورودی گیت در سطح ۱ برود دیگر قسمت NOR قطع می‌شود و قسمت OR شروع به هدایت می‌کند. در این حالت ترانزیستور Q_1 قطع می‌گردد و ترانزیستور Q'_1 شروع به هدایت می‌کند و با این عمل در واقع به خاموش شدن ترانزیستور سوئیچینگ سرعت بیشتری می‌دهد. در ضمن ترانزیستور Q_1 قابلیت جریان دهی لازم برای راه اندازی ماسفتها را دارا می‌باشد. لازم به ذکر است که در فرکانسهای بالا معمولاً از ماسفت استفاده می‌شود در این طرح نیز ترانزیستورهای سوئیچینگ از نوع ماسفت می‌باشند.

تمامی این اعمال گفته شده در طبقه خروجی برای کانال A ، برای کانال B هم صادق می‌باشند کانال A از طریق $Pin1$ و کانال B از طریق $Pin4$ با خارج از آ‌سی ارتباط دارند.

همانطور که قبلاً اشاره شد فیلپ فلاپ پالس فرمان از هدایت همزمان دو ترانزیستورهای Q_1 و Q_2 به صورت مکمل عمل می‌کنند و هیچگاه به طور همزمان روشن نخواهند شد در نتیجه در این حالت فرکانس خروجی که می‌توان از ترانزیستورها چه به صورت صادر کننده جریان و چه به صورت دریافت کننده جریان بدست آورد نصف فرکانس اسیلاتور می‌باشد.

دو حالت *Source* (صادر کننده)، *Sink* (دریافت کننده) را می‌توان با نحوه بایاس کردن ترانزیستورها را به صورت *CC* یا امیتر فالوئر و برای حالت دوم به صورت *CE* یا امیتر مشترک بایاس کرد.