



صدا و سیماي جمهوری اسلامی ایران
معاونت توسعه و فناوری رسانه
اداره کل پشتیبانی فني صدا و تصوير

«منابع تغذیه سويچینگ»

تهیه و تنظیم:

رضا زمانیان



مقدمه

با پیشرفت الکترونیک و ایجاد حوزه های تخصصی ، نیاز به قطعات الکترونیکی و سریع بیشتر و بیشتر شد و رگولاتورها هم ، چون به عنوان منابع تأمین انرژی و توان دستگاهها و وسایل دیگر استفاده می شدند از اهمیت خاصی برخوردار شدند .

در حدود ۳۵ سال قبل با پیشرفتی که در زمینه منابع تغذیه صورت گرفت ، رگولاتورهای سوئیچینگ پا به عرصه وجود گذاشتند و به تدریج جهت روبرو شدن با نیازهای مختلف تکامل یافتند و می توان گفت اینگونه منابع، نقش بسزایی در پیشرفت صنعت الکترونیک داشته اند.

در تحقیق حاضر، انواع رگولاتورهای سوئیچینگ و روش کاری آنها مورد بررسی قرار گرفته است.

فهرست مطالب

۱	پیشگفتار
۲	مروری بر منابع تغذیه سویچینگ
	<ul style="list-style-type: none"> - چگونگی عملکرد رگولاتورهای سویچینگ - مزایا و معایب رگولاتورهای خطی - مزایا و معایب رگولاتورهای سویچینگ - چگونگی عملکرد یک منبع تغذیه سویچینگ - انواع منبع تغذیه سویچینگ - رگولاتورهای سویچینگ حالت فرورارد - رگولاتورهای سویچینگ حالت فلای بک
۱۱	رگولاتورهای سویچینگ «فاقد ترانسفورماتور انزوله کننده»
	<ul style="list-style-type: none"> - رگولاتور باک (Buck) - رگولاتور بوست (Boost) - رگولاتور باک-بوست (Buck-Boost)
۱۸	رگولاتورهای سویچینگ «با ترانسفورماتور انزوله کننده»
	<ul style="list-style-type: none"> - رگولاتور فلای بک (FlyBack) - رگولاتور پوش پول (Push Pull)

- رگولاتور نیم موج (Half Bridge)

- رگولاتور تمام موج (Full Bridge)

مدارات مجتمع (IC) «کنترل کننده منابع تغذیه» ۲۷

- وجه مشترک مدارات

- قطعات و مدارات مورد نیاز

- حالت کنترل شبه رزونانسی

- حالت کنترل ولتاژ

- حالت کنترل جریان

- معرفی خانواده IC های UC3842/3/4/5 با کنترل جریان

- معرفی تراشه های L5991 و L5991A با کنترل جریان

منابع و آخذ ۴۵

ایده منابع تغذیه سویچینگ در سال ۱۹۷۰ توسط مهندسان الکترونیک مطرح گردید که در ابتدای امر از بازدهی پایینی برخوردار بود ولی در مقایسه با باتریها و منابع تغذیه آنالوگ وزن و حجم کوچکتر ولی در عین حال توان بالایی داشتند.

در طرحهای نخستین منابع تغذیه از عناصر ابتدایی نظیر BJT استفاده می شد که این خود باعث کاهش راندمان در حدود ۶۸٪ می شد. امروزه منابع تغذیه سویچینگ جایگاه خاصی در صنعت برق و الکترونیک و مخابرات یافته اند و بدلیل برتریها و مزایای زیادی که نسبت به دیگر منابع تغذیه دارا می باشند توجه صنعتگران و مهندسان برق را به خود معطوف کرده اند تا جایی که گروهی از مهندسان الکترونیک در بهبود و کاراییها و کیفیت آنها تحقیقات گسترده ای انجام داده اند البته نتیجه این تلاشها پیشرفت روزافزونی است که در ساخت این سیستمها پدید آمده است همچنین پیشرفت در تکنولوژی ساخت قطعات نیز تاثیر بسزایی در منابع تغذیه سویچینگ داشته است.

با پیدایش ماسفتهای سریع و پر قدرت تلفات ترانزیستوری بطور چشمگیری کاهش پیدا کرده است و عمده تلفات در ترانسها خلاصه می شود که برای غلبه بر این مشکل فرکانس کاری مدار را تا حد ۱ MHz افزایش داده اند.

در این تحقیق، مروری خواهیم داشت بر منابع تغذیه سویچینگ.

مروری بر منابع تغذیه سوپرخونک

چگونگی عملکرد رگولاتورهای سویچینگ

رگولاتورها قطعات بسیار مهمی هستند که می‌توان از آنها برای تأمین انرژی و توان دستگاهها و وسایل دیگر استفاده کرد.

رگولاتورها به دو نوع عمده تقسیم می‌شوند که عبارتند از: ۱- خطی^۱ ۲- سویچینگ^۲ در گذشته از رگولاتورهای خطی به وفور استفاده می‌شد و چون به مرور زمان در مصارف مختلف کارایی و بازده خوبی نداشتند به تدریج منسوخ شده و جای خود را به رگولاتورهای سویچینگ دادند. این منابع از اوایل دهه ۱۹۷۰ همزمان با عرضه ترانزیستورهای قدرت مطرح شدند و به تدریج جهت روبرو شدن با نیازهای مختلف تکامل پیدا کردند. امروزه این گونه منابع در ابعاد مختلفی همانند ولتاژ ورودی یا توان خروجی بالا و قیمت پایین و... توسعه یافته اند. برای انتخاب بین یک منبع تغذیه سویچینگ یا خطی می‌توان براساس کاربرد آنها اقدام نمود که دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند و براین اساس یکی از این دو را انتخاب می‌کنیم و همچنین حوزه‌های متعددی وجود دارد که تنهایی از این دو می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد و یا کاربرهایی که یکی از آنها بر دیگری برتری دارد. در زیر مزایا و معایب منابع تغذیه خطی و سویچینگ را بررسی می‌کنیم.

مزایا و معایب رگولاتورهای خطی :

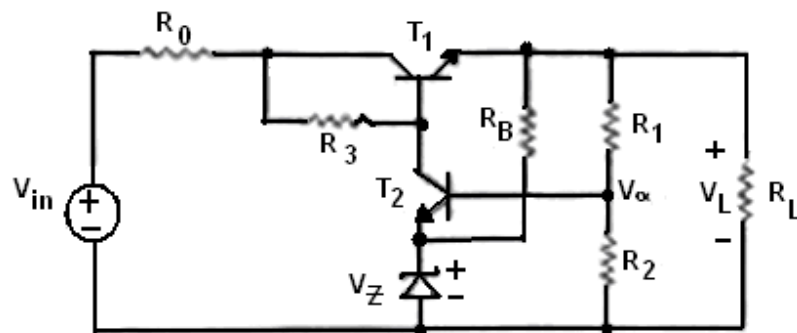
- مزایای رگولاتورهای خطی عبارتند از :
- سادگی مدار (طراحی مدار بسیار ساده و با قطعات کمی، به راحتی پایدار می‌شود).
- قابلیت تحمل بار زیاد، نویز ناچیز در خروجی و زمان پاسخ دهی بسیار کوتاه.
- برای توانهای کمتر از ۱۰ وات، ارزانتر از مدارهای مشابه سویچینگ تمام می‌شود.

Linear¹

Switching²

معایب رگولاتورهای خطی عبارتند از :

- تنها به صورت رگولاتور کاهنده بکار می‌رود (ورودی باید حداقل ۲ تا ۳ ولت بیشتر از خروجی باشد).
- قابلیت انعطاف کم و افزون هر خروجی به مدار مستلزم اضافه کردن قطعات اضافی است.
- بهره کم و در حدود ۳۰٪ تا ۴۰٪ می‌باشد. این تلفات توان در ترانزیستور خروجی تولید حرارت می‌نماید و نیاز به ترانزیستور قویتری تا حدود ۱۵ وات است، روش های معمول مفید است، ولی بیش از آن نیاز به سرمایش تحت فشار^۱ می‌باشد.
- راندمان مدار هنگامی خوب است که مقدار ولتاژ خروجی، به ولتاژ ورودی نزدیک باشد. در شکل زیر نمونه ای از یک رگولاتور ساده خطی نشان داده شده است.



ولتاژ خروجی در این رگولاتور به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$V_a = V_Z + V_{BE}$$

$$V_L = \frac{R_1 + R_2}{R_2} \cdot V_a \Rightarrow V_L = (V_Z + V_{BE}) \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

در شکل فوق ترانزیستور T_1 باید از نوع قدرت باشد زیرا باید جریان بالایی را تحمل کند.

نکات عملی در مورد ترانزیستور T_1 :

- حداکثر جریان بار بوسیله حداکثر جریان کلکتور ترانزیستور سری T_1 تعیین می‌شود.

- اختلاف بین ولتاژ ورودی و خروجی به ترانزیستور سری اعمال می‌شود، بنابراین حداکثر V_{CE} برای این ترانزیستور توسط ولتاژ خروجی و حداکثر ورودی تعیین می‌گردد.
- حاصلضرب جریان بار در V_{CE} تقریباً توان تلف شده این ترانزیستور T_1 می‌باشد.
- البته برای بهتر شدن عملکرد یک رگولاتور خطی، می‌توان حفاظت‌های ویژه و قطعات ویژه‌ای را اضافه کرد که به تفصیل این مباحث ن‌می‌پردازیم و در همین جا بحث رگولاتورهای خطی را به پایان می‌رسانیم و بحث در مورد رگولاتورهای سویچینگ را آغاز می‌کنیم.

مزایا و معایب رگولاتورهای سویچینگ :

- **مزایای منابع سویچینگ عبارتند از:**
 - افزایش راندمان در حدود ۶۸٪ تا ۹۰٪ و این موضوع کارکرد ترانزیستور در نواحی و اشباع را به انتخاب حرارت گیر یا خنک کننده^۱ و ترانزیستور کوچکتر منوط کرده است.
 - به دلیل اینکه قدرت خروجی از یک ولتاژ DC بریده شده که به شکل AC در یک قطعه مغناطیسی ذخیره می‌شود تأمین می‌گردد، لذا با اضافه کردن تنها یک سیم پیچ می‌توان خروجی دیگری را به دست آورد، که در مقایسه بسیار ارزانتر و ساده تر تمام می‌شود.
 - به دلیل افزایش فرکانس کاری به حدود ۵۰ تا ۶۰ کیلوهرتز، اجزاء ذخیره کننده انرژی می‌توانند خیلی کوچکتر انتخاب شوند و بدین دلیل از نظر سائز و اندازه کوچک هستند.
 - برخلاف منابع خطی، در توان‌های خیلی بالا قابل استفاده هستند.
 - قابل تغییر بدون افزاینده^۲ یا کاهنده^۳ و غیره.
- همه موارد ذکر شده در بالا، به کاهش هزینه و توان تلفاتی و افزایش بهره دهی و انعطاف پذیری منجر می‌شود.

- **معایب منابع سویچینگ عبارتند از:**
- طرح چنین منابعی اصولاً مشکل و پیچیده است.

Heat Sink¹Boost (Step-up)²Buck (Step-down)³

- نویز قابل ملاحظه ای ایجاد می کنند و البته می توان با کمک فیلتر و محافظ آن را کاهش داد (RFI, EMI) و ریل بیک پوتیک خروجی).
 - ماهیت کار این منابع که براساس برش یک ولتاژ DC است باعث می شود که زمان رسیدن ولتاژ خروجی به مقدار مطلوب در مقایسه با منابع خطی زیاد باشد این زمان اصطلاحاً زمان پاسخ گذرا^۱ گویند.
 - شامل ترکیبات خارجی اضافه از جمله، خازن ها و سلفها می باشد.
- تمامی موارد ذکر شده فوق در کاهش کارآمدی و افزایش قیمت مؤثر هستند ولی البته با طراحی بهتر قابل بهبود می باشند. تا به حال در مورد مزایا و معایب رگولاتورهای خطی و سویچینگ بحث شد و از مطالب فوق می توان نتیجه گرفت که این منابع حوزه های کاری مشخصی را دارند که عموماً برای مدارهای با راندمان بالا و ولتاژ بالا مثل مدارهای تغذیه شونده با باتریهای قابل حمل، تغذیه سویچینگ برتری دارد ولی برای ولتاژهای ثابت و کم، منابع خطی ارزانتر و بهترند.

چگونگی عملکرد یک منبع تغذیه سویچینگ :

همانطور که ذکر شد یک رگولاتور خطی براساس تأمین جریان و ولتاژ مطلوب در خروجی بوسیله یک نیمه هادی^۲ قدرت که در حالت خطی بکار گرفته شده است کار می کند که حاصل ضرب اختلاف ولتاژ خروجی با ورودی در جریان بار توانی است که در این عنصر نیمه هادی باید تلف شود که بعضاً زیاد است و مهمترین عامل پائین بودن راندمان می باشد.

دلیل این امر هم، همانطور که در ابتدای بحث رگولاتورهای خطی ذکر شد عملکرد ترانزیستور در حالت خطی است یعنی جایی که ولتاژ در سرسویچ و جریان عبوری آن هر دو زیاد است.

اما یک رگولاتور سویچینگ را می توان بعنوان یک منبع خطی در نظر گرفت، در حالی که در یک منبع از نوع سویچینگ، تغییر سطح ولتاژ خروجی از طریق تغییر در روشن به خاموش یا اصطلاحاً زمان کار کرد^۳

^۱ Transient response time

^۲ Semi-Conductor

^۳ Duty cycle

ترانزیستور خروجی انجام می‌گیرد. به دلیل کارکرد ترانزیستور در حالت خاموش و روشن تلفات در نیمه هادی در مقایسه با حالت خطی خیلی کم است.

دلیل نامگذاری این منابع به نامهای خطی و سویچینگ هم حالت عملکرد عنصر نیمه هادی است.

انواع منابع تغذیه سویچینگ :

منابع تغذیه سویچینگ به دو نوع کلی قابل تقسیم بندی هستند :

- فوروارد **Forward**

- فلای بک **Flyback**

با وجود شباهت های فراوان، تفاوت های متمایز کننده ای هم وجود دارد. نحوه عملکرد و چگونگی

قرارگیری عنصر مغناطیسی تعیین کننده نوع مدار است.

عناصر اصلی هر یک از انواع این منابع عبارتند از :

- یک منبع سویچ جهت تهیه موج **pwm**.

- القاگر (در مورد منابع پیشرفته، القاگر جای خود را به ترانس می‌دهد).

- سویچ قدرت (ترانزیستور قدرت)^۱

- خازن ذخیره کننده انرژی در خروجی

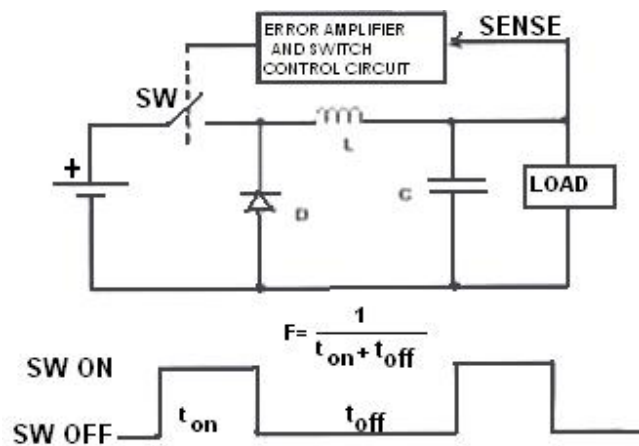
- شبکه های حس کننده و عمل کننده بازخورد.

رگولاتور سویچینگ حالت فوروارد :

آرایش^۲ کلی منابع نوع فوروارد مطابق مدار شکل زیر است.

¹ Power Transistor

² Topology



رگولاتور حالت فور وارد

حال به توضیح مختصری در مورد قطعات بکار رفته می‌پردازیم.

- سویچ قدرت :

یک ترانزیستور قدرت یا یک MOSFET یا IGBT می‌باشد که فرکانس قطع و وصل آن باید از فرکانس کاری مدار خیلی بالاتر باشد.

- القاگر :

یک عنصر ذخیره کننده انرژی است و عملکرد مدار خیلی شبیه پیستون و چرخ طیار است. البته امکان وجود یک ترانسفورماتور به جای القاگر به منظور تغییر سطح ولتاژ و ایجاد ایزولاسیون وجود دارد (اولیه‌ی این ترانس جای القاگر و ثانویه آن بار و فیلتر خروجی را تغذیه می‌کند).

- خازن :

یک عنصر ذخیره کننده انرژی است برای اینکه مقدار ولتاژ خروجی در مقدار مشخص خود باقی بماند و ریپل زیادی نداشته باشد.

- یکسوکننده :

یک دیود فوق سریع است که معمولاً از دیود شاتکی استفاده می‌شود که البته باید زمان قطع و وصل آن بسیار کم باشد.

نحوه‌ی عملکرد مدار :

همانطور که پیستون انرژی ندارد (دریک پیستون و چرخ طیار) و انرژی از سوی چرخ طیار تامین می شود و در چرخه بعدی پیستون به مجموعه ی چرخ طیار انرژی می دهد، در اینجا هم هنگامی که سویچ باز است با چرخش جریان از طریق دیود انرژی از سوی القاگر تامین می شود و در چرخه بعدی با بسته شدن سویچ، القاگر مجدداً توسط منبع ورودی انرژی دار می شود.

هر دوره از مدار فوق به دو بخش قابل تقسیم است که عبارتند از:

- **Ton**: هنگامی که سویچ بسته است، جریان از منبع و القاگر عبور کرده و در اختیار فیلتر و

بار قرار می گیرد در این حالت دیود خاموش است.

- **Toff**: هنگامی که سویچ باز می شود، در این حالت القاگر، فیلتر و بار از طریق دیود تأمین

می گردد و کار بدون تغییر در سطح ولتاژ خروجی ادامه می یابد.

برای محاسبه ولتاژ خروجی نسبت به ولتاژ ورودی می توان نوشت:

D-C سویچ (Duty Cycle): متوسط ولتاژ خروجی را کنترل می کند (عملاً ۵٪ تا ۹۵٪) پس در این

حالت ولتاژ خروجی برابر خواهد بود با:

$$V_{out} = (V_{in}) \cdot (D.C)$$

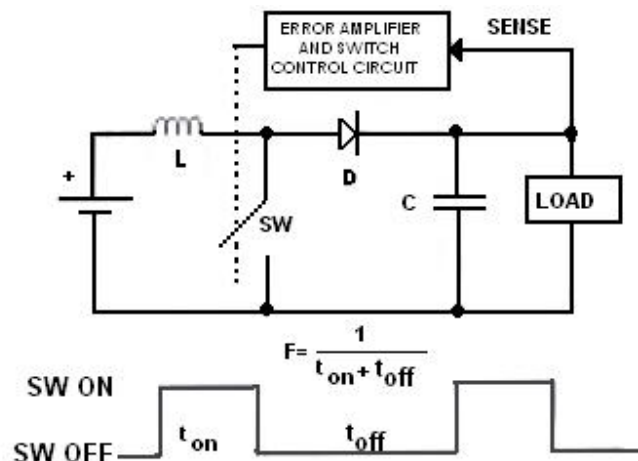
$$D.C \leq 1 \Rightarrow V_{out} \leq V_{in}, \frac{V_{out}}{V_{in}} \leq 1$$

که V_{out} ولتاژ خروجی و V_{in} ولتاژ ورودی می باشد.

پس چنین منابعی ولتاژ با پلاریته ی مخالف و بزرگتر از ولتاژ ورودی نمی توانند تولید کنند.

رگولاتور سویچینگ حالت فلای بک:

آرایش کلی منابع نوع فلای بک مطابق مدار شکل زیر می باشد.



«رگولاتور سویچینگ حالت فلای بک»

نحوه عملکرد مدار :

با روشن شدن سویچ قدرت، القاگر از طریق منبع پر انرژی می‌گردد، در این حالت دیود قطع می‌باشد. با خاموش شدن سویچ، جریان بار از طریق دیود، القاگر و تغذیه ادامه می‌یابد.

تحت حداقل کاری، **D.C** به ۵۰٪ می‌رسد و **Tflbk** برابر کل دوره کاری منهای **Ton** خواهد بود. پس در این حالت ولتاژ خروجی برابر است با :

$$V_{out} \equiv V_{in} + V_{flbk} \equiv V_{in} \left(1 + \frac{T_{on}}{T_{flbk}}\right)$$

و از رابطه فوق نتیجه می‌گیریم که :

$$V_{out} \geq V_{in} \quad , \quad \frac{V_{out}}{V_{in}} \geq 1$$

پس چنین منابعی ولتاژ بزرگتر از ولتاژ ورودی را می‌توانند تولید کنند.

توجه به این نکته که علی‌رغم شباهت‌های فراوان حالت فلای بک و فوروارد، تفاوت عمده‌ی این دو در هنگام خاموشی سویچ قدرت است که در این زمان، در مدار فوروارد تغذیه‌ی باز از راه القاگر و دیود ادامه می‌یابد، در حالی که در مدار فلای بک این کار از راه تغذیه، القاگر و دیود انجام می‌شود.

رکولاتورهای سوپرجینک

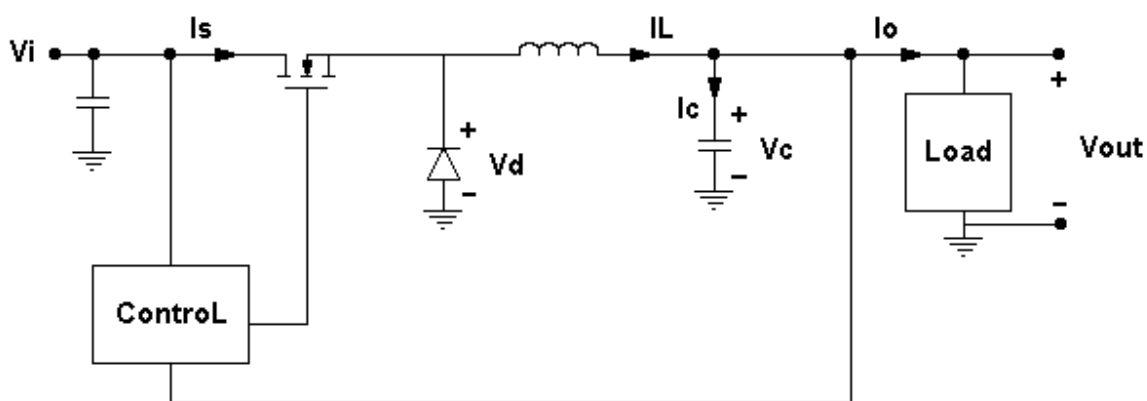
«فاقد ترانسفورماتور اینزوله کننده»

رگولاتور باک (Buck):

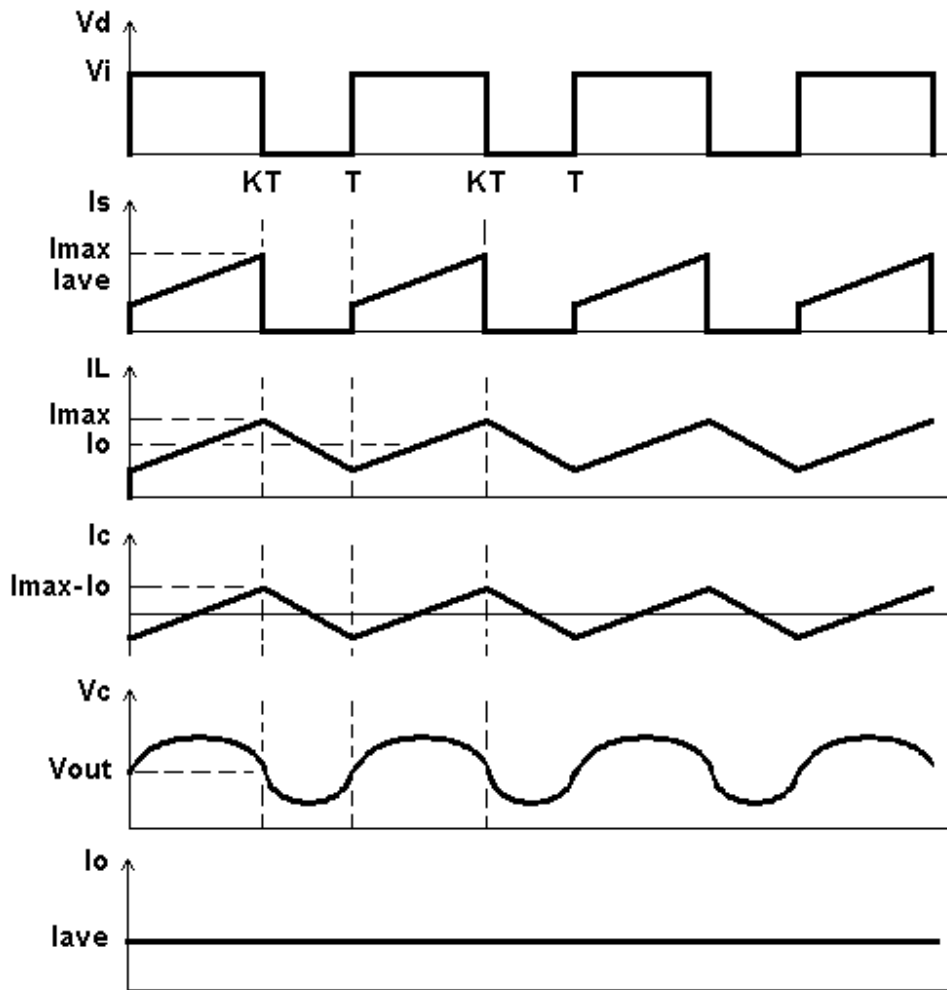
در یک رگولاتور باک مقدار متوسط ولتاژ خروجی V_{out} کمتر از ولتاژ ورودی V_{in} است. نمودار مدار یک رگولاتور باک که از یک MOSFET قدرت به عنوان سوئیچ استفاده می‌کند در شکل زیر نشان داده شده است که مشابه یک چاپر کاهش پله‌ای می‌باشد. طرز کار مدار را می‌توان به دو حالت تقسیم کرد. حالت اول هنگامی آغاز می‌شود که ترانزیستور در $t=0$ روشن می‌شود. جریان ورودی که صعودی می‌باشد از سلف و فیلتر و مقاومت بار عبور می‌کند. حالت دوم هنگامی شروع می‌شود که ترانزیستور در لحظه t_2 خاموش می‌شود به خاطر وجود انرژی ذخیره شده در سلف دیود هرزگرد هدایت می‌کند و جریان سلف به عبور از خازن و بار و دیود ادامه می‌دهد. جریان سلف تا زمان روشن شدن دوباره ترانزیستور در سیکل بعدی نزول می‌کند.

مدارهای معادل برای حالت‌های مختلف کاری در شکل زیر نشان داده شده‌اند. شکل موج‌های ولتاژ و جریان نشان داده شده برای حالت پیوسته جریان در سلف می‌باشند. بسته به فرکانس کلیدزنی و اندوکتانس فیلتر جریان سلف می‌تواند ناپیوسته نیز باشد. رگولاتور باک ساده و بازده آن بیش از ۹۰٪ است و فقط به یک ترانزیستور نیاز دارد.

در این رگولاتور ولتاژ خروجی فقط یک قطبیت داشته و جریان خروجی یکسویه است. همچنین برای جلوگیری از اتصال کوتاه در مسیر دیود به یک مدار محافظ نیاز است. ساده‌ترین و آسانترین و در عین حال ابتدایی‌ترین آرایش مربوط به این نوع است که نقاط ضعف مربوط به خود را داراست.



«رگولاتور باک»



«شکل موجهای ولتاژ و جریان»

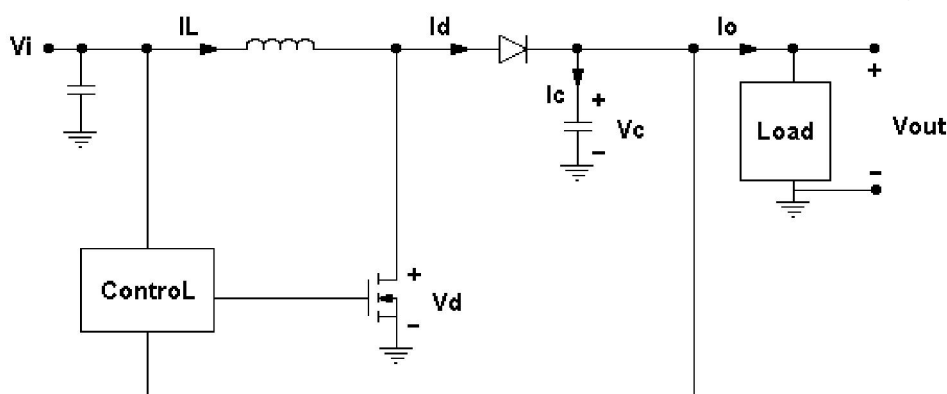
معایب رگولاتور باک:

۱. به منظور تثبیت ولتاژ خروجی لازم است که ولتاژ ورودی ۱ تا ۲ ولت بیشتر از ولتاژ خروجی باشد.
۲. هنگامی که سوئیچ روشن می شود هنوز دیود روشن است که به آسیب دیدگی سوئیچ و دیود منجر می شود (لذا باید از یک دیود سریع با زمان بازیابی حداقل استفاده شود).
۳. سوئیچهای قدرت هنگام سوختن اتصال کوتاه می شوند به همین دلیل خروجی را به بار وصل می کنند (راه حل آن حس کردن تغییرات سریع جریان بار و انتقال آن به یک ترستور موازی است). علی رغم تمامی معایب و محدودیتهایی که ذکر شد در شرایط عادی این منابع توانایی تحویل بیش از ۱۰۰ وات توان به خروجی را دارند.

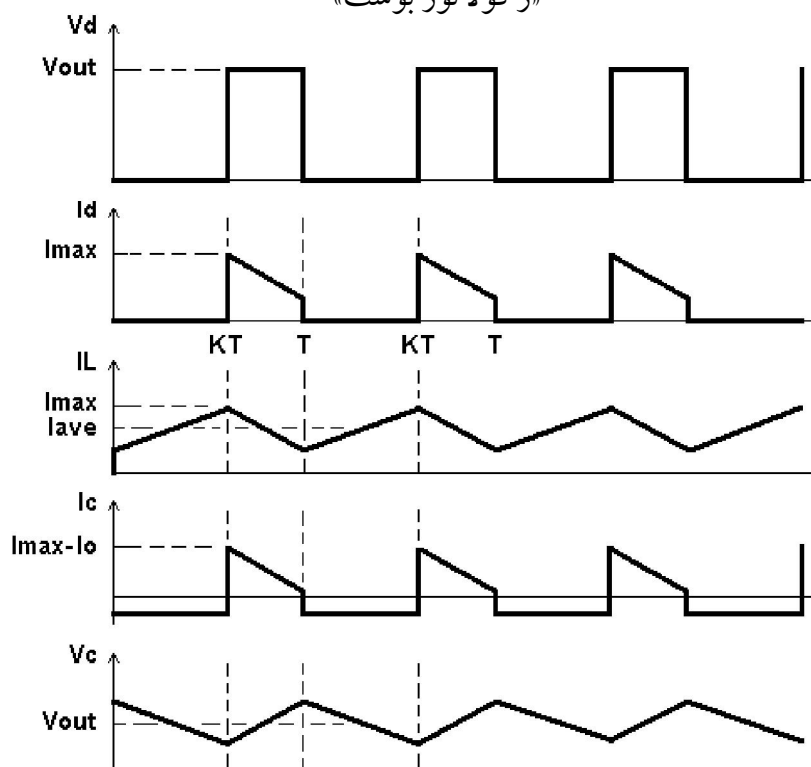
رگولاتور بوست (Boost):

این رگولاتور یکی از انواع رگولاتورهای فلای بک است که خروجی آن بزرگتر یا مساوی ورودی است. در رگولاتور بوست ولتاژ خروجی می‌تواند بیشتر از ولتاژ ورودی باشد که به همین علت چنین نامگذاری شده است. یک رگولاتور بوست که از یک MOSFET قدرت استفاده می‌کند در شکل زیر نشان داده شده است.

طرز کار مدار را می‌توان به دو حالت تقسیم کرد. حالت اول با روشن شدن ترانزیستور در $t=0$ آغاز می‌شود. ولتاژ ورودی روی القاگر می‌افتد و جریان صعودی از L و ترانزیستور می‌گذرد. حالت دوم هنگامی شروع می‌شود که ترانزیستور در لحظه t_2 خاموش می‌گردد.



«رگولاتور بوست»



«شکل موجهای ولتاژ و جریان»

جریانی که تا به حال از ترانزیستور عبور می کرد حالا از L-C و بار و دیود عبور می کند. جریان سلف کاهش می یابد تا اینکه ترانزیستور در سیکل بعدی دوباره روشن گردد. انرژی ذخیره شده در سلف به بار منتقل می گردد.

مدارهای معادل برای حالت‌های مختلف کاری در شکل «موجهای ولتاژ و جریان» نشان داده شده اند. شکل موجهای ولتاژ و جریان برای حالتی که جریان بار پیوسته است نشان داده شده اند. همان طور که گفته شد این رگولاتور بدون استفاده از ترانسفورماتور می تواند ولتاژ خروجی را افزایش دهد.

به خاطر داشتن فقط یک ترانزیستور این مدار بازده بالایی دارد. ولتاژ خروجی در برابر تغییرات سیکل کاری (Duty Cycle) D.C خیلی حساس است و پایدار کردن رگولاتور ممکن است مشکل باشد. مقدار متوسط جریان سلف بزرگتر از مقدار متوسط جریان خروجی است و جریان موثر خیلی بزرگتری از خازن فیلتر عبور خواهد کرد که باعث می شود مجبور شویم از خازن فیلتر بزرگتر و سلف بزرگتری نسبت به رگولاتور باک استفاده کنیم.

دو حالت کاری پیوسته و ناپیوسته برای این رگولاتور قابل ذکر است. تمایز این دو حالت این است که انرژی القاگر به صفر می رسد یا نه.

همانند سایر رگولاتورهای فاقد ترانسفورماتور ایزوله این توپولوژی هم نقاط ضعف فراوانی دارد. بویژه در ارتباط با بار و حالات خطرناک گذرا که باعث می شود هرگونه تموج رودی به خروجی انتقال یابد. استفاده از ترانسفورماتور ایزوله طیف وسیعی از اشکالات را بر طرف خواهد نمود.

رگولاتور باک - بوست (Buck - Boost):

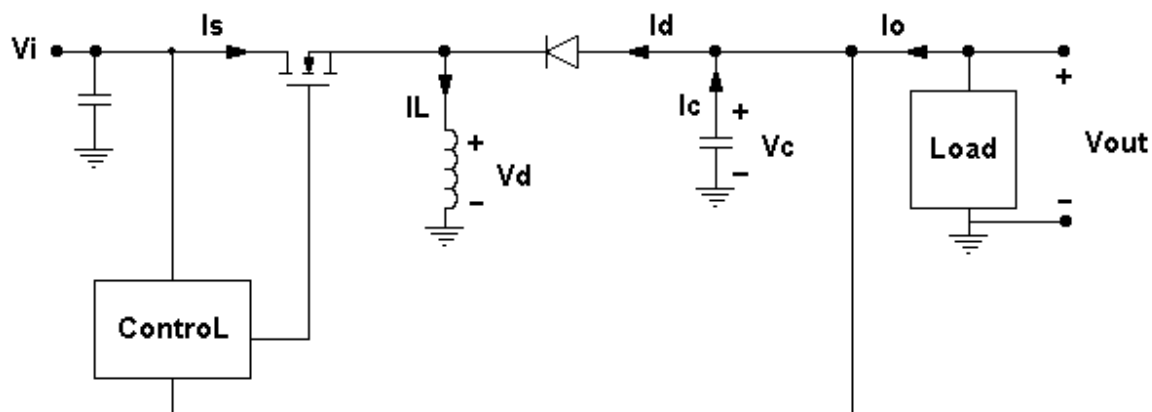
این رگولاتور نوعی از رگولاتور فلای بک است که عملکرد آن خیلی به عملکرد رگولاتور Boost شبیه است. بعلاوه به عنوان یک رگولاتور معکوس کننده هم شناخته می شود. تفاوت موجود میان رگولاتور Boost و Buck-Boost همانطور که در شکل صفحه بعد پیداست تعویض جایگاه القاگر و سوئیچ قدرت است.

همانند رگولاتور بوست القاگر انرژی را ذخیره می کند. مادامی که سوئیچ قدرت روشن است انرژی ذخیره شده و سپس از طریق یکسوساز به زمین تخلیه می شود که نتیجه آن ولتاژ منفی است و مقدار آن بوسیله D.C سوئیچ قدرت تعیین می گردد.

زمان وظیفه (D.C) این رگولاتور بویژه هنگامی که نیاز به تخلیه انرژی هسته باشد به ۵۰٪ محدود می‌شود. معادلات مربوط به انرژی و هسته درست همانند رگولاتور بوست است. اشکالی که وجود دارد این است که هرگونه تموج ولتاژ به نیمه هادی قدرت آسیب می‌رساند. راه حلی شبیه حالت قبل در اینجا وجود دارد.

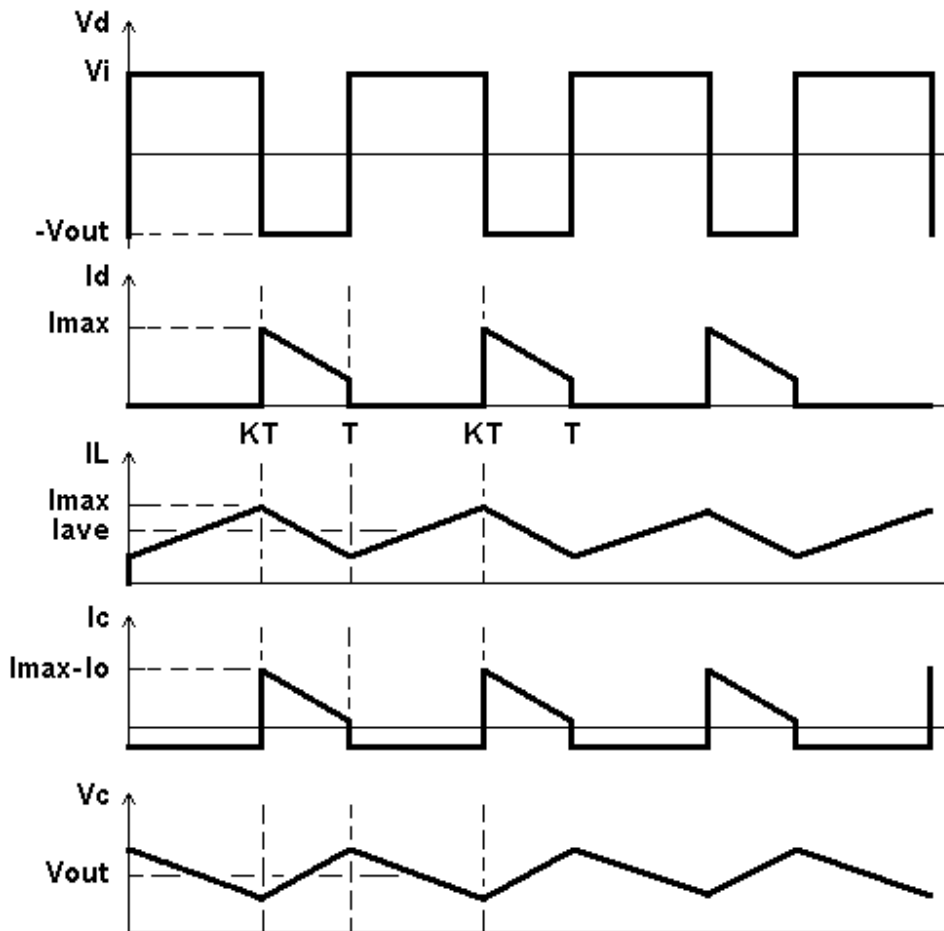
علی‌رغم همه معایب این آرایش توان تحویل تا ۱۰۰ وات را به خروجی دارد. ولتاژ خروجی یک رگولاتور باک - بوست می‌تواند کمتر یا بیشتر از ولتاژ ورودی آن باشد و به همین علت این چنین نامگذاری شده است. قطبیت ولتاژ خروجی مخالف ولتاژ ورودی است. این رگولاتور با نام رگولاتور معکوس کننده نیز شناخته می‌شود.

مدار یک رگولاتور باک - بوست در شکل زیر نشان داده شده است. طرز کار مدار را می‌توان در دو حالت بررسی کرد.



«رگولاتور باک - بوست با جریان پیوسته سلف»

«شکل موجهای ولتاژ و جریان» در صفحه بعد آمده است.



«شکل موجهای ولتاژ و جریان رگولاتور باک - بوست با جریان پیوسته سلف»

در حالت اول ترانزیستور روشن و دیود بایاس معکوس می‌شود. جریان ورودی که در حال افزایش است از سلف و ترانزیستور می‌گذرد. در حالت دوم ترانزیستور خاموش می‌گردد و جریانی که از سلف می‌گذشت حال از خازن و بار و دیود عبور می‌کند.

انرژی ذخیره شده در القاگر به بار منتقل می‌گردد و جریان سلف نزول می‌کند تا اینکه ترانزیستور دوباره در سیکل بعدی روشن گردد. مدارهای معادل دو حالت در شکل (۳-۳) نشان داده شده است. شکل موجهای پایدار ولتاژ و جریانهای رگولاتور برای حالت پیوسته جریان در بار نشان داده شده اند.

رگولاتور باک - بوست بدون استفاده از ترانسفورمر عمل معکوس کردن قطبیت ولتاژ خروجی را انجام می‌دهد و بازده بالایی دارد. پیاده سازی محافظت در برابر اتصال کوتاه خروجی ساده می‌باشد.

این رگولاتور توان ثابتی را مستقل از امپدانس بار به خروجی تحویل می‌دهد و بطور وسیعی در فلاشهای نوری و باطری شارژها استفاده می‌شود.

رکولاتورهای سوپرحینک

«باترانسفورماتور اینزوله کننده»

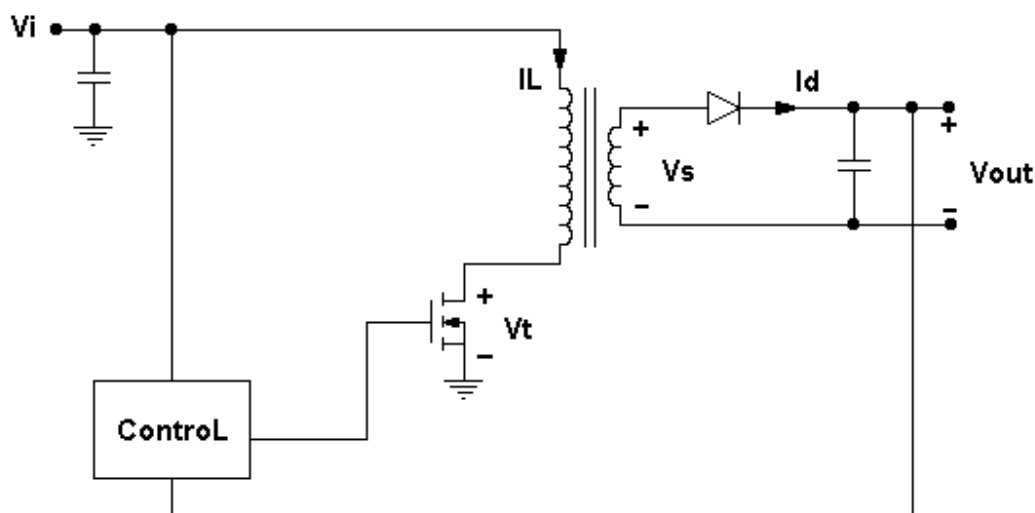
رگولاتور سوئیچینگ با ترانسفورمرایزوله کننده

با بهره گیری از ترانسفورمرایزوله کننده ایزولاسیون به کمک سیمهای عایق و نوارهای عایق انجام می شود که در این حالت تا صدها ولت و بیشتر ولتاژ قابل تحمل وجود دارد. حسن دیگر ترانسفورمرایزوله کننده افزودن خروجیهای متعدد بدون نیاز به رگولاتور جداگانه است. در اینجا هم توپولوژی های فلای بک و فوروارد وجود دارد بعلاوه ترانس می تواند به عنوان افزایشنده یا کاهشنده ولتاژ عمل کند.

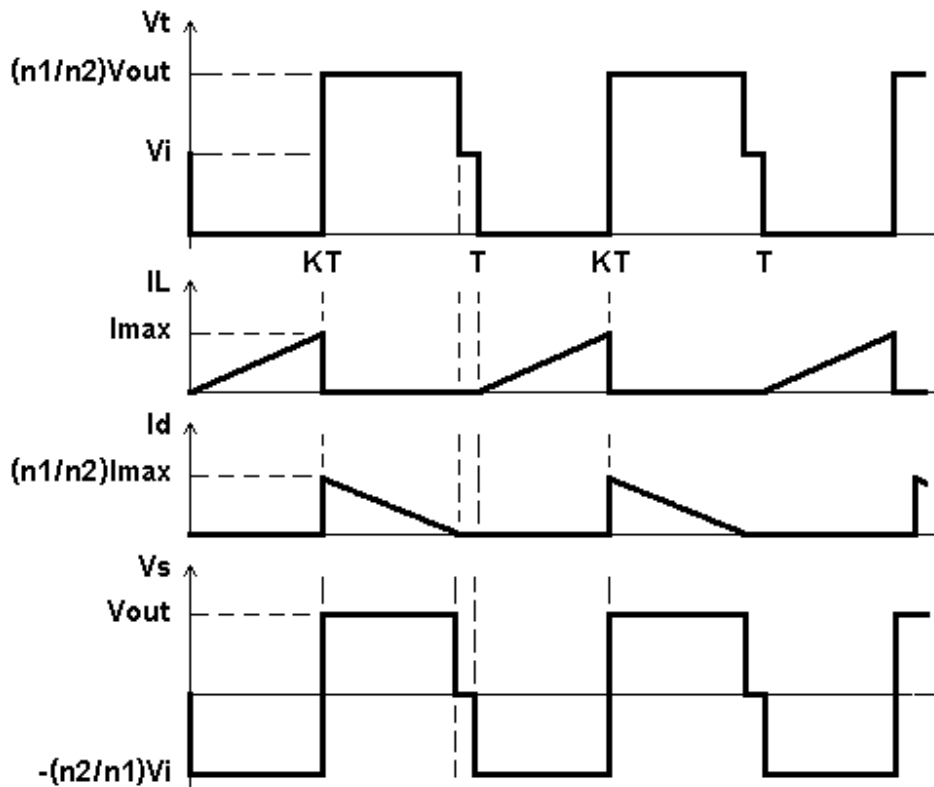
رگولاتور فلای بک (Fly Back)

ساده ترین و کم قطعه ترین عضو خانواده منابع تغذیه سوئیچینگ طرح فلای بک است که در محدوده بسیار وسیعی به کار می رود و در شکل زیر نشان داده شده است. این رگولاتور کاملاً شبیه رگولاتور بوست است بجز یک سیم پیچ اضافی روی القاگر آن که این سیم پیچ علاوه بر ایزولاسیون قابلیت های فراوانی را هم به مدار می افزاید که عبارتند از:

۱. بیش از یک خروجی در یک تغذیه قابل تحصیل است.
۲. خروجی می تواند مثبت یا منفی مستقل از سطح ورودی باشد.
۳. ایزولاسیون الکتریکی بین ورودی و خروجی خیلی زیاد است.



«رگولاتور فلای بک»



«شکل موجهای ولتاژ و جریان»

عملکرد این رگولاتور ترکیبی از عملکرد رگولاتورهای بوست و باک است و در یک دوره کاری قابل تفسیر است. نخست هنگامی که ترانزیستور قدرت روشن است در این حالت با عبور جریان از اولیه ترانسفورمر انرژی دار می شود و سپس هنگامی که سوئیچ خاموش می شود با تخلیه انرژی در بار از مقدار انرژی کاسته می شود. در اینجا هم اگر انرژی تا نیم دوره بعدی در هسته باقی بماند حالت کاری پیوسته و اگر نماند حالت کاری ناپیوسته است.

هنگامی که سوئیچ روشن است جریان خطی مثلثی با شیب V_{in}/L_1 در اولیه برآه می افتد و تا هنگامی که سوئیچ خاموش نشود ادامه می یابد.

هنگامی که ترانزیستور روشن است V_t برابر ولتاژ اشباع ترانزیستور و هنگامی که سوئیچ خاموش است این ولتاژ به مقدار $V_{in} + (n_1/n_2)V_{out}$ می رسد (بعلاوه افت یک دیود و حالت گذرا).

هنگامی که سوئیچ خاموش است جریان در ثانویه با شیب $-V_{out}/L_2$ کاهش می یابد. عملکرد مدار فلای بک کمی پیچیده تر از فرورارد است ولی ریاضیات حاکم کماکان ساده است.

علی رغم حالت فوروارد سیم پیچ اولیه و ثانویه همفاز پیچیده نشده اند و جریان همجهت برآه نمی افتد و لذا اولیه و ثانویه مانند القاگرهای ساده جداگانه می توانند تحلیل شوند. مدار نوع فلای بک برای توانهای تا حدود ۱۰۰ وات مناسب است.

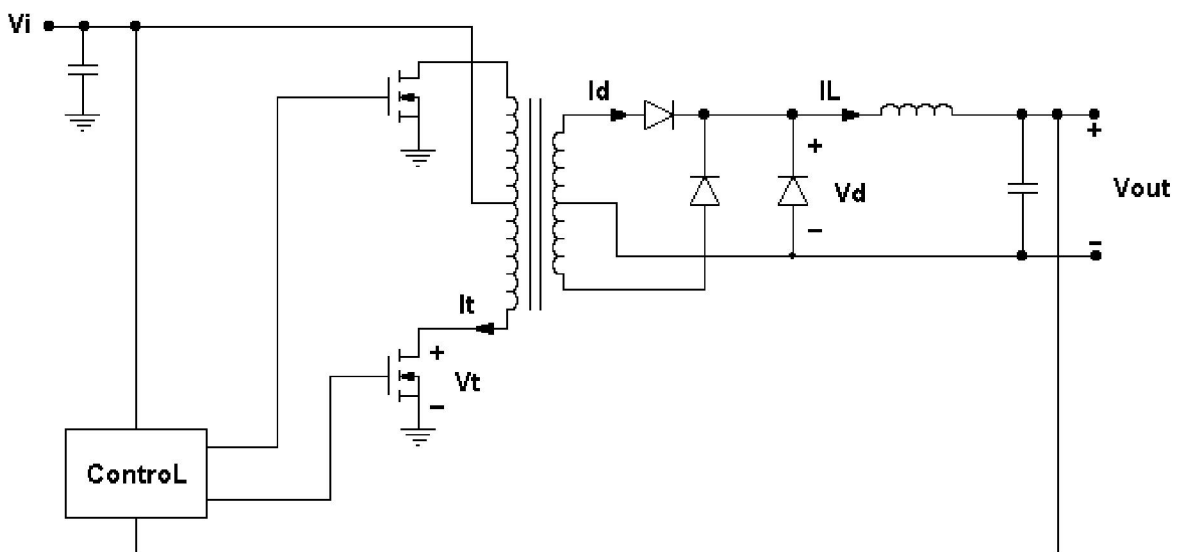
رگولاتور پوش پول (Push Pull)

شکل زیر آرایش مدار پوش پول را نشان می دهد. این مدار مانند سایر رگولاتورهای فوروارد در خروجی به فیلتر L-C و Buck مجهز است. انرژی در هسته ذخیره نمی شود و جریان در ثانویه همزمان با هدایت ترانزیستور مربوطه در اولیه برآه می افتد. ترانزیستورها به صورت متوالی با یک زمان مرده (این زمان که برای BJT حدود ۲ میکرو ثانیه و برای MOSFET حدود ۵۰ تا ۴۰۰ نانو ثانیه است برای کسب اطمینان از خاموش شدن ترانزیستورها از لحظه اعمال ولتاژ به گیت یا بیس تا توقف کامل عبور جریان از کلکتور یا درین لازم است) کار هدایت جریان را بر عهده می گیرند (در صورتی که زمان مرده کافی نباشد یک ترانزیستور هنگامی که ترانزیستور دیگر کاملاً خاموش نشده است روشن می شود و در این حالت عبور جریان بسیار زیاد از اولیه باعث آسیب دیدن ترانزیستورها خواهد شد).

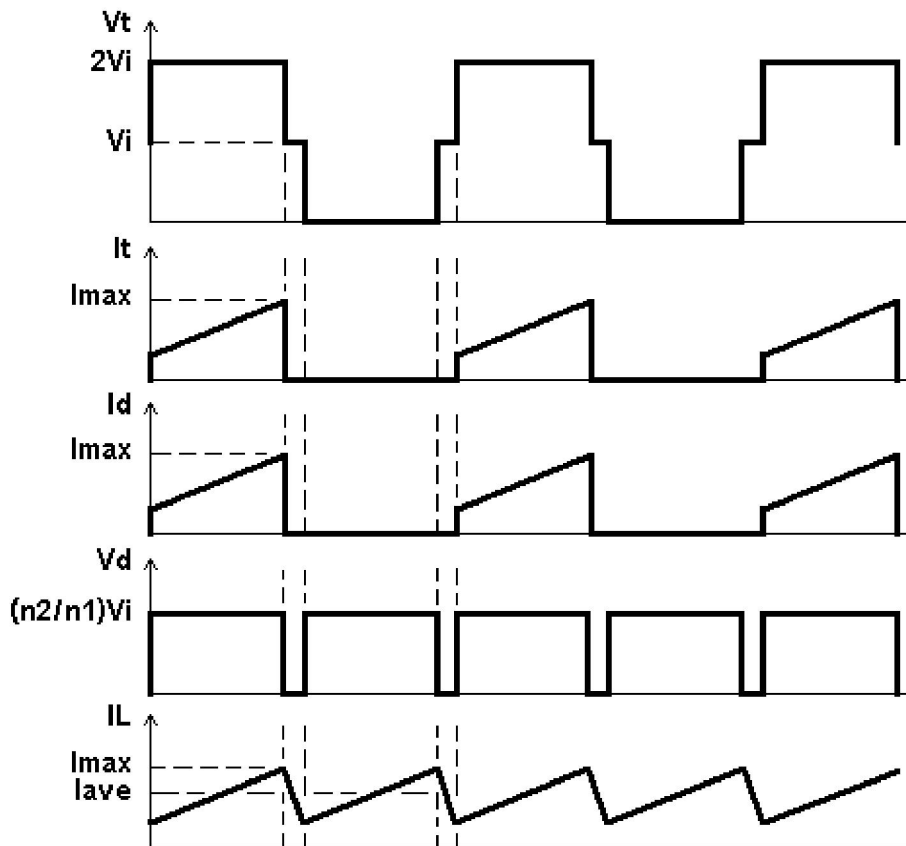
علی رغم اینکه سیم پیچهای اولیه و ثانویه در یک جهت پیچیده شده اند نحوه اتصالات بگونه ای است که جریان در جهت های عکس به صورت متوالی در اولیه برآه می افتد. در این حالت از عنصر مغناطیسی به صورت متقارن استفاده می شود که این شکل کارکرد مدار مزایای زیر را به همراه دارد:

۱. فوران ایجاد شده در هسته پیرامون منحنی B-H متقارن است و در این حالت علی رغم فضای اضافی لازم برای سیم پیچی اضافی حجم هسته متوجه کاهش چشمگیری پیدا می کند. مزیت دیگر رگولاتور پوش پول در مقایسه با طرح فلای بک قدرت تحویل توان ۲ برابر به بار است. این منابع توان تحویل تا چند صد وات را به خروجی دارند.

۲. به دلیل کارکرد هر یک از ترانزیستورها در فرکانسی برابر نصف فرکانس کاری اصلی عوامل محدود کننده نظیر حرارت و... به نصف کاهش یافته است. مانند رگولاتور Buck القاگر خروجی هیچگاه نباید کاملاً از فوران تخلیه گردد. جریان القاگر خروجی یک موج مثلثی برابر حاصل جمع جریان در دو نیمه اولیه ضربدر ضریب تبدیل جریان ترانسفورمر است که روی یک سطح DC که دست کم برابر نصف جریان نامی خروجی باید باشد سوار است.



«رگولاتور پوش پول»



«شکل موجهای ولتاژ و جریان رگولاتور پوش پول»

اشکال اساسی و غیر قابل حل رگولاتور PUSH PULL

به دلیل اینکه هیچ دو ترانزیستوری یافت نمی‌شوند که مشخصاتشان کاملاً یکسان باشد و عملاً پیچیدن دو نیمه اولیه به صورت کاملاً یکسان بسیار مشکل است مدار از کار متقارن حول منحنی B-H خارج می‌شود و این همه مشکل نیست.

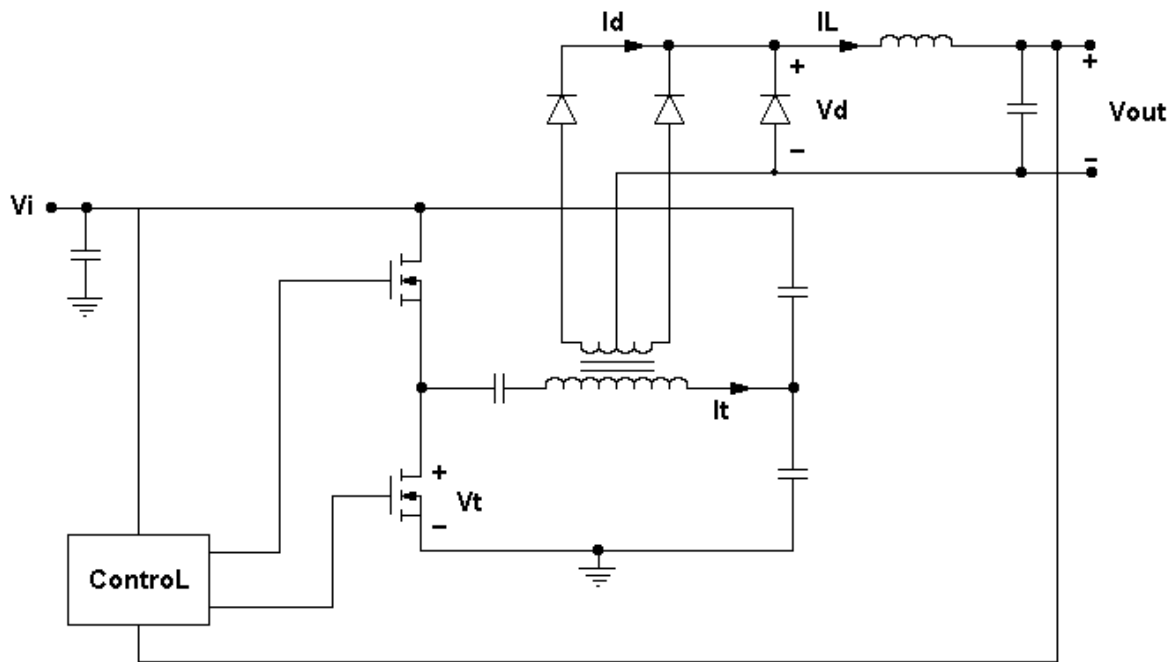
مشکل اصلی هنگامی بروز می‌کند که کنترلر سعی در جبران D.C (Duty Cycle) مدار هنگامی که بار با یک افزایش پله‌ای در جریان خروجی مواجه می‌شود بنماید که در این حالت هسته به اشباع می‌رود و هر گونه تلاشی در جهت افزایش توان تحویلی به بار بیهوده است و این کار به افزایش جریان عبوری از ترانزیستورها منجر می‌شود که در نهایت باعث بروز آسیب جدی به نیمه هادی می‌شود. اغلب طراحان با تجربه استفاده از آرایشهای نیم پل و تمام پل را بر پوش پول ترجیح می‌دهند.

رگولاتور نیم پل (Half Bridge)

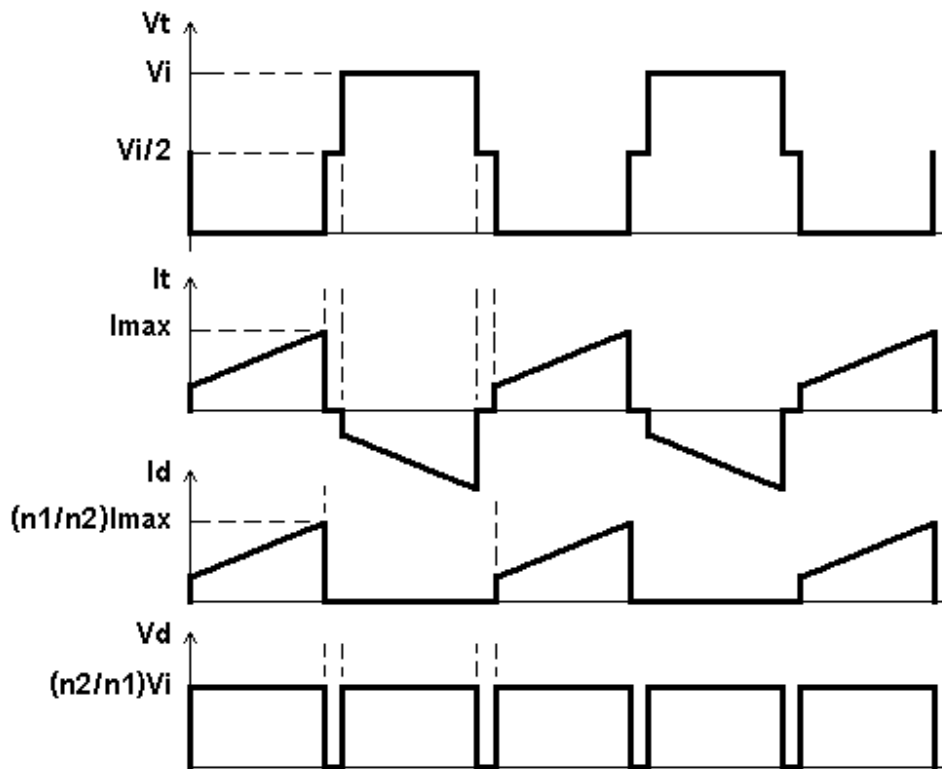
شکل دیگر مبدل با ترانسفورمر ایزوله آرایش نیم پل است. همان طور که در شکل زیر پیداست در اینجا تنها یک سیم پیچ اولیه داریم که در کوپلاژ با یک ترانسفورمر سروسط افزایشده یا کاهشده قرار می‌گیرد. اولیه این ترانس توسط دو سوئیچ قدرت بطور متناوب به زمین یا V_{in} وصل می‌شود. سر دیگر اولیه به محل اتصال یک جفت خازن که تقریباً در ولتاژ نصف V_{in} روی سیم پیچ اولیه می‌افتد.

خطر اشباع وجود ندارد (تنها پیک I_{lin} می‌تواند هسته را به اشباع بیاندازد) به علاوه نیازی به مدارات کنترلی گران قیمت نمی‌باشد. بیشترین ولتاژی را که ترانزیستورها باید تحمل کنند V_{in} است در صورتیکه در رگولاتور پوش پول $2V_{in}$ بود. از اینرو ترانزیستورهایی با ولتاژ شکست کمتر قابل بکارگیری است. یکی از اشکالات این منابع هدایت ترانزیستورها به ویژه ترانزیستور بالایی است و هدایت آنها به وسیله یک ترانسفورمر ایزوله انجام می‌گیرد.

در محدوده ۱۵۰ تا ۵۰۰ وات این طرح بهترین انتخاب است و کمتر از آن رگولاتور فلای بک از نظر قیمت ترجیح دارد و بیشتر از آن هم قابلیت اطمینان این مدار کم است.



«رگولاتور نیم پل»



«شکل موجهای ولتاژ و جریان رگولاتور نیم پل»

رگولاتور تمام پل (Full Bridge)

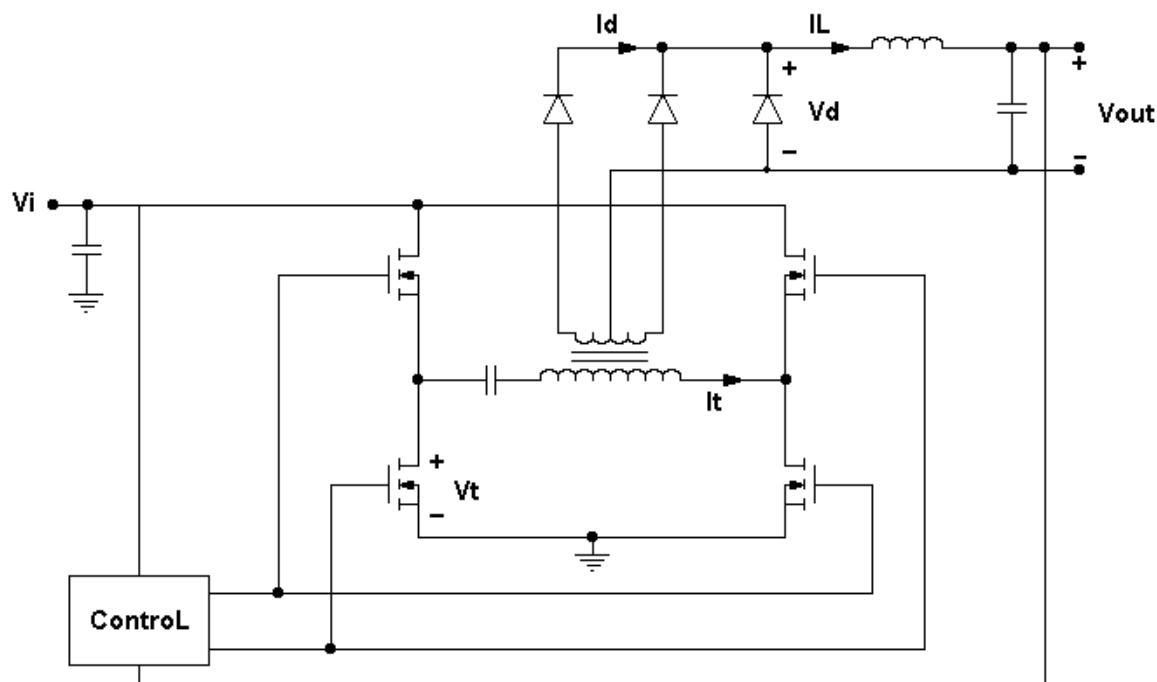
شکل زیر آخرین آرایش مربوط به رگولاتور تمام پل را نشان می‌دهد. در اینجا در مقایسه با رگولاتور نیم پل خازن‌ها جای خود را به یک جفت ترانزیستور داده‌اند و هر جفت ترانزیستور همزمان کار هدایت را برعهده می‌گیرند.

به دلیل اینکه همه V_{in} روی سیم پیچ اولیه می‌افتد پیک جریان کمتری دارد و توان قابل عرضه به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. وجود خازن سری تعادل هسته را تامین می‌کند (این کار با حذف مولفه DC جریان انجام می‌گیرد).

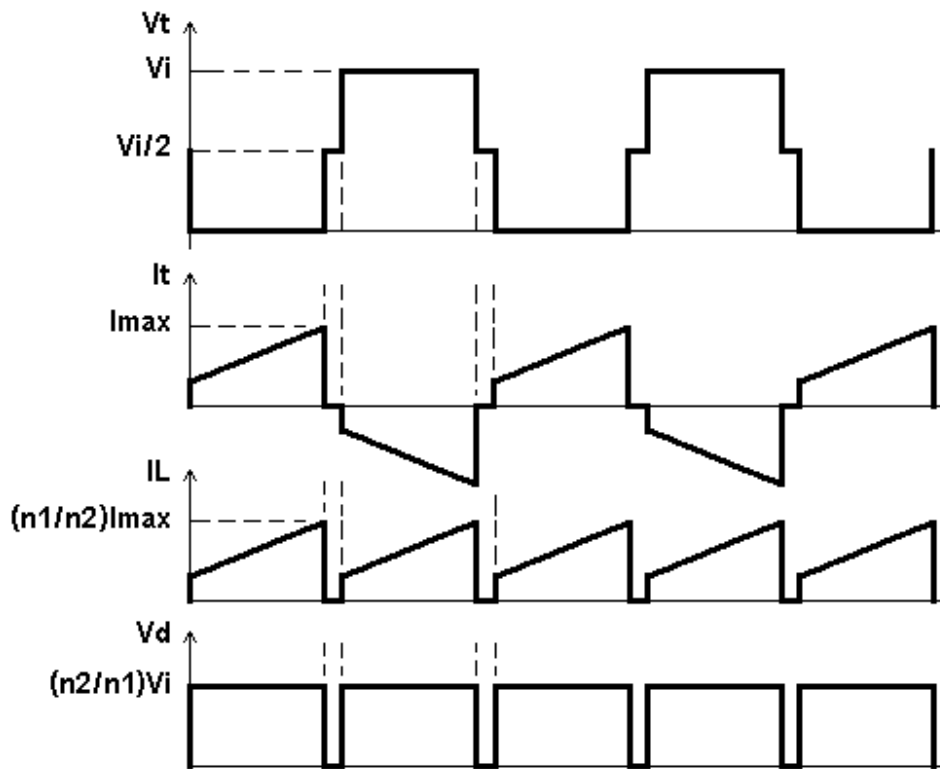
در اینجا هم مدار فرمان ترانزیستور ایزوله لازم است که به راحتی برای دو جفت ترانزیستور با دو جفت سیم پیچ قابل تحصیل است و مدار فرمان پیچیده‌ای را طلب نمی‌کند. اشباع هسته واقعاً برای ترانزیستورها مخرب است ولی این طرح برای توانهای ۴۰۰ تا چند کیلووات به راحتی کار می‌کند.

این مدار قابلیت اطمینان بالایی دارد زیرا افت ولتاژ و پیک جریان کمتری برای هر یک از ترانزیستورها قرار می‌گیرد. استفاده از تمامی فرمولهای مدار نیم پل از دیگر خاصیت‌های خوب این مدار است.

یک عیب این مدار استفاده از ۴ ترانزیستور است چراکه وقتی ترانزیستورهای یک قطر خاموش می‌شوند در همان زمان بایاس جداگانه‌ای برای راه اندازی ترانزیستورهای دیگر باید استفاده شود. بنابراین فضا و هزینه بیشتر به علت استفاده از دو عنصر سوئیچ اضافی عیب عمده این مدار به حساب می‌آید.



«رگولاتور تمام پل»



«شکل موجهای ولتاژ و جریان رگولاتور تمام پل»

مدارات مجتمع (IC)

«کنترل کننده منابع تغذیه»

مدارات مجتمع (IC های) کنترل کننده منابع تغذیه

در سالهای اخیر انواع گسترده‌ای از IC ها که عملکردهای پیچیده تر را در یک منبع تغذیه امکان پذیر و آسان می کند به بازار عرضه شده است.

پس از انتخاب آرایش و سطح انتظارات برای تهیه یک طرح دلخواه انتخاب بهترین IC کنترل کننده باید انجام گیرد. علی رغم اختلافات فراوان شباهتهای بسیاری بین این IC ها وجود دارد. موارد زیر در اغلب آنها مشترک است:

۱. یک نوسان ساز که در فرکانس پایه کار می کند و موج مثلثی جهت استفاده در PWM را تولید می کند.

۲. راه انداز خروجی که توان کافی را جهت بکارگیری در مقاصد کم و متوسط (میان) تولید می نماید.

۳. ولتاژ مبنا که ولتاژ پایه را جهت مقایسه خروجیها و همچنین یک ولتاژ پایدار برای سایر بخشها تولید می کند.

۴. تقویت کننده ولتاژ خطا که با بهره بالا ولتاژ مقایسه‌ای را بین ولتاژ خروجی و ولتاژ مبنای پایدار تامین می کند.

۵. یک مبدل خطا یا مبدل ولتاژ به عرض پالسی که D.C خروجی را متناسب با سطح ولتاژ خطا تنظیم می کند.

اینها بلوکهای اصلی یک تراشه مدولاسیون عرض پالس (PWM IC) را تشکیل می دهند.

بخشهایی که در یک سطح بالاتر کاری ممکن است لازم باشند عبارتند از:

۱. یک تقویت کننده جریان اضافی که تغذیه را در شرایط غیر طبیعی در ارتباط با بار حفاظت می کند.

۲. یک مدار شروع نرم که مطابق نامش برای راه اندازی نرم خروجی بکار می رود.

۳. کنترل کننده زمان مرده که حداقل عرض پالس PWM را کنترل می کند و از هدایت همزمان دو ترانزیستور ممانعت بعمل می آورد.

۴. یک ناظر ولتاژ حداقل که از شروع بکار کردن مدار در شرایطی که ولتاژ نامناسبی در ورودی وجود دارد جلوگیری می کند.

برای شروع پروسه طراحی نخست باید توپولوژی مدار مورد نیاز مناسب انتخاب شود (اینکه یک یا دو راه انداز در خروجی داشته باشیم) و بدین صورت نیازهای اولیه IC را تعیین می کنیم.

کنترل کننده‌های با یک سر خروجی تنها یک سوئیچ قدرت و انواع دو گانه دو سوئیچ قدرت را تحت کنترل خود دارند. کنترلرهای با دو خروجی در توپولوژی های نیم پل و تمام پل و پوش پول بکار می روند.

IC های مجهز به دو خروجی مضاعف دارای یک بخش اضافی به نام حافظ پالس دو گانه هستند تا یک سوئیچ قدرت نتواند دو بار پیاپی روشن شود (که به اشباع ترانسفورمر منجر شود). عامل دوم نوع سوئیچ قدرت بکار گرفته شده است. بعضی از IC های PWM ترانزیستور خروجی برای راه اندازی دارند که اینها برای راه اندازی ترانزیستورهای دو قطبی لازم است و امکان دارد ترانزیستور کمکی خروجی هم لازم باشد.

برای ماسفتهای قدرت طرح توتم پل بهترین انتخاب است. این راه اندازهای خروجی برای هدایت ترانزیستورهای آال هستند همچنین جهت تامین جریانهای شارژ و دشارژ خازنهای گیت لازم هستند. بعلاوه هر یک از ترانزیستورهای خروجی توان هدایت هر ترانزیستور را با حداقل قطعات دارند.

بطور کلی در IC های PWM سه نوع حالت کنترل وجود دارد که عبارتند از:

۱. حالت (نوع) کنترل شبه رزونانسی

۲. حالت (نوع) کنترل ولتاژ

۳. حالت (نوع) کنترل جریان

حالت (نوع) کنترل شبه رزونانسی

منابع تغذیه سوئیچینگ شبه رزونانسی تکنولوژی هستند که شکل موجهای هدایت سوئیچهای قدرت را به شکل سینوسی شکل می دهند. این تضمین می کند که در طی نوسانات سوئیچینگ حاصلضرب ولتاژ و جریان برابر صفر باشد. به عبارت دیگر تلفات سوئیچینگ در نیمه هادی برابر صفر است.

این انواع مبدل از یکی از روشهای کنترل زیر بهره می گیرند:

۱. زمان روشن ثابت و زمان خاموش متغیر برای جریان سوئیچ برابر صفر

۲. زمان خاموشی ثابت و زمان روشن متغیر برای ولتاژ سوئیچ برابر صفر

کنترل بوسیله تغییر تعداد چرخه های هدایت رزونانسی بار خروجی در ثانیه انجام می گردد. IC های کنترل کننده‌ای به بازار عرضه شده اند که نیازمندیهای این نوع تغذیه را تامین می کنند.

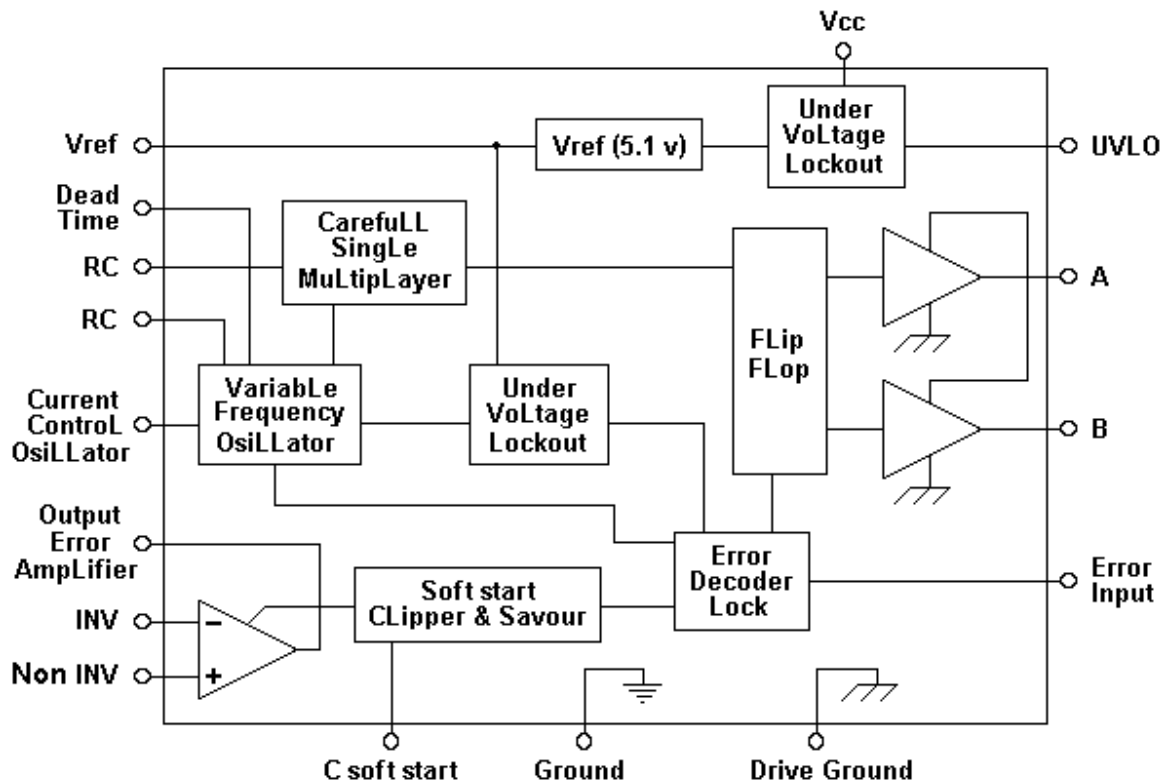
یک IC کنترل رزونانسی نمونه را می توان در شکل صفحه بعد پیدا کرد. بعضی از انواعی که اخیراً عرضه شده اند عبارتند از:

MC34066 ZCS

LD405 ZCS

UC3860 ZCS

شکی نیست که در آینده نزدیک انواع بیشتری هم ارائه خواهد شد.



«دیagram ساده شده MC34066 به نقل از شرکت موتورولا»

حالت (نوع) کنترل ولتاژ

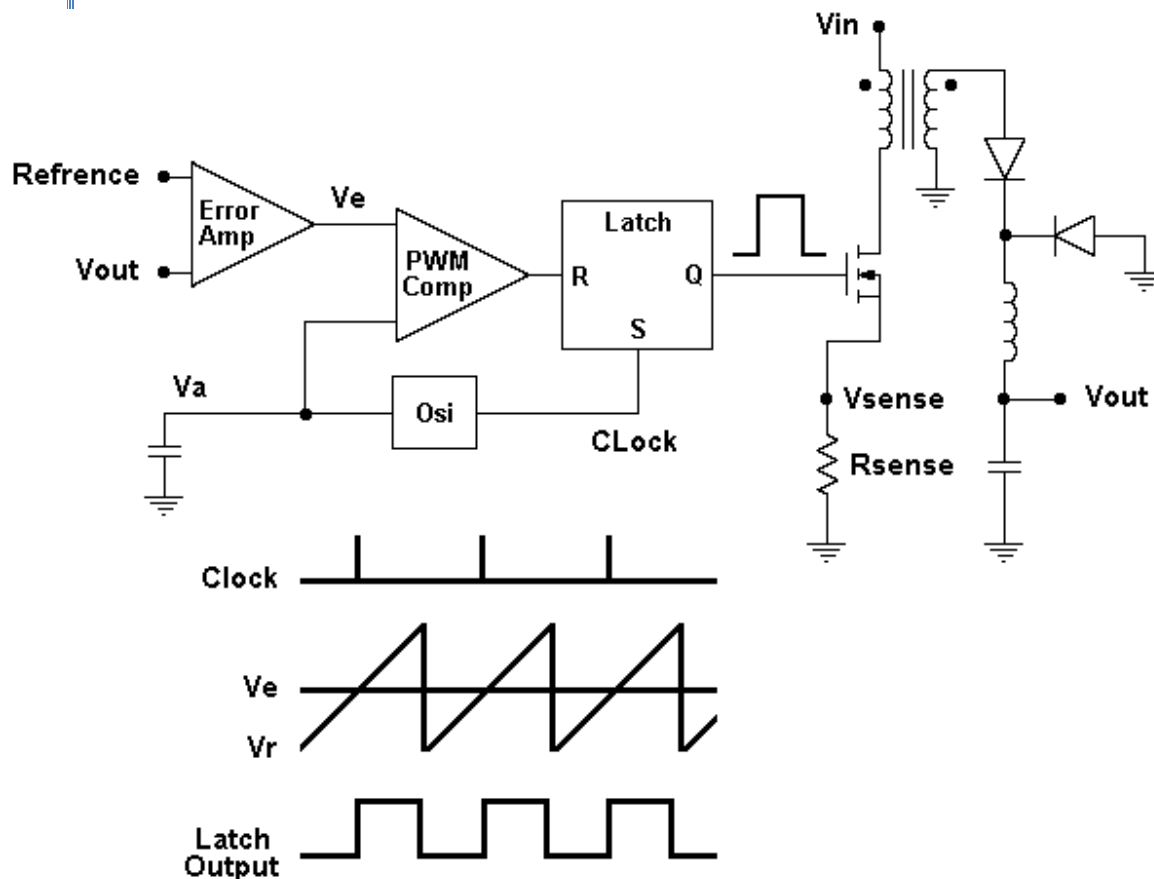
این روشی بود که در اولین منابع تغذیه سویچینگ و برای سالهای زیادی در صنعت استفاده می شد.

مدل پایه این حالت در شکل صفحه بعد نشان داده شده است.

از مشخصات اصلی این روش وجود یک مسیر فیدبک به همراه مدولاسیون عرض پالس (مقایسه یک

ولتاژ خطا با یک شکل موج دندان اره ای) می باشد و محدود کردن جریان باید بصورت جداگانه ای صورت

گیرد.



«طرح پایه حالت کنترل ولتاژ»

مزیت‌هایی را که این نوع تکنیک کنترل شامل می‌شود عبارتند از:

۱. طراحی و تجزیه و تحلیل یک حلقه فیدبک راحت‌تر است.
۲. یک موج دندان اره‌ای با دامنه بزرگ حد نویز خوبی را به منظور پایداری ایجاد می‌کند.
۳. رگولاسیون بار به خوبی صورت می‌گیرد.

معایبی را که حالت کنترل ولتاژ دارا می‌باشد عبارتند از:

۱. هر تغییری در خط یا بار ابتدا بصورت تغییر در ولتاژ خروجی حس می‌شود و سپس توسط حلقه فیدبک تصحیح می‌گردد که این عمل معمولاً به کندی صورت می‌گیرد.
۲. جبران سازی پیچیده‌تر است بخاطر اینکه بهره حلقه فیدبک با ولتاژ ورودی تغییر می‌کند.
۳. فیلتر خروجی منابع معمولاً دو قطب به حلقه کنترل اضافه می‌کنند که بنابراین افزودن یک قطب مسلط فرکانس پایین و یا یک صفر به تقویت کننده خطا را برای جبران سازی موجب می‌شود.

حالت کنترل ولتاژ هنگامی می‌تواند انتخاب مفیدی باشد که:

- الف. امکان تغییرات بار در خروجی وجود داشته باشد.
- ب. در شرایط کم بار که دامنه شکل موج جریان خیلی کم است (برای پایداری عملکرد PWM).
- پ. کاربردهایی که در آن از پیچیدگیهای موجود در حلقه فیدبک دوتایی و یا جبران سازی شیب (برای Duty Cycle بیشتر از ۵۰٪ در حالت کنترل جریان) باید جلوگیری شود.
- ت. توانهای بالا یا کاربردهای دارای پارازیت که نویز را روی شکل موج جریان سخت می‌توان کنترل کرد.
- ث. چندین ولتاژ خروجی مورد نیاز است.
- ج. رگولاتورهایی با کنترل از طریق ثانویه که در آنجا عامل واکنش اشباع شدنی وجود دارد.

چند کنترلر نمونه تک خروجی و جفت خروجی در اینجا فهرست شده اند:

Single Ended Controllers:

SG1524

MC34060

UA78S40

MC34063

Double Ended Controllers:

SG1525/26/27

TL494/495

حالت (نوع) کنترل جریان

تمام معایبی که برای حالت کنترل ولتاژ گفته شد توسط حالت کنترل جریان قابل حل است. دیاگرام پایه این حالت در شکل صفحه بعد نشان داده شده است. همانطور که از شکل پیداست در اینجا اسیلاتور فقط وظیفه شکل موجی با فرکانس ثابت را دارد و بجای شکل موج دندان اره‌ای در نوع کنترل ولتاژ نمونه‌ای از جریان خروجی بکار می‌رود.

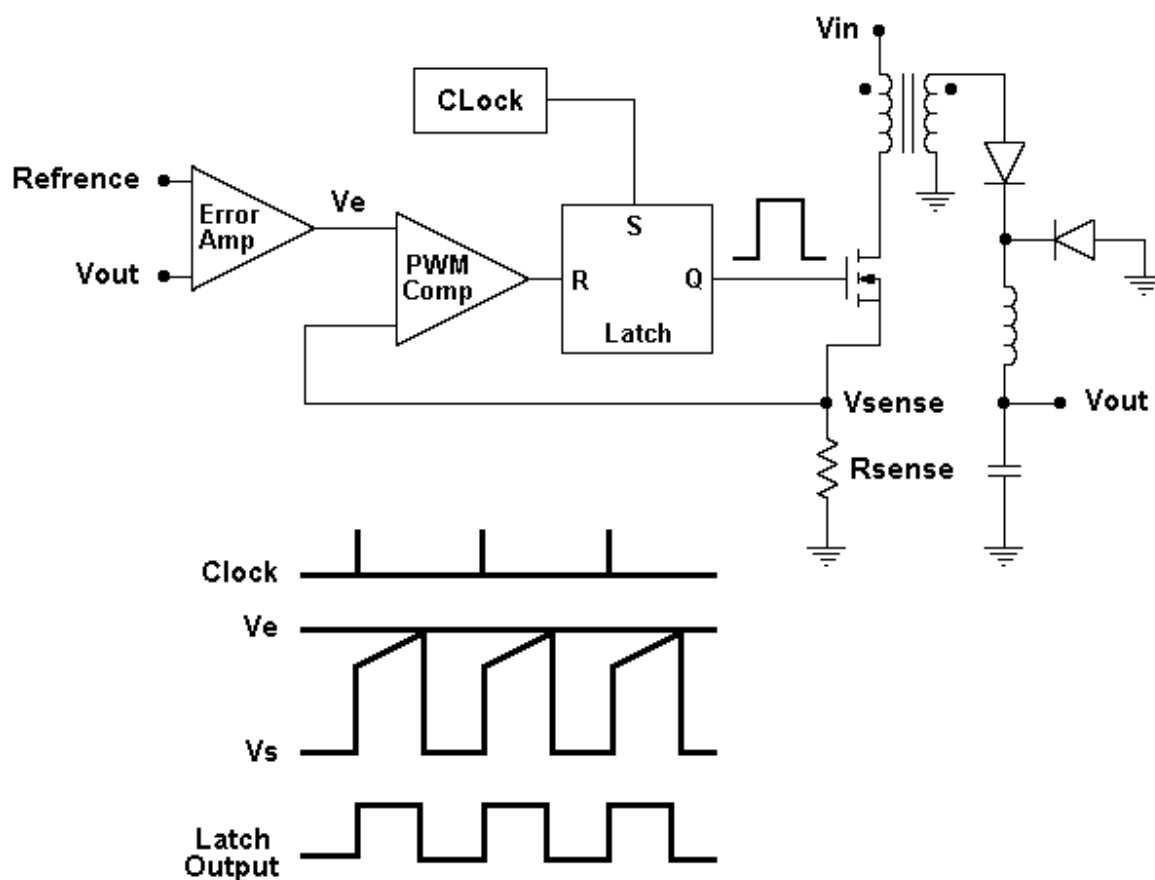
مزایایی را که این روش کنترل به همراه دارد عبارتند از:

۱. از آنجاییکه شیب جریان سلف با اختلاف ولتاژ ورودی و خروجی متناسب است بنابراین پاسخ تاخیردار ناشی از حس ولتاژ خروجی و تغییرات بهره حلقه در اثر تغییر ولتاژ ورودی حذف می‌شود.
۲. بدلیل اینکه تقویت کننده خطا برای فرمان دادن جریان خروجی بیشتر بکار می‌رود تا ولتاژ خروجی بنابراین تاثیر سلف خروجی بر حلقه کمترین مقدار شده و فیلتر خروجی فقط یک

قطب به حلقه فیدبک اضافه می کند. بنابراین جبران سازی ساده تری صورت گرفته و پهنای باند بیشتری حاصل می شود.

معایی را که برای حالت کنترل جریان می توان برشمرد عبارتند از:

۱. وجود دو حلقه فیدبک آنالیز مدار را مشکلتر می کند.
۲. حلقه کنترل در D.C بیشتر از ۵۰٪ ناپایدار می شود مگر آنکه توسط مداری که جبران کننده شیب نام دارد جبران شود. این جبران ساز باید به حلقه کنترل اضافه شود.
۳. از آنجاییکه مدولاسیون کنترل توسط نمونه ای از جریان خروجی صورت گرفته است تشدیدهایی در رگولاتور می تواند نویزهایی را وارد حلقه کنترل کند.
۴. اسپایکهای لبه شکل موج جریان منبع نویز دیگری هستند که در اثر خازنهای ترانسفورمر و جریان بازیافت یکسوکننده خروجی رگولاتور ایجاد می شوند.
۵. با کنترل جریان رگولاسیون بار به خوبی صورت نمی گیرد.



« طرح پایه حالت کنترل جریان »

حالت کنترل جریان زمانی می تواند انتخاب خوبی باشد که:

- الف. خروجی منبع تغذیه بصورت یک منبع جریان یا یک ولتاژ خروجی خیلی بزرگ باشد.
- ب. پاسخ دینامیکی سریعتری برای یک فرکانس سوئیچینگ داده شده نیاز باشد.
- پ. کاربرد ما در یک مبدل DC to DC باشد در حالیکه تغییرات ولتاژ ورودی زیاد است.
- ت. در کاربردهایی که قابلیت موازی شدن با بار وجود دارد.
- ث. در مدارات پوش پول زمانیکه تعادل فلوی ترانسفورمر مهم است.
- ج. در کاربردهای ارزان قیمت که حداقل قطعات مورد نیاز است.

فهرست بعضی کنترلرهای نوع جریان در اینجا آمده است:

Single Ended Controllers:

UC3842/43/45

MC34129

MC34065

CA1523/24

Double Ended Controllers:

CU3825

UC1846/56

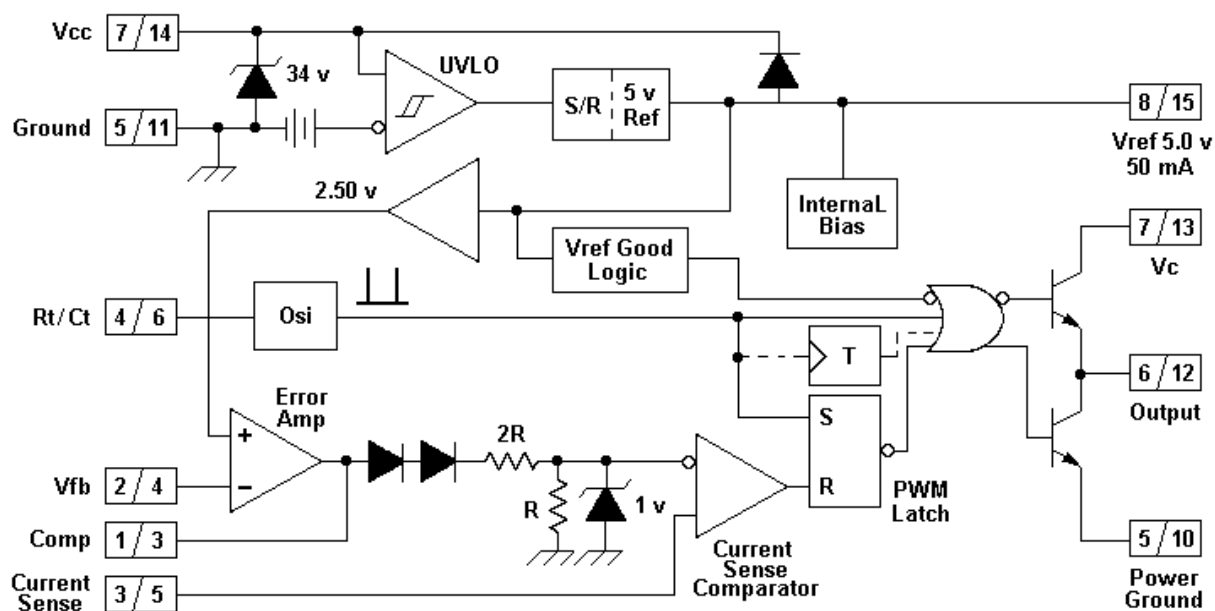
UCC18/28/3806

UCC18/28/3806

معرفی خانواده IC های UC3842/3/4/5 با کنترل جریان:

تراشه های UC1842/3/4/5 انتخاب خوب و بهینه‌ای برای منابع تغذیه DC به DC و OFF LINE می‌باشند. شکل صفحه بعد دیاگرام پایه این خانواده را نشان می‌دهد. از ویژگیهای این خانواده عبارتند از:

۱. راه اندازی با جریان کمتر از ۱ mA
 ۲. دارا بودن یک ولتاژ مرجع مطمئن و دقیق برای استفاده در ورودی تقویت کننده خطا
 ۳. قابلیت محدود کردن جریان
 ۴. دارا بودن ترانزیستورهای خروجی با توانایی درایو کردن MOSFET های نوع N یا ترانزیستورهای BJT در جریان های با پیک بالا
 ۵. عملکرد تا فرکانس ۵۰۰ kHz
 ۶. دارا بودن قابلیت قطع در صورت کافی نبودن ولتاژ ورودی (UVLO)
- تفاوت اساسی بین IC های این خانواده در آستانه UVLO و زمان وظیفه (D.C) آنها می‌باشد که در جدول «مقادیر UVLO و DUTY CYCLE» اندازه آنها برای تراشه های مختلف این گروه داده شده است.



«دیاگرام داخلی تراشه های UC3842/3/4/5 به نقل از موتورولا»

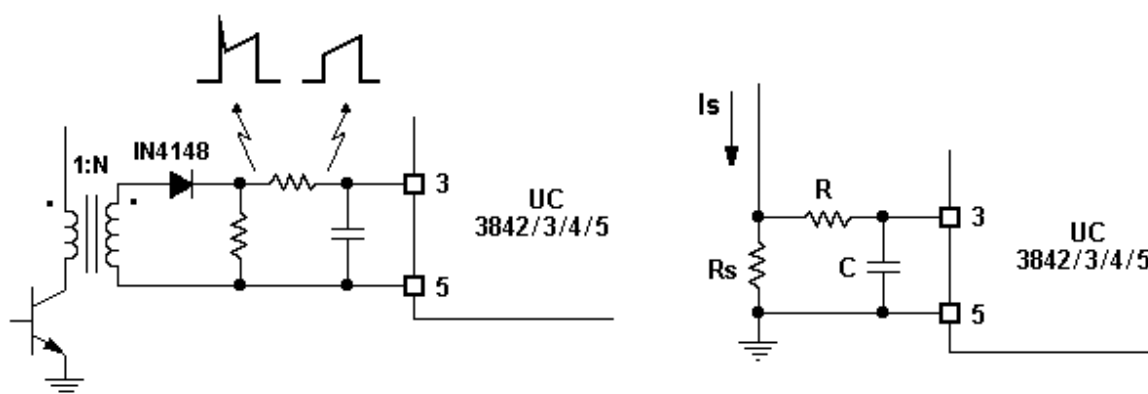
شکل فوق نمونه‌ای از قابلیت کنترل جریان در این خانواده از IC های PWM را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود ابتدا جریان به ولتاژ تبدیل شده و سپس به فیلتر پایین گذر (RC) یا ترانسفورمر داده

شده و بعد وارد تراشه می شود. دلیل استفاده از فیلتر یا ترانسفورمر جلوگیری از اسپایکهای موجود در لبه شکل موج جریان (که به خاطر ظرفیت خازنی در کلکتور ترانزیستور قدرت مدار بوجود می آید) می باشد. اگر این حالت گذرا تضعیف نشود می تواند بصورت دائمی پالس خروجی PWM را حذف کند. ثابت زمانی مدار RC باید تقریباً برابر طول مدت وجود اسپایک باشد (معمولاً چند صد نانو ثانیه کافی است). در حالت استفاده از فیلتر رابطه پیک جریان حس شونده بصورت زیر است:

$$I_p = (V_c - 1.4) / 3R_s$$

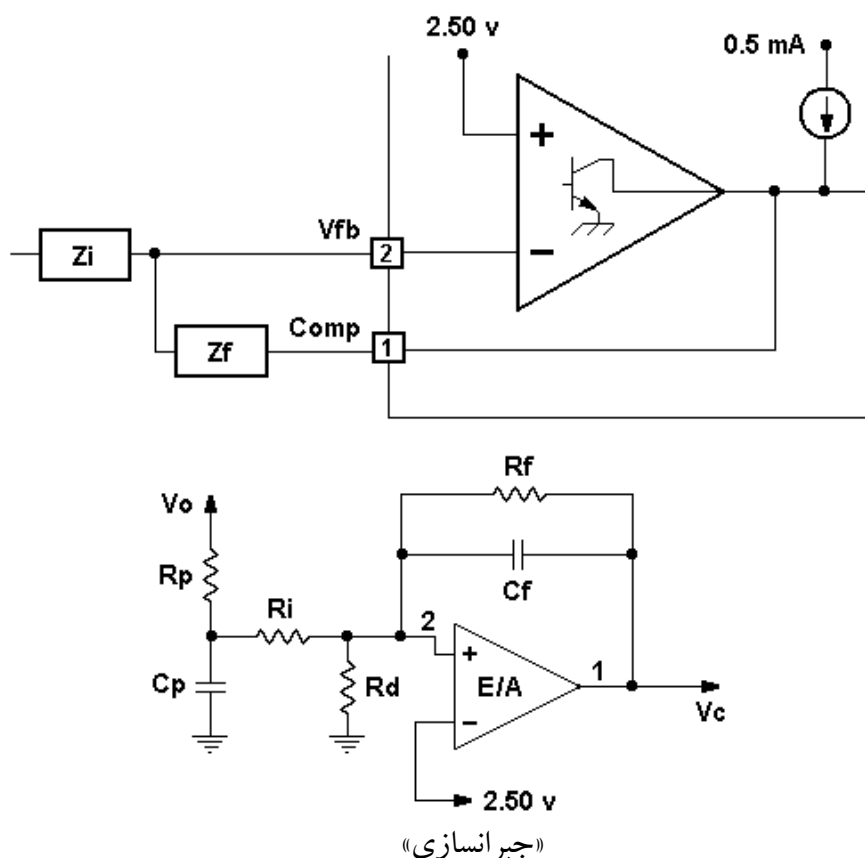
در فرمول فوق VC ولتاژ خروجی تقویت کننده خطا (E.A) می باشد.

با بکارگیری ترانسفورمر قبل از فیلتر تلفات توان در مقاومت RS و خطاهایی که بوسیله جریان مبنا ایجاد می شود کاهش یافته و یک نوع ایزولاسیون خوب نیز انجام می شود. در این حالت نیز رابطه پیک جریان حس شونده بصورت زیر می باشد:



«حالت کنترل جریان»

شکل صفحه قبل یک نوع جبران سازی برای پایداری در هر نوع توپولوژی با کنترل جریان بجز مبدلهای فلای بک و بوست را نشان می دهد. اجزای Zf قطبی را به حلقه فیدبک اضافه می کنند که صفر حاصل از خازن فیلتر خروجی مدار را از بین می برد.



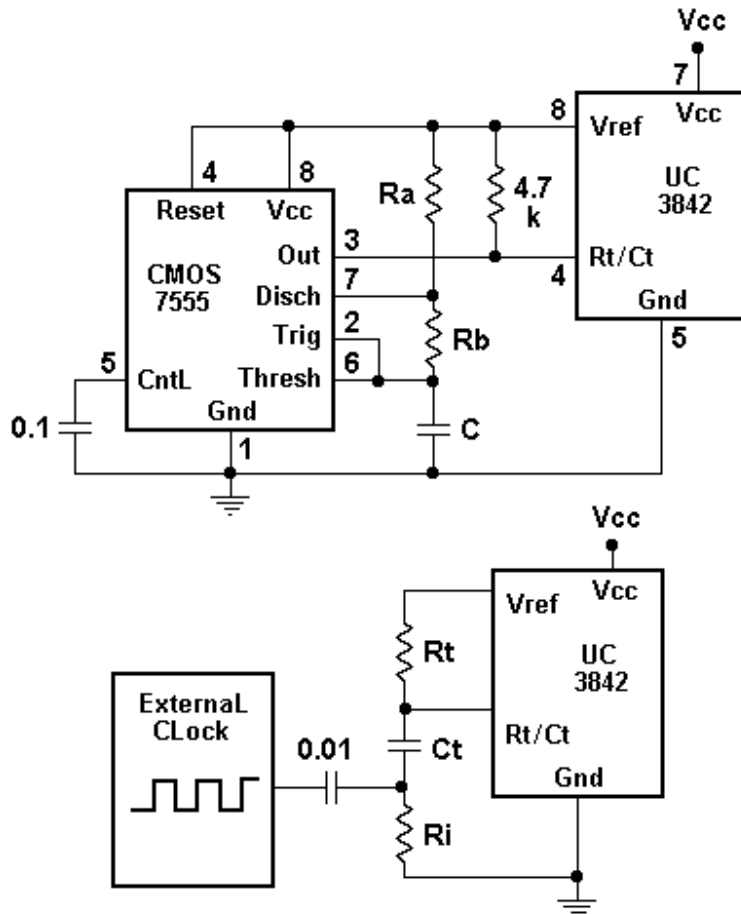
رگولاتورهای بوست و فلای بک صفری در نیمه راست صفحه مختلط و در تابع تبدیل شان دارند. یک نمونه جبران سازی برای این مدلها با هدف تولید قطبی توسط R_p و C_p در شکل بالا نشان داده شده است. تقویت کننده خطا در این تراشه ها می تواند جریان برون دهی تا 0.5 mA و درون دهی (SINK) تا 2 mA را داشته باشد. ضمناً یک محدودیتی برای مقاومت R_f (در قسمت جبران ساز) بصورت زیر داده شده است:

$$R_f (\text{min}) = [V_{E.A} (\text{max}) - 2.5] / 0.5 (\text{mA}) = 7 (\text{k}\Omega)$$

سری خانواده تراشه های UC3842/3/4/5 قابلیت همزمانی (استفاده از فرکانس نوسان ساز خارجی بجای نوسان ساز داخلی) را دارا می باشند. ساده ترین ترکیب مداری در شکل صفحه بعد نشان داده شده است. البته باید توجه داشت که فرکانس نوسان ساز داخلی باید کمتر از فرکانس پالس خارجی باشد (بطور نمونه ۲۰٪ فرکانس خارجی با دامنه 0.5 V).

PWM ها می توانند به یک CLOCK آنالوگ یا دیجیتالی (مثل تراشه ۵۵۵ یا یک میکروپروسور با برنامه

نرم افزاری) بصورت شکل صفحه بعد متصل شوند.

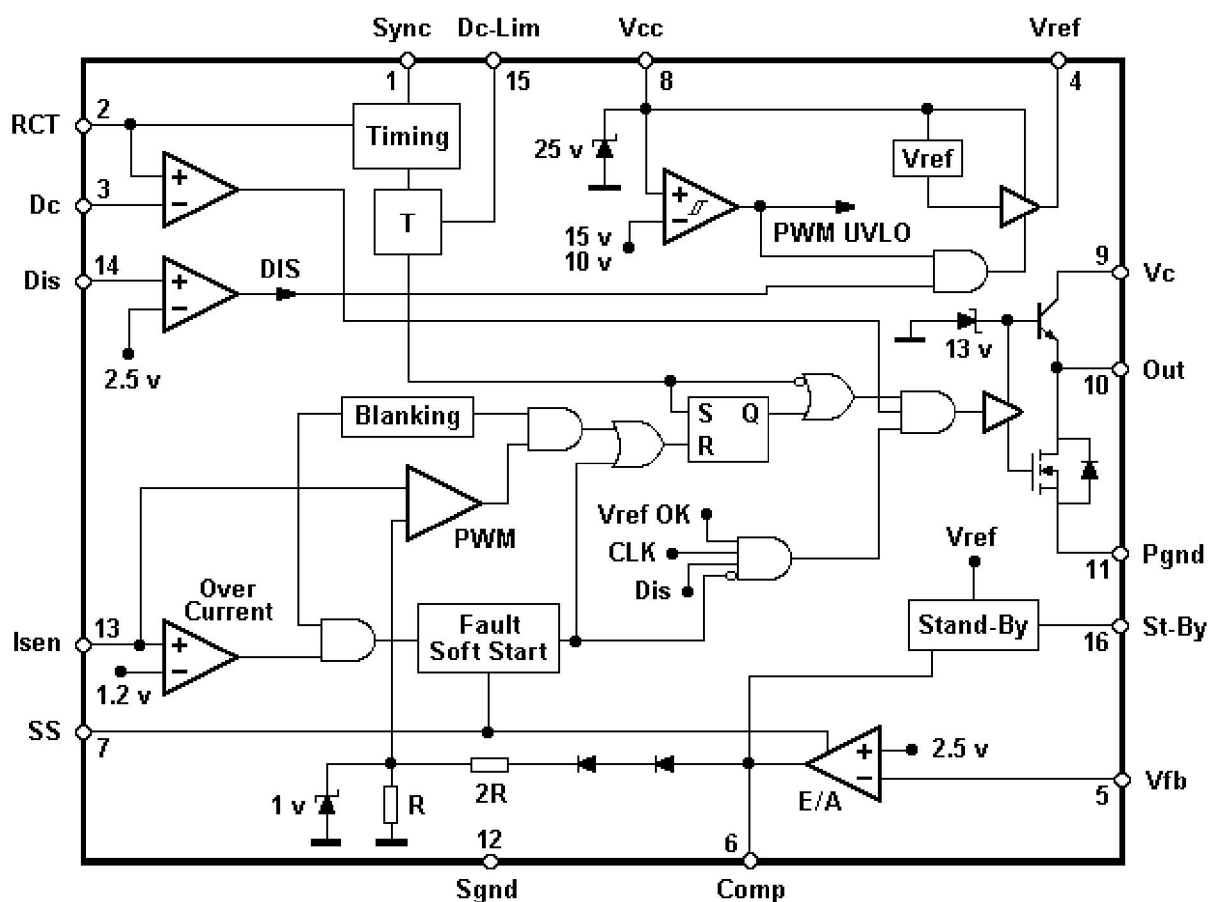


«نحوه استفاده از نوسان ساز خارجی»

معرفی تراشه های L5991 و L5991A با کنترل جریان:

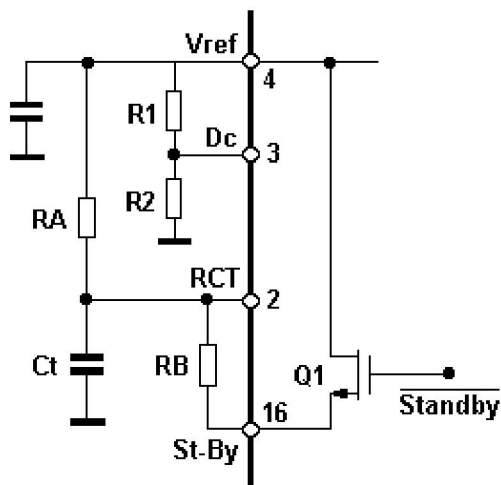
این IC از جمله PWM های عرضه شده با کنترل جریان و انتخابی مناسب و بهینه برای کاربردهای OFF LINE و DC به DC می باشد. شکل صفحه بعد دیاگرام داخلی این تراشه را نشان می دهد. از جمله ویژگیهای این تراشه عبارتند از:

۱. عملکرد فرکانسی تا ۱ MHz
۲. جریان راه اندازی کمتر از $120 \mu A$ برای IC
۳. قابلیت درایو کردن ترانزیستورهای خروجی PWM با جریان بالا
۴. زمان وظیفه قابل برنامه ریزی (۱۰۰٪ و ۵۰٪ برای حداکثر محدودیت)
۵. عملکرد حالت STANDBY
۶. عملکرد حالت راه اندازی نرم (SOFT START) قابل برنامه ریزی
۷. ایجاد فواصل خالی به مدت ۱۰۰ ns برای استفاده در حالت حس جریان
۸. غیر فعال کردن تراشه با اعمال ولتاژ خارجی



« دیاگرام داخلی تراشه L5991/1A »

توسط پایه ۱ (SYNC) در این تراشه می‌توان IC های دیگر را همزمان کرد (MASTER). در این صورت پالس مثبتی در لبه پایین رونده نوسان ساز داخلی در این پایه تولید می‌شود. عملیات همزمانی بوسیله یک سیگنال خارجی می‌تواند صورت گیرد (SLAVE). در این حال فرکانس نوسان ساز داخلی باید کمتر از فرکانس CLOCK خارجی باشد (بطور نمونه ۱۰ تا ۲۰٪).



عملکرد فرکانسی توسط دو مقاومت RA و RB

و یک خازن CT

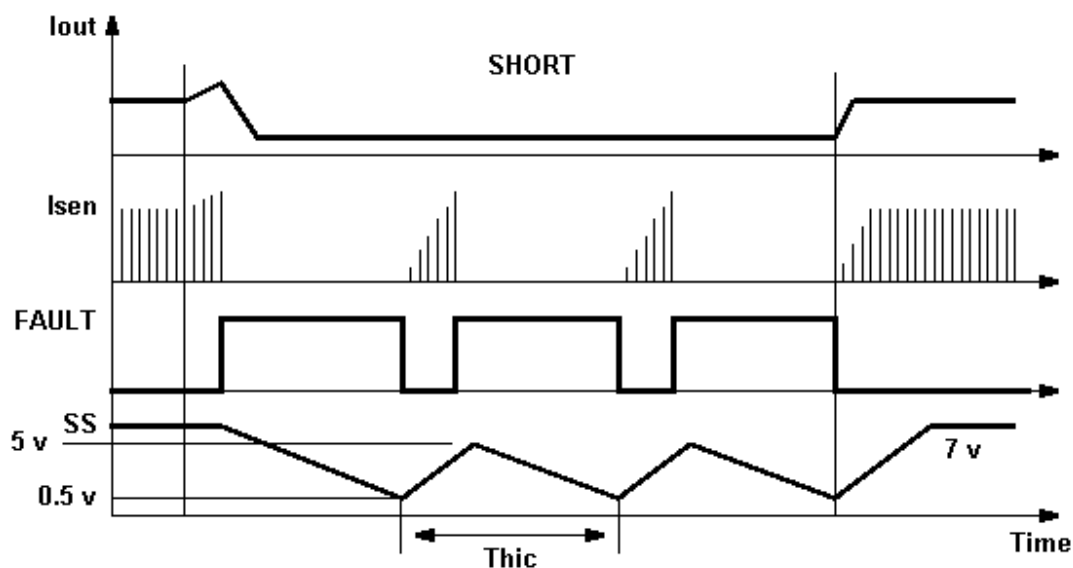
«نحوه اتصال قطعات نوسان ساز»

تقویت کننده خطا در این IC دارای SLEW RATE بالایی بوده و جبران سازی نیزین پایه ۵ (Vfb) این تقویت کننده و پایه ۶ (Comp) صورت می گیرد.

عملکرد راه اندازی نرم در این تراشه توسط اتصال خازنی به پایه ۷ (SS) صورت می گیرد. خازن تا حداکثر ولتاژ ۷V شارژ می شود. در این مدت خروجی تقویت کننده خطا (E.A) بصورت خطی از صفر شروع به بالا رفتن می کند تا به یک حالت پایدار که توسط حلقه فیدبک تعیین می شود برسد. ماکزیمم زمان راه اندازی نرم (معمولا در حد میلی ثانیه) بصورت زیر است:

$$T_{ss} = (3R_s \times I_{peak}) / (I_{ssc} \times C_{ss})$$

در این رابطه I_{peak} جریان پیک مقاومت حس کننده جریان و I_{ssc} منبع جریان داخلی IC برای شارژ خازن راه اندازی می باشد. در حالتی که ولتاژ پایه ۱۳ (I_{sen}) بیشتر از ۱.۲ ولت گردد (حالت HICCUP نامیده می شود) تراشه خاموش گشته و خازن راه اندازی نرم و قسمت راه اندازی باعیب (FAULT S.S) شروع به کار می کنند. شکل زیر نمودار زمانی این حالت را نشان می دهد.



«نمودار زمانی عملکرد HICCUP»

کارکرد بخش UVLO در این IC برای ولتاژهای OFF و ON (۱۰ V-۱۵ V) و توسط تریگرشیمیت داخلی PWM صورت می‌گیرد. دیود زener ۲۵ V از اعمال ولتاژهای بیش از حد به تراشه جلوگیری می‌کند.

بخش خروجی IC قابلیت درایو کردن ترانزیستورهای BJT با پیک جریان ۱.۶ A برای برون دهی و ۲ A برای درون دهی (SINK) را دارد. درایو ترانزیستورهای MOSFET قدرت با جریان ۱ A نیز امکان پذیر است. ترانزیستورهای خروجی از یک زوج دارلینگتون (بصورت NPN) و یک ترانزیستور VDMOS بصورت توتم پل تشکیل شده اند. بنابراین نیازی به استفاده از دیود در پایه ۱۰ (OUT) جهت جلوگیری از منفی شدن ولتاژ این پایه نیست. وجود دیود زener ۱۳ V در بیس BJT و GATE ترانزیستور MOS امکان بکارگیری ولتاژهای بالاتر در پایه ۹ (VC) را بدون خطر آسیب دیدگی موجب می‌شود. در شرایط UVLO پایه ۱۰ در ولتاژ پایین نگهداشته می‌شود.

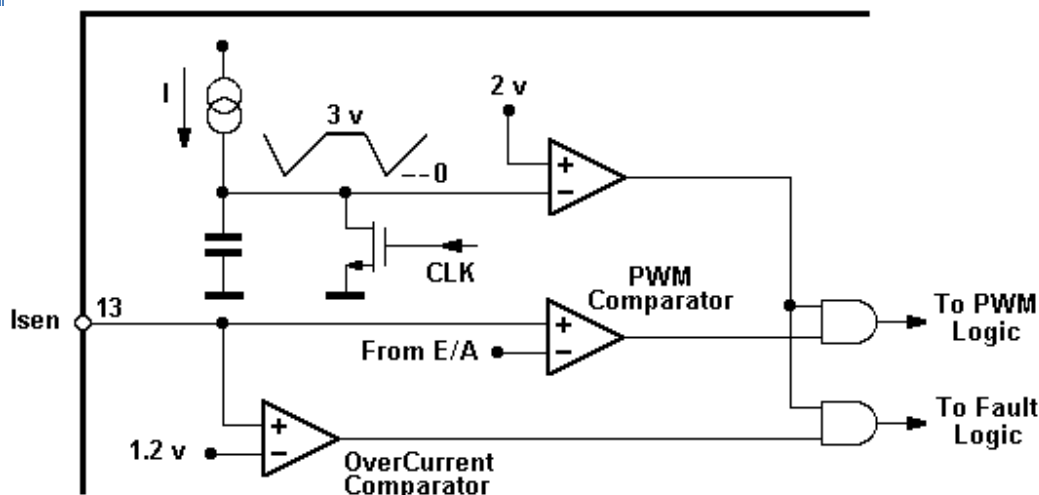
پایه ۱۱ (PGND) زمین قدرت مدار می‌باشد و پایه ۱۲ (SGND) نیز زمین سیگنال بوده و تمام اتصالات بخشهای خارجی به این پایه متصل می‌گردند.

قابلیت کنترل و محدود کردن جریان در این PWM با اتصال یک مقاومت حس کننده جریان R_s بین پایه ۱۳ (Isen) و زمین صورت می‌گیرد. در صورتیکه ولتاژ پایه ۱۳ به ۱.۲ V برسد IC غیرفعال می‌گردد و بنابراین داریم:

$$I_{max} = 1.2 (V)/R_s$$

در حالت حس جریان نیز رابطه‌ای به شکل زیر داریم:

$$I_p = (V_{comp}-1.4)/3R_s$$



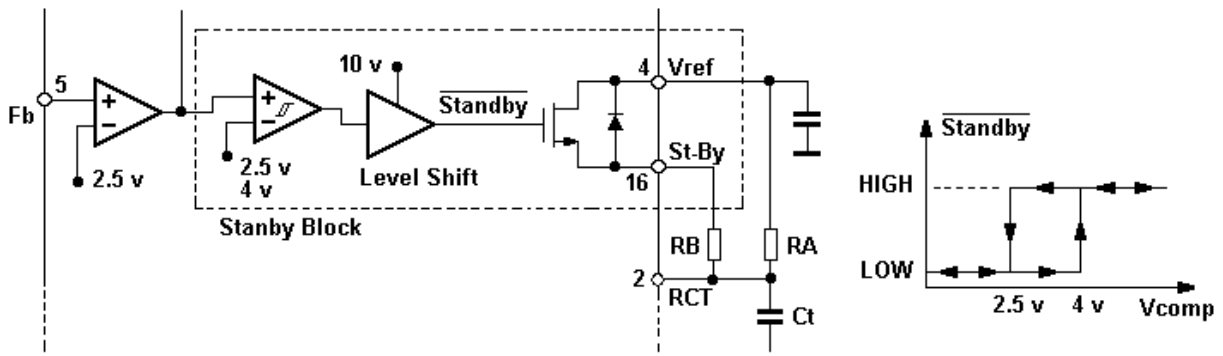
«شمای داخلی قسمت حس جریان»

در فرمول قبل V_{comp} ولتاژ خروجی تقویت کننده خطا است.

برای مصنویت درمقابل نویز (بطور عمده اسپایکهای موجود در لبه شکل موج جریان حس شونده) یک فاصله خالی به مدت 100 ns بصورت نشان داده شده در شکل فوق برای کاهش یا صاف کردن خروجی فیلتر RC بکاربرده شده بعد از مقاومت RS (جهت کاهش اسپایک جریان) بسیار مفید واقع می شود.

از طریق پایه ۱۴ (DIS) و با اعمال یک ولتاژ بیشتر از 2.5 V می توان تراشه را غیر فعال کرد. برای RESTART کردن تراشه می بایست ولتاژ پایه ۸ (V_{CC}) زیر آستانه $UVLO$ کشیده شود. از این پایه برای حفاظت در مقابل $OVERVOLTAGE$ نیز می توان بهره گرفت.

عملکرد حالت $STANDBY$ انتخاب بهینه ای برای مبدل های فلای بک می باشد. این عملکرد در شرایط کم بار و با کاهش فرکانس نوسان ساز داخلی رخ می دهد. این حالت با افزایش بار از یک آستانه معین از بین می رود. شکل زیر نمودار و دیاگرام این حالت را نشان می دهد.



«دیاگرام حالت STANDBY در تراشه»

منابع و مأخذ:

۱. اصول و راهنمای طراحی منبع تغذیه سویچینگ، مترجم: مهدی نیکخواه، ناشر: انتشارات واژگان و وصال، تهران ۱۳۸۸ (چاپ ششم)

۲. منابع تغذیه سویچینگ، ادیب ابریشمی فر، ناشر: دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران ۱۳۸۹

۳. **Data sheets of Motorola company**

۴. **Data sheets of STMicroelectronics company**