

يك نمونه عملي از منابع تغذيه سويچينگ،

LM257 X

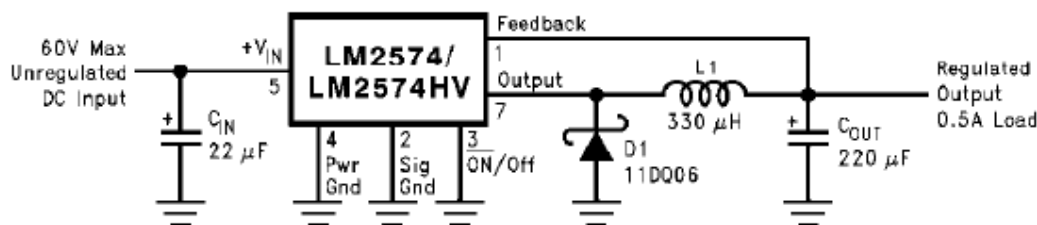
در اين فصل به طراحي يك منبع تغذيه سويچينگ، با استفاده از يك رگولاتور سويچينگ ساخت شركت *National Semiconductor*، مي پردازيم.

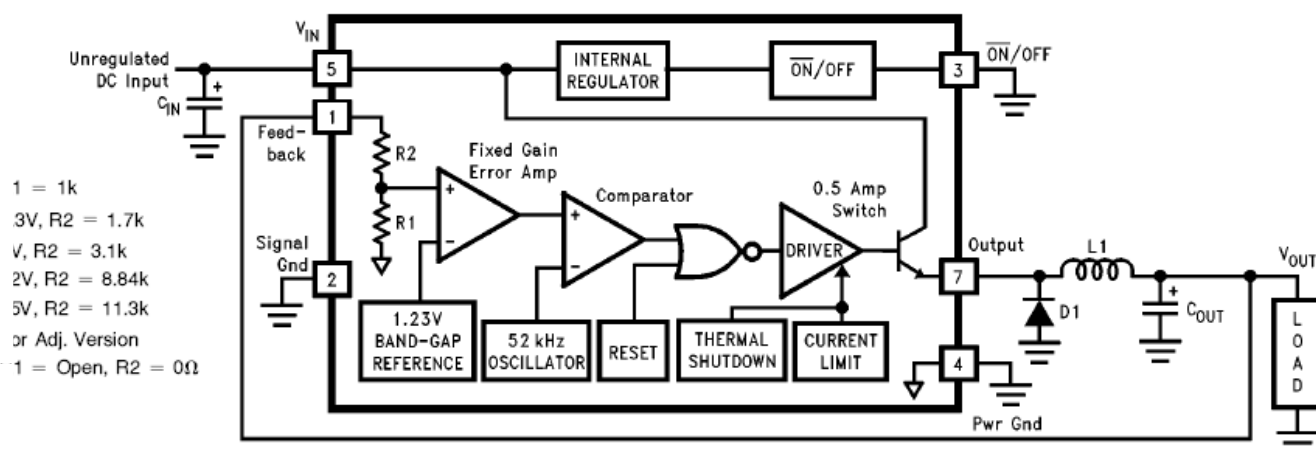
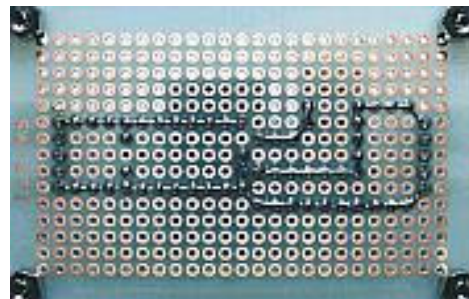
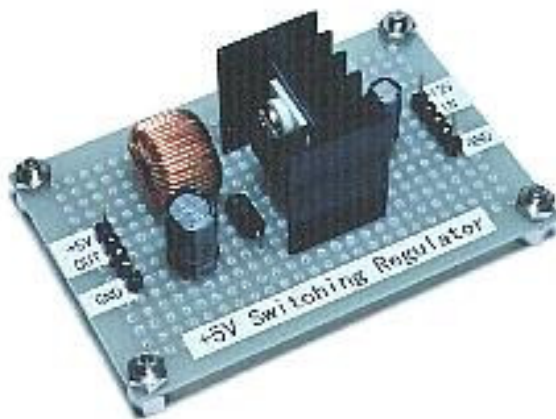
گرچه طراحي خود را با استفاده از آيسي هاي LM2574 و LM2574 HV انجام داديم، اما اين الگوريتم طراحي براي تمامي آيسي هاي خانواده LM257 X قابل كاربرد مي باشد. در حقيقت تنها تفاوت عمده اي كه آيسي هاي اين خانواده با هم دارند، در قابليتهاي آنهاست. مثلا آيسي LM2575 مي تواند تا ۰.۵ آمپر بيشتر از آيسي LM2574 جريان بدهد.

نكته ديگري كه قابل ذكر است اينكه، گرچه مؤلف اين گزارش روي آيسي هاي سويچينگ بسيار قدرتمندتر، از قبيل TOP249 و TOP250، كه قادرند تا ۲۵۰ وات نيز توان بدهند كار کرده، ولي بدليل اينكه اين آيسي ها در کشور ما موجود نيستند، مجبور شدیم تا به آيسي هاي رو آوريم كه در بازار نيز موجود باشند. و بنا بر اين با توجه به تعداد بسيار محدود آيسي هاي سويچينگ موجود، به سراغ خانواده LM257 X رفتيم، زيرا نسبت به ساير آيسي هاي سويچينگ موجود مناسبتر بود.

طرح كلي مدار و نحوه عملکرد رگولاتور سويچينگ:

در شكل زير شماتيك و همچنين مدار طراحي شده را آورديم. ساير طراحي ها نيز مي توانند بر اساس همين قالب كلي انجام بگيرند. تنها كافيست مقادير المانها را تغيير دهيم.



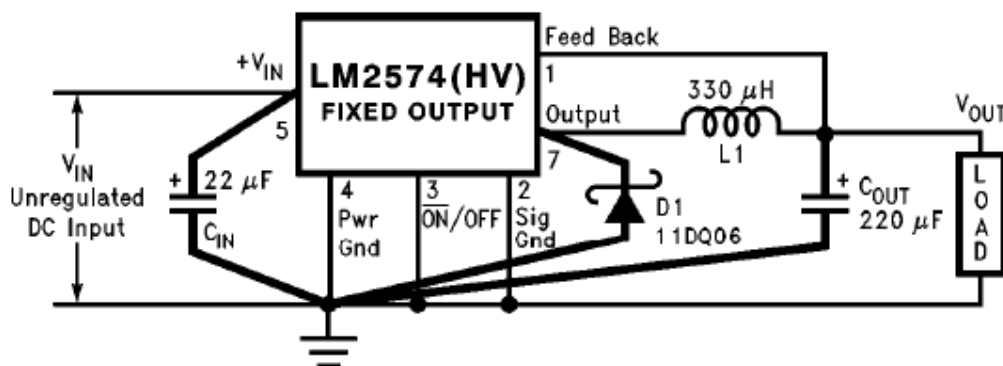


نمودار بالا ترکیب ساختمان داخلی LM2575 را نمایش میدهد. این ترکیب دارای یک مدار نوسان ساز برای سوئیچینگ ۵۲ کیلوهرتز میباشد. برای ایجاد یک ولتاژ مرجع برای ثابت نگه داشتن ولتاژ، از ولتاژ 1.23 ولت استفاده کرده ایم. این ولتاژ عرض پالس ها را با توجه به ولتاژ مرجع و ولتاژ خروجی کنترل می کند. و در کنار همه اینها مدار تشخیص حرارت و محدود کننده جریان خروجی و غیره در آن وجود دارند. در صورتی که به پنجمین پین آن ولتاژ +۵ بدهیم خروجی ما به حالت standby (حالتی که خروجی متوقف میشود) میرود. در این صورت جریان ورودی ما به ۵۰ میکرو آمپر نیاز دارد و کمترین توان مصرفی را خواهیم داشت.

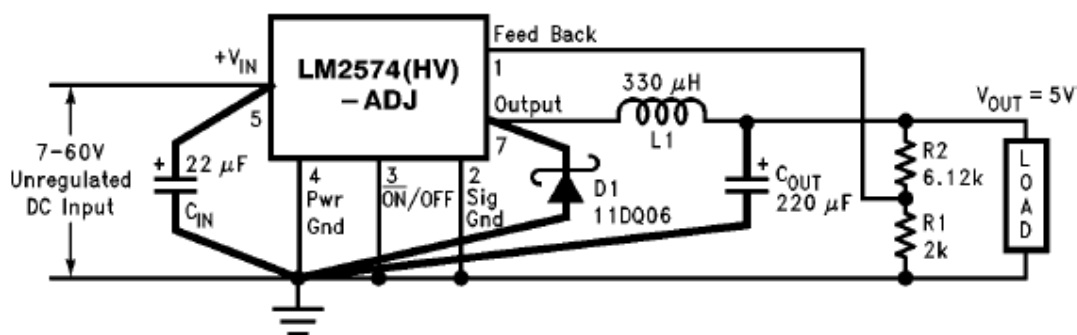
نکات مهم در طراحی PCB:

همانند هر رگولاتور سوئیچینگ، طرح PCB این رگولاتور سوئیچینگ نیز بسیار مهم است. سوئیچ کردن

سريع جريانهاي عبوري از اندوكتانس ناشي از سيمكشي روي برد، ولتاژهاي گذرايي به وجود مي آورد، كه اين ولتاژهاي گذرا مي توانند مشكلاتي را به وجود بياورند. براي داشتن كمترين اندوكتانس و داشتن كمترين تغييرات ناگهاني جريان، طول *lead* هاي مشخص شده در شماتيك زير، بايد تا حد امكان کوتاه باشد.



منبع تغذيه با خروجي ثابت



منبع تغذيه با خروجي متغير

براي رسيدن به بهترين نتيجه، *Ground* كردن به صورت تك نقطه، (همانطور كه در شماتيك زير هم نشان داده شده است.)، و يا استفاده از *Ground* به صورت صفحه اي، (*GroundPlane*)، توصيه مي شود. وقتي كه از رگولاتور نوع قابل تنظيم استفاده مي شود، از نظر فيزيكي بايد مقاومتهاي تنظيم كننده را نزديك به رگولاتور جاگذاري كنيم تا سيم كشي مربوط به مسير فيدبك را کوتاهتر کرده باشيم.

الگوريتم طراحي رگولاتورهاي ولتاژ خروجي قابل تنظيم:

در طراحي ها فرض مي كنيم كه:
 V_{OUT} : ولتاژ خروجي تنظيم شده است.

V_{IN} : ماکزیمم ولتاژ ورودی است.
 $I_{LOAD}(Max)$: ماکزیمم جریان $load$ است.
 F : فرکانس سویچینگ است. (که روی 52 KHz ثابت است.)

۱- برنامه ریزی ولتاژ خروجی (انتخاب مقاوتمهای R_1 و R_2)
 از فرمول زیر برای انتخاب کردن مقاوتمهای مناسب استفاده میکنیم:

$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{و} \quad V_{REF} = 1.23$$

R_1 میتواند بین $1k$ و $5k$ باشد. (برای داشتن بهترین ضریب دمایی و پایداری در زمان، از مقاوتمهای $Metal-Film$ یک درصد استفاده شود.)

۲- انتخاب القاگر (L_1)
 برای انتخاب القاگر از الگوریتم زیر استفاده میکنیم:
 الف) محاسبه ثابت ولت میکرو ثانیه

القاگر، ($E.T.$)، با استفاده از فرمول زیر:

$$E.T. = (V_{IN} - V_{OUT}) \frac{V_{IN}}{V_{OUT}} \cdot \frac{I}{F} \cdot 10^6 \quad (V.\mu s)$$

ب) استفاده از مقدار $E.T.$ محاسبه شده در بخش قبل و منطبق کردن آن با عدد متناظرش روی محور قائم مربوط به نمودار راهنمای انتخاب مقدار القاگر.

پ) انتخاب ماکزیمم جریان عبوری از $load$ از روی محور افقی.

ت) در اینصورت مقدار اندوکتانس، محل تقاطع مقادیر $E.T.$ و ماکزیمم جریان عبوری از $load$ خواهد بود.

ث) انتخاب القاگر استاندارد. القاگر انتخاب شده باید برای کار در فرکانس سویچینگ 52 KHz مناسب باشد. همچنین این القاگر باید تحمل $1.5 \times I_{load}$ را داشته باشد. (اطلاعات بیشتر در بخش انتخاب القاگر، از بخش نکات کاربردی موجود میباشد.)

۳- انتخاب خازن خروجي (C_{OUT})

الف- مقدار خازن خروجي به همراه مقدار القاگر، جفت-قطب غالب حلقه رگولاتور سوییچینگ را تعیین می‌کنند. برای کارکرد پایدار، خازن بایستی شرط زیر را برآورده کند:

$$C_{OUT} \geq 13300 \frac{V_{IN}(Max)}{V_{OUT} \times L(\mu H)} (\mu F)$$

بنابراین با توجه به فرمول بالا، خازن‌های با مقادیر $5 \mu F$ تا $1000 \mu F$ می‌توانند شرط کارکرد پایدار را تضمین کنند. ولی برای رسیدن به یک ریپل ولتاژ قابل قبول (حدود ۱ درصد ولتاژ خروجي) و پاسخ گذرای قابل قبول، خازن خروجي ممکن است لازم باشد تا چند برابر بزرگتر از مقدار بدست آمده از فرمول بالا باشد.

ب- میزان ولتاژ خازن باید دست کم ۱.۵ برابر بزرگتر از ولتاژ خروجي باشد. برای یک رگولاتور ۲۴ ولتي، میزان ولتاژ خازن باید دست کم ۳۵ ولت باشد. خازن‌های الکترولیت با ولتاژ بالاتر، معمولاً مقدار ESR کوچکتری دارند، و به همین دلیل ممکن است لازم باشد تا از خازنی با $Grade$ ولتاژ بالاتر، نسبت به خازنی که در حالت معمول باید استفاده می‌کردیم، استفاده نماییم.

۴- انتخاب دیود شاتکی با $Catch-Diode$ (D_I)

الف- جریان قابل تحمل توسط دیود شاتکی باید دست کم ۱.۵ برابر بیشتر از ماکزیمم جریان $load$ باشد. بعلاوه، اگر قرار است که منبع تغذیه طراحی شده، در حالت اتصال کوتاه و $Overload$ آسیبی نبیند، ماکزیمم جریان قابل تحمل دیود، باید مساوی با حداکثر جریان $LM2574$ باشد.

ب- ماکزیمم ولتاژ معکوس این دیود باید دست کم ۱.۲۵ برابر بیشتر از ماکزیمم جریان ورودی باشد.

توضیح: دیود شاتکی (برگرفته از نام فیزیکدان آلمانی $Walter-H. Schottky$ می‌باشد.)، یک دیود نیمه هادی با افت ولتاژ مستقیم پایین و قابلیت سوییچ کردن سریع می‌باشد. یک کاربرد نوعی آن حفاظت تخلیه، برای سلول‌های خورشیدی است که به باتری‌های سرب-اسید متصل شده‌اند.

در حالیکه دیودهای سیلیکونی استاندارد، افت ولتاژ مستقیمی حدود ۰.۶ ولت دارند، دیودهای شاتکی افت ولتاژی تنها حدود ۰.۳ ولت دارند. این پدیده به دلیل چگالی جریان بالاتر دیودهای شاتکی می‌باشد. دیود شاتکی از یک *Junction* نوع فلز-نیمه هادی به عنوان سد شاتکی استفاده می‌کند. (به جای *Junction* نوع نیمه هادی- نیمه هادی که در دیودهای مرسوم استفاده می‌شود. استفاده از این سد شاتکی منجر به افت ولتاژ مستقیم پایین‌تر و سرعت سوییچینگ بالاتر می‌شود.)

اغلب گفته می‌شود که دیود شاتکی یک نیمه هادی حامل اکثریت است. یعنی اگر در بدنه نیمه هادی از نیمه هادی نوع *N* استفاده شود، آنگاه فقط حامل‌های نوع *N*، (الکترون‌های متحرک)، نقش مهم را در کارکرد عادی مدار بازی می‌کنند و بازترکیب اتفاقی حامل‌های نوع *N* و *P* نقشی در این کارکرد ندارند. بنابراین، این دیودها می‌توانند هدایت را سریع‌تر از یک دیود یکسوساز عادی *PN* قطع کنند.

گستره وسیعی از دیودهای شاتکی در مبدل‌های سوییچینگ قدرت به کار می‌روند و می‌توانند تا فرکانس 1MHz نیز کار کنند. گستره کوچکی از دیودهای شاتکی نیز در *detector* های *RF* و *Miner* ها به کار می‌روند و می‌توانند تا فرکانس حدود 5MHz کار کنند. آشکارترین محدودیت دیود شاتکی، دشواری در رسیدن به ولتاژهای معکوس بالا می‌باشد. دیودهای شاتکی‌ای که معمولاً با آنها مواجه می‌شویم، از نوع 1N5817 می‌باشند. از این دیودها بدلیل ویژگی‌های خاصشان، در IC های سری ۷۴ استفاده زیادی می‌شود.

نکات کاربردی:

انتخاب خازن ورودی (C_{IN}):

برای رسیدن به پایداری باید دست کم با یک خازن الکترولیتی $22\mu F$ ، پین ورودی رگولاتور را *Bypass* کنیم. چنانچه دستگاه در دماهای زیر 25- درجه سانتیگراد کار می‌کند، ممکن است نیاز باشد تا مقدار خازن ورودی بزرگتر باشد. کاهش دما در اکثر خازن‌های الکترولیتی سبب کاهش ظرفیت خازنی و افزایش مقدار *ESR* می‌شود. (البته افزایش عمر خازن نیز سبب کاهش ظرفیت خازنی و افزایش مقدار *ESR*

می‌شود). موازی کردن یک خازن تانتالیم *Solid* یا سرامیک سبب افزایش پایداری رگولاتور در دماهای پایین می‌شود. برای اینکه عمر مفید کارکرد خازن افزایش یابد، باید مقدار *RMS* رپل جریان خازن بیشتر از مقدار زیر باشد:

$$1.2 \times \left(\frac{t_{on}}{T} \right) I_{load}$$

که در آن برای رگولاتورهای نوع *Buck*، $\frac{t_{on}}{T} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$ می‌باشد

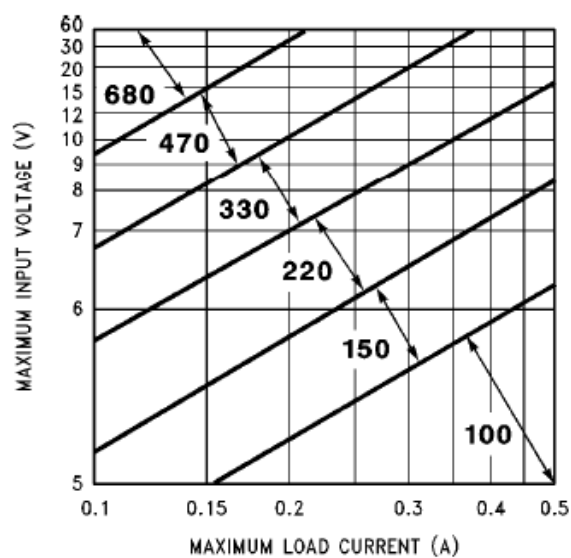
و برای رگولاتورهای نوع *Buck-Boost*، $\frac{t_{on}}{T} = \frac{|V_{OUT}|}{|V_{OUT}| + V_{IN}}$ می‌باشد.

انتخاب القاگر:

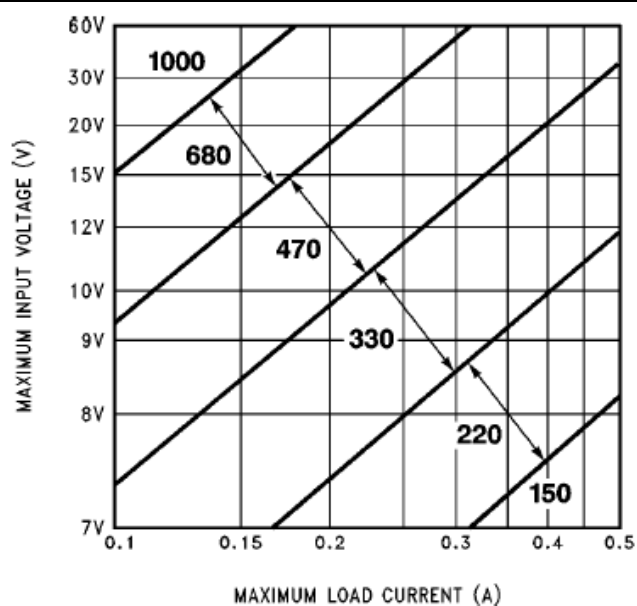
تمامی رگولاتورهای سویچینگ دارای دو مد کاری می‌باشند: (۱) پیوسته (۲) گسسته. تفاوت بین این دو نوع به جریان القاگر مربوط می‌شود. بدین صورت که یا این جریان به صورت پیوسته جریان دارد، (نوع پیوسته)، و یا اینکه برای زمانی از یک پریود به صفر آمپر افت می‌کند، (نوع گسسته). هر مد بطور کاملاً بارزی دارای مشخصه‌های کاری متفاوتی می‌باشد که می‌تواند بر عملکرد مدار و قطعات مورد نیاز مدار تاثیر بگذارد. *LM2574* و یا هر یک از سویچرهای دیگر این خانواده، می‌توانند برای هر دو مد پیوسته و گسسته استفاده شوند.

در بسیاری از حالتها مد کاری ترجیح داده شده، همان مد پیوسته می‌باشد. این مد کاری می‌تواند سبب *Load - Regulation* بهتر و پیک جریان کمتر در سویچ، القاگر و دیود بشود. همچنین می‌تواند رپل ولتاژ خروجی کمتری داشته باشد. ولی در اینصورت طبیعتاً به مقادیر بزرگتری برای القاگر نیاز داریم، تا بتوانیم جریان *load* را به صورت پیوسته حفظ کنیم. (بخصوص برای *load* های سبکتر)

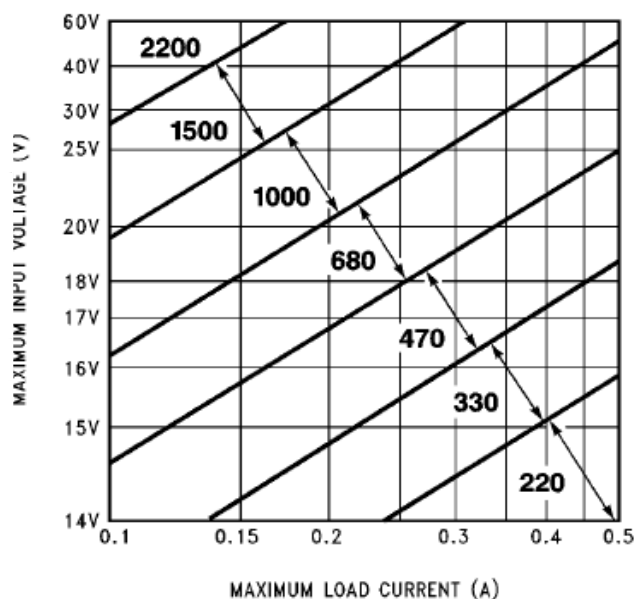
جهت ساده‌سازی فرایند انتخاب القاگر، یک راهنمای انتخاب القاگر، (*Nomograph* یا نمودار محاسباتی) طراحی شده است. (اشکال زیر)



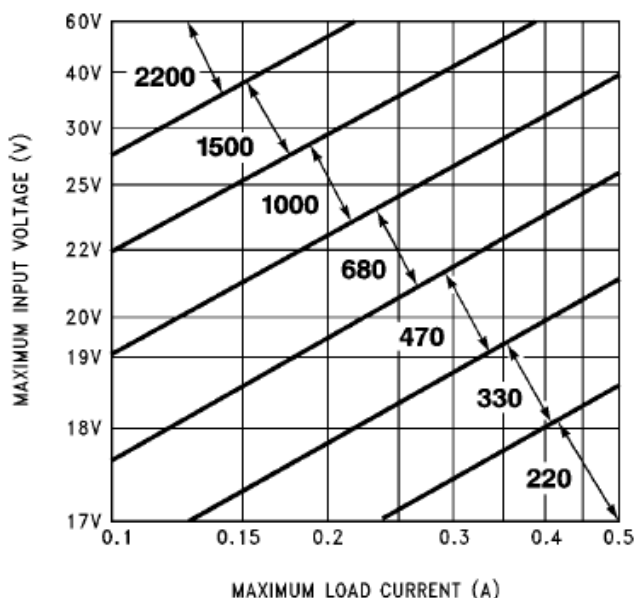
راهنمای انتخاب القاگر
برای LM2574H-3.3



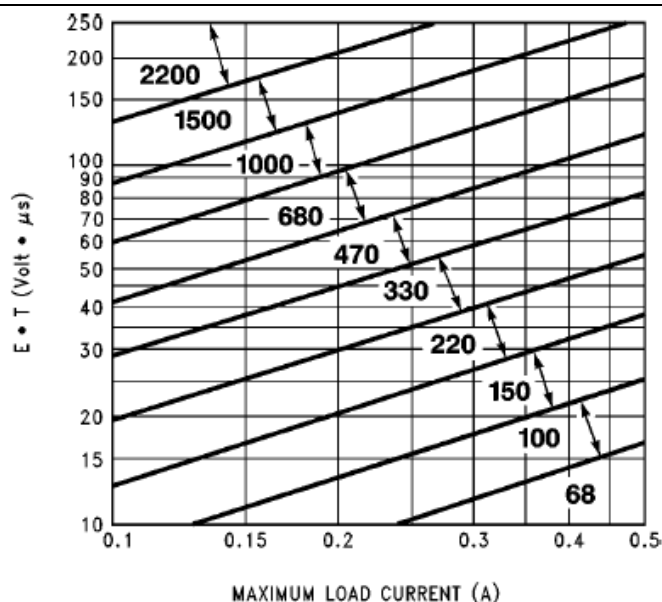
راهنمای انتخاب القاگر
برای LM2574HV-5



راهنمای انتخاب القاگر
برای LM2574H-12



راهنمای انتخاب القاگر
برای LM2574H-15



راهنمای انتخاب القاگر برای LM2574H - ADJ

این راهنما مربوط به مد کاری پیوسته می‌باشد و القاگری را انتخاب می‌کند که جریان رپل *peak-to-peak* آن، (ΔI_{IND}) ، درصد معینی از ماکزیمم جریان *load* باشد. طبیعتاً هر قدر درصد رپل جریان را بیشتر انتخاب کنیم، (بخصوص در کاربردهای با جریان پایین‌تر) می‌توانیم از القاگرهایی با مقادیر کمتر استفاده کنیم.

رپل جریان القاگر:

هنگامیکه رگولاتور در مد پیوسته کار می‌کند، شکل موج جریان القاگر، از مثلثی تا دندان اره‌ای می‌تواند تغییر کند. (بر حسب ولتاژ ورودی). برای یک ولتاژ ورودی و خروجی مفروض، دامنه جریان *peak-to-peak* شکل موج این القاگر ثابت می‌ماند. زمانی که جریان *load* بالا می‌رود یا کاهش می‌یابد، شکل موج دندان اره‌ای نیز بالا می‌رود یا کاهش می‌یابد. مقدار متوسط *DC* این شکل موج برابر با جریان *DC* بار می‌باشد. (در رگولاتورهای *Buck*). اگر جریان *load* به اندازه کافی کم شود، قسمت پایین شکل موج دندان اره‌ای به صفر می‌رسد، و رگولاتور مد کاریش را به مد کاری گسسته تغییر می‌دهد و این یک مد کاری قابل قبول است. اگر *load* به اندازه کافی سبک باشد، هر رگولاتور سوییچینگ نوع *Buck* به اجبار در مد گسسته

کار خواهد کرد. (صرفنظر از اینکه مقدار ظرفیت سلف چقدر باشد.)

خازن خروجی:

وجود یک خازن در خروجی، جهت فیلتر کردن ولتاژ خروجی و همچنین جهت پایداری حلقه ضروری است. این خازن باید با استفاده از $trace$ های کوتاه روی برد PCB ، نزدیک به آی سی $LM2574$ قرار بگیرد. معمولاً خازن استاندارد الکترولیتی از جنس آلومینیوم مناسب است، ولی جهت کم شدن رپل ولتاژ خروجی و پایداری خوب، استفاده از گونه های با ESR پایین پیشنهاد می شود.

مقدار رپل ولتاژ خروجی تابعی از ESR خازن خروجی و دامنه رپل جریان القاگر، (ΔI_{IND}) ، می باشد. (بخش رپل جریان القاگر در قسمت نکات کاربردی را ببینید.)

نوعاً مقادیر کوچک خازن از، $220\mu F$ تا $680\mu F$ ، منجر به رپل ولتاژی حدود ۵۰ تا ۱۵۰ میلی ولت می شوند، در حالیکه خازنهای بزرگتر، رپل ولتاژ خروجی را تقریباً به ۲۰ تا ۵۰ میلی ولت کاهش می دهند.

رپل ولتاژ خروجی $(ESR \text{ of } C_{OUT})$ ، $(\Delta I_{IND}) =$

جهت کاهش بیشتر رپل ولتاژ خروجی، می توان چند خازن الکترولیتی استاندارد را با هم موازی نمود، یا می توان از یک خازن با $Grade$ بالاتر استفاده کرد. چنین خازنهایی به خازن های $low-ESR$ یا $High-Frequency$ و یا $low-inductance$ معروف هستند و رپل ولتاژ خروجی را به ۱۰ تا ۲۰ میلی ولت کاهش می دهند. با این وجود هنگامیکه در مد پیوسته کار می کنیم، کاهش ESR به مقادیر کمتر از ۰.۰۵ اهم می تواند منجر به ناپایداری در رگولاتور شود.

خازنهای تانتالیوم می توانند ESR بسیار کمی داشته باشند و چنانچه تنها خازن خروجی هستند، باید به دقت مورد بررسی قرار بگیرند. به خاطر مشخصه های خوب این خازنها در دمای پایین، می توان از یک خازن تانتالیوم به صورت موازی با خازن الکترولیت استفاده کرد. با استفاده از خازن تانتالیوم ظرفیت خازن را ۱۰ تا ۲۰ درصد زیاده تر کرده ایم.

دیود شاتکی:

رگولاتورهای نوع Buck به یک دیود نیاز دارند تا در زمانی که سویچ خاموش است، یک مسیر بازگشت برای جریان القاگر فراهم شود. این دیود باید با استفاده از پایه‌های کوتاه و مسیری کوتاه روی PCB و تا حد امکان نزدیک به رگولاتور قرار بگیرد. به دلیل سرعت سویچینگ بالا و افت ولتاژ پایین، دیودهای شاتکی بهترین بازده را، به خصوص در رگولاتورهای سویچینگ ولتاژ پایین (کمتر از ۵ ولت) دارا می‌باشند. گرچه دیودهای Fast-Recovery، High-Efficiency و Ultra-Fast نیز مناسب هستند، ولی برخی از این گونه‌ها با یک مشخصه خاموش شدن تند، ممکن است منجر به ناپایداری و مشکلات EMI شوند. یک دیود Fast-Recovery که مشخصه بازگشت ملایمی دارد، می‌تواند انتخاب مناسبی باشد. دیودهای استاندارد ۶۰ هرتز (مثل 1N4001 یا 1N5400) نیز مناسب نیستند. شکل زیر جهت انتخاب دیود شاتکی و دیود Fast-Recovery تهیه شده است.

V _R	1 Amp Diodes	
	Schottky	Fast Recovery
20V	1N5817 SR102 MBR120P	The following diodes are all rated to 100V 11DF1 10JF1 MUR110 HER102
30V	1N5818 SR103 11DQ03 MBR130P 10JQ030	
40V	1N5819 SR104 11DQ04 11JQ04 MBR140P	
50V	MBR150 SR105 11DQ05 11JQ05	
60V	MBR160 SR106 11DQ06 11JQ06	
90V	11DQ09	

ریپل ولتاژ خروجی و حالت‌های گذرا:

ولتاژ خروجی منبع تغذیه سویچینگ شامل یک ریپل ولتاژ دندان اره‌ای، در فرکانس کاری رگولاتور می‌باشد، که نوعاً حدود ۱ درصد ولتاژ خروجی است. همچنین ممکن است ولتاژهای Spike کوچکی در پیک شکل موج دندان اره‌ای ولتاژ خروجی وجود داشته باشد.

ریپل ولتاژ خروجی برابر با ریپل جریان دندانه‌ای القاگر ضربدر مقدار ESR خازن خروجی می‌باشد. (قسمت انتخاب القاگر در بخش نکات کاربردی را ببینید.)

ولتاژهای $Spike$ به دلیل سرعت سوییچینگ بالای رگولاتور و اندوکتانس پارازیت خازن فیلتر خروجی، به وجود می‌آیند. برای حداقل کردن این $Spike$ های ولتاژ، می‌توان از خازنهای کم اندوکتانس ویژه استفاده کرد و طول پایه‌های آنها را نیز تا حد امکان کوتاه نگه داشت. اندوکتانس $Wiring$ ، ظرفیت خازن سرگردان ($stray$)، و همچنین پروب اسکوپ که جهت سنجیدن این حالت‌های گذرا استفاده می‌شود، همگی در دامنه این $Spike$ ها تاثیر می‌گذارند.

یک فیلتر LC کوچک، $20\mu H$ و $100\mu F$ ، می‌تواند جهت کاهش بیشتر مقدار ریپل خروجی و حالت‌های گذرا، به خروجی افزوده شود. در اینصورت توسط این فیلتر، ریپل ولتاژ خروجی و حالت‌های گذرا تا ۰.۱ نیز می‌توانند کاهش پیدا کند.

اتصال فیدبک:

در رگولاتورهای نوع $Fixed-Voltage$ ، پین فیدبک باید با سیم به نقطه ولتاژ خروجی منبع تغذیه سوییچینگ متصل شود. هنگامیکه از رگولاتورهای نوع $Adjustable$ استفاده می‌کنیم، از نظر فیزیکی هر دو مقاومت برنامه ریزی کننده ولتاژ را نزدیک به رگولاتور قرار می‌دهیم، تا از برداشتن نویز ناخواسته جلوگیری کرده باشیم. ضمناً از بکار بردن مقامتهای بزرگتر از ۱۰۰ کیلو اهم خودداری کنید، زیرا احتمال برداشتن نویز را افزایش می‌دهند.

ورودی $\overline{ON}/OFF$:

برای کارکرد عادی، پین $\overline{ON}/OFF$ یا باید $Ground$ شود و یا باید با یک ولتاژ TTL سطح پایین راه اندازی شود. (نوعاً زیر ۱.۶ ولت). برای قرار دادن رگولاتور در حالت $Standby$ ، این پین را با یک سیگنال TTL یا $CMOS$ سطح بالا راه اندازی می‌کنیم. پین $\overline{ON}/OFF$ می‌تواند بطور مطمئن و بدون نیاز به مقاومتی که با آن سری شده باشد، به ولتاژ V_{IN} ، $Pull-up$ شود. پین $\overline{ON}/OFF$ نباید باز بماند. (حتماً باید در یکی از سطوح منطقی باشد.)

ملاحظات گرمایی و $Heat - Sink$:

در بسیاری از حالات برای پایین نگهداشتن دمای $junction$ از محدوده مجاز کاری، به $Heat - Sink$ نیازی نیست. در هر کاربرد معین برای اینکه تعیین کنیم که آیا $Heat - Sink$ مورد نیاز هست یا نه، موارد زیر بایستی مشخص شوند:

حداکثر دمای محیط در زمان کار کردن
حداکثر توان تلف شده در رگولاتور در زمان کار کردن

حداکثر دمای مجاز $junction$. برای اطمینان بیشتر و انجام یک طراحی محافظه کارانه، این دما باید حدوداً ۱۵ درجه سانتیگراد خنکتر از حداکثر دمای مجاز انتخاب شود.

مقاومت دمایی θ_{JA} و θ_{JC} مربوط به $Package$ مورد استفاده.

کل توان تلف شده به وسیله رگولاتور میتواند به صورت زیر تخمین زده شود:

$$P_D = (V_{IN})(I_O) + \frac{V_O}{V_{IN}} \cdot I_{LOAD} \cdot V_{SAT}$$

که در آن I_O و V_{SAT} میتوانند به وسیله منحنی‌های مشخصه‌ای که قبلاً نشان داده‌ایم، بدست بیایند. V_{IN} کمترین ولتاژ ورودی اعمال شده است، V_O ولتاژ خروجی رگوله شده است. I_{load} نیز جریان $load$ میباشد. اگر از دیود شاتکی استفاده شود، $Dynamic-loss$ یا توانی که در زمان روشن و خاموش شدن هدر می‌رود نیز قابل صرف‌نظر کردن میباشد.

زمانیکه از $Heat sink$ استفاده نمی‌کنیم، افزایش دمای $junction$ میتواند به وسیله رابطه زیر مشخص شود:

$$\Delta T_J = (P_D)(\theta_{JA})$$

برای رسیدن به دمای واقعی $junction$ ، باید افزایش دمای $junction$ را با حداکثر دمای محیط جمع کنیم:

$$T_J = \Delta T_J + T_A$$

اگر دمای $junction$ در حال کار، بیشتر از دمای $junction$ انتخاب شده در مرحله ۳ بود، آنگاه به $heat sink$ نیاز داریم.

هنگامیکه از یک $heatsink$ استفاده می‌کنیم، افزایش دمای $junction$ میتواند به وسیله رابطه زیر مشخص شود:

$$\Delta T_J = (P_D)(\theta_{JC} + \theta_{interface} + \theta_{heatsink})$$

دمای $junction$ در حال کار برابر خواهد بود با:

$$T_J = T_A + \Delta T_J$$

اگر دمای واقعی *junction* در حال کار کردن بیشتر از آن چیزی باشد که ما انتخاب کردیم، آنگاه به *heatsink* بزرگتری نیاز خواهیم داشت. (که مقاومت حرارتی کمتری داشته باشد.)

هنگامیکه از رگولاتور در *Package* های پلاستیک *DIP(N)* و یا *Surface-Mount(M)* استفاده می‌کنیم، باید چند نکته را درباره ویژگیهای حرارتی *Package* ها بدانیم:

بخش اعظم حرارت توسط پایه‌ها به بیرون از *Package* هدایت می‌شود و بخش کوچکی از آن نیز از طریق قطعات پلاستیکی *Package* به بیرون هدایت می‌شود. از آنجا که قالب پایه‌ها از جنس مس جامد می‌باشد، (منظور محلی روی *PCB* است که پایه‌های *IC* در آن قرار می‌گیرند.)، حرارت فوراً از طریق قالب *IC*، (که به آن *die* می‌گویند.)، به پایه‌های *IC* منتقل می‌شود و از آنجا هم به مس روی *PCB* منتقل می‌شود، که به عنوان یک *heatsink* عمل می‌کند.

برای داشتن بهترین بازده حرارتی، پینهای *Ground* و تمام پینهای متصل نشده، باید به مقادیر زیادی از مس لحیم شوند. (مانند یک صفحه مسی یا *Ground-Plane*). سطوح بزرگ مسی بهترین تبادل حرارتی را با هوای محیط اطراف فراهم می‌کنند. استفاده از مس در هر دو طرف *PCB* نیز برای دور کردن حرارت *Package* مفید است. (حتی اگر تماس مستقیم مسی بین این دو صفحه مسی وجود نداشته باشد.)

بکار گرفتن یک *PCB* مهندسی‌ساز دقیق می‌تواند رسیدن به مقاومتهای حرارتی به کوچکی $40^{\circ}\text{C}/\text{W}$ برای بسته‌بندی *SO* و $30^{\circ}\text{C}/\text{W}$ برای بسته‌بندی *N* را تحقق ببخشد.

نرم افزار طراحی *Switcher-Made-Simple*:

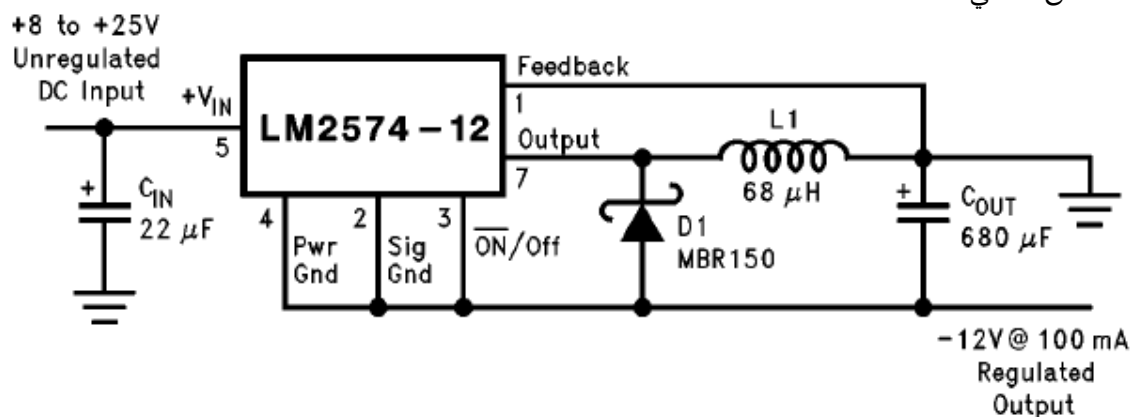
این مجموعه قدرتمند، که توسط شرکت *National Semiconductor* طراحی شده است، قابلیت طراحی و شبیه سازی نرم افزاری خانواده گسترده‌ای از *IC* های سویچینگ این شرکت (علاوه بر *LM2574*) را دارد. نرم افزار طراحی *Switcher-Made-Simple*، از یک مدل غیرخطی بسیار دقیق استفاده می‌کند که می‌تواند جهت مشخص کردن دمای *junction* به ازای پارامترهای ورودی-خروجی متفاوت و یا مقادیر متفاوت المانهای مدار بکار

برود. این نرم افزار همچنین می‌تواند مقاومت حرارتی مربوط به *heatsink* که برای مدار ما مناسب است را هم محاسبه کند.

کاربردهای دیگر:

رگولاتور وارون ساز یا *Inverting*:

شکل زیر یک آی‌سی *LM2574* را در مد *Buck-Boost*، به منظور تولید خروجی -12 ولت از ولتاژ ورودی مثبت نشان می‌دهد.



این مدار پایه *Ground* رگولاتور را به ولتاژ خروجی، بوت استرپ می‌کند، سپس با *Ground* کردن پایه فیدبک، رگولاتور ولتاژ معکوس شده خروجی را حس می‌کند، و آن را در -12 ولت تثبیت می‌کند. به ازای ولتاژ ورودی ۱۲ ولت یا بیشتر، حداکثر جریان قابل دسترس در خروجی تقریباً ۰.۳۵ آمپر خواهد بود. در بارهای سبک‌تر کمترین ولتاژ ورودی باید به حدود ۴.۷ ولت افت کند.

جریانهای سوئیچ در مد *Buck-Boost* بیشتر از این جریانها در مد *Buck* استاندارد هستند. بنابراین جریان خروجی قابل دسترس نیز کاهش پیدا می‌کند. همچنین جریان مبدل *Buck-Boost* در لحظات اولیه بیشتر از رگولاتور مد *Buck* استاندارد می‌باشد، و این موضوع ممکن است منبع تغذیه ورودی را با جریانی کمتر از ۱.۵ آمپر، *Overload* کند. با استفاده از یک تاخیر در زمان روشن شدن یا یک مدار قفل کننده ولتاژهای پایین، (که در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد)، به ولتاژ ورودی اجازه می‌دهیم، قبل از اینکه سوئیچر اجازه روشن شدن پیدا کند، تا حد کافی زیاد شود.

بدلیل تفاوت اساسی بین توپولوژی رگولاتورهای Buck و Buck-Boost، پروسه طراحی مربوط به رگولاتورهای Buck نمیتواند برای انتخاب کردن القاگر و خازن خروجی بکار رود. محدوده پیشنهادی برای مقادیر القاگر در طرح Buck-Boost بین $68\mu H$ تا $220\mu H$ میباشد، و مقادیر خازن خروجی نیز باید بیش از آن چیزی باشد که در حالت عادی برای طرح Buck بکار میرفت. ولتاژهای ورودی پایین و یا جریانهای خروجی بالا، به مقادیر زیاد خازن خروجی، (در حد چندین هزار میکروفاراد)، نیاز دارند.

پیک جریان القاگر، که با پیک جریان سوییچ مشابه است، میتواند با استفاده از فرمول زیر محاسبه شود:

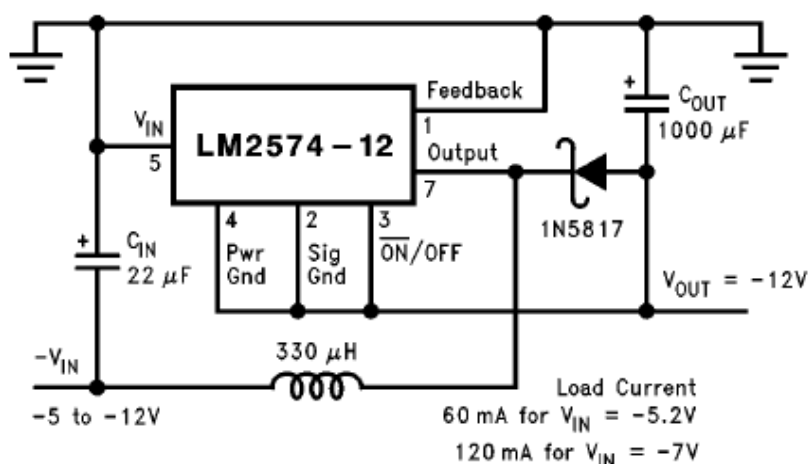
$$I_p \approx I_{LOAD} \times \frac{V_{IN} + |V_O|}{V_{IN}} + \frac{V_{IN}|V_O|}{V_{IN} + |V_O|} \times \frac{I}{2 L_f f_{osc}}$$

که در آن $f_{osc} = 52 \text{ KHz}$ میباشد. تحت شرایط عادی و در حالت کاری پیوسته، کمترین مقدار برای V_{IN} هست که بدترین حالت ممکن را تعیین میکند. باید القاگری را که برای پیک جریان احتمالی مناسب میباشد را انتخاب کنیم.

همچنین، بیشترین ولتاژی که دو سر رگولاتور ظاهر میشود، برابر با حاصلجمع قدرمطلق ولتاژهای ورودی و خروجی است. مثلاً برای یک خروجی -12 ولت، بیشترین ولتاژ ورودی برای LM2574، $+28$ ولت، و برای LM2574 HV، $+48$ ولت میباشد.

رگولاتور وارونساز نوع Boost:

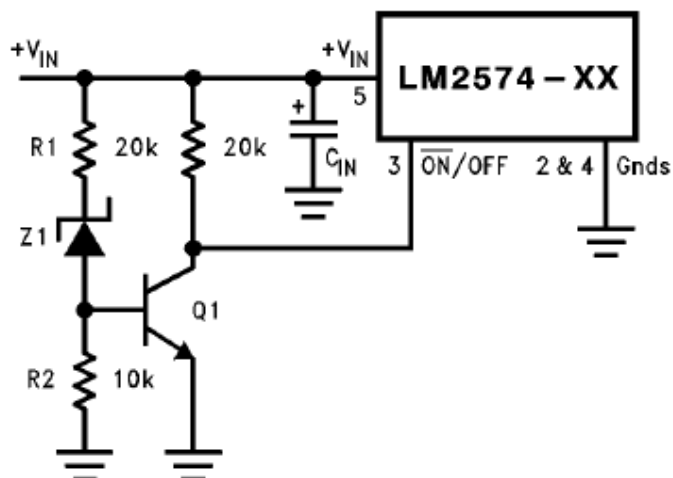
یک نوع دیگر در توپولوژی Buck-Boost، پیکربندی منفی Boost میباشد. مدار شکل زیر یک ولتاژ ورودی در محدوده -5 تا -12 ولت را دریافت میکند و یک ولتاژ تثبیت شده -12 ولت را تحویل میدهد.



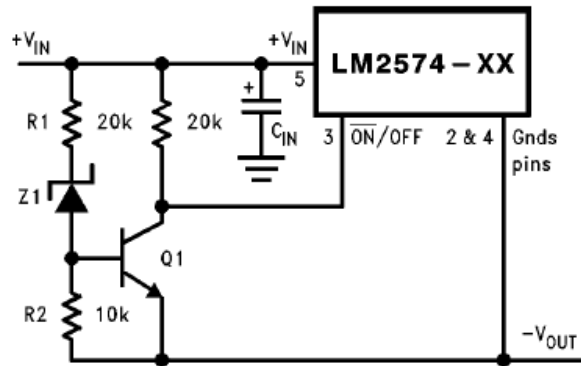
ولتاژهای ورودی بزرگتر از -12 ولت سبب خواهند شد که خروجی به بیشتر از -12 ولت افزایش یابد، ولی به رگولاتور آسیبی نخواهد رسید. بدلیل عملکرد این نوع رگولاتور به صورت Boost، جریان سوئیچ نیز زیاد است. (بخصوص در ولتاژهای ورودی پایین). محدودیتهایی که روی جریان خروجی load وجود دارد، ناشی از حداکثر جریان قابل تحمل سوئیچ هستند. همچنین، رگولاتورهای Boost نمیتوانند حفاظت از load را وقتی load اتصال کوتاه شود تامین کنند، بنابراین به وسیله دیگری (نظیر فیوز) نیاز خواهیم داشت.

Under-Voltage-Lockout یا قفل کننده ولتاژهای پایین:

در برخی کاربردها لازم است تا زمانی که ولتاژ ورودی به آستانه معینی برسد، مدار را خاموش نگه داریم. مدار قفل کننده ولتاژهای پایین که در شکل زیر نشان داده شده است، میتواند این کار را انجام بدهد.



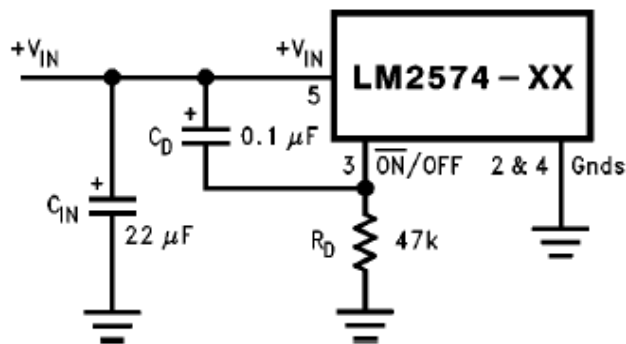
شکل زیر نیز مدار مشابهی را که برای پیکربندی Buck-Boost بکار می‌رود، نمایش می‌دهد.



این مدارها رگولاتور را تا زمانی که ولتاژ ورودی به حد از پیش تعیین شده‌ای برسد، خاموش نگه می‌دارند.

$$V_{TH} = V_{ZI} + 2 V_{BE}(Q1)$$

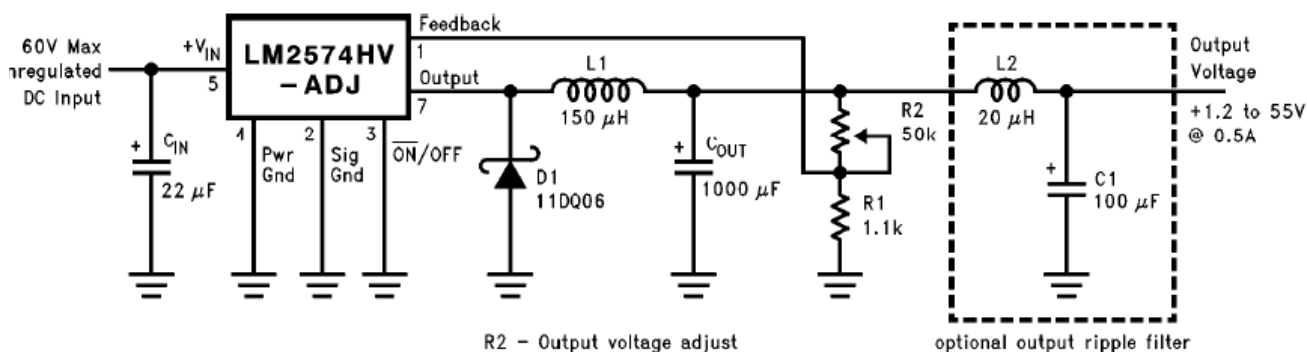
Delayed-Startup یا راه اندازی با تاخیر:



همانطور که در شکل بالا نمایش داده شده، پایه $\overline{ON}/OFF$ می‌تواند برای راه اندازی مدار با یک تاخیر استفاده شود. با یک ولتاژ ورودی ۲۰ ولت، و قطعاتی که در شکل نشان داده شده است، مدار یک تاخیر حدود 10ms را پیش از آغاز سوییچینگ فراهم می‌کند. ولی برای مقادیر بزرگ ثابت زمانی RC، ممکن است سبب بروز اشکالاتی در ولتاژهای ورودی 60Hz یا 120Hz شوند.

خروجی قابل تنظیم، منبع تغذیه کم ریپل:

شکل زیر یک منبع تغذیه ۱ آمپری که ولتاژ خروجی قابل تنظیمی را ارائه می‌کند، نشان می‌دهد. یک فیلتر LC اضافی که ریپل خروجی را با ضریب ۱۰ یا بیشتر کاهش می‌دهد نیز در این شکل اضافه شده است.



معنای برخی لغات:

رگولاتور Buck :

یک توپولوژی برای رگولاتورهای سویچینگ که در آن یک ولتاژ بالاتر به یک ولتاژ پایین تر تبدیل میشود. این رگولاتورها با نام رگولاتور سویچینگ Step-Down نیز شناخته میشوند.

رگولاتور Buck-Boost :

یک توپولوژی برای رگولاتورهای سویچینگ که در آن یک ولتاژ مثبت، بدون نیاز به ترانسفورمر به ولتاژ منفی تبدیل می شود.

سیکل کاری یا Duty-Cycle :

نسبت زمان روشن بودن سویچ خروجی به زمان تناوب اسیلاتور:

$$D = \frac{t_{on}}{T} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

برای رگولاتورهای Buck

$$D = \frac{t_{on}}{T} = \frac{|V_o|}{|V_o| + V_{in}}$$

برای رگولاتورهای

Buck-Boost

بازده (η) :

نسبت توان ورودی ای که عملاً به load تحویل داده میشود:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}}$$

مد کاری پیوسته و مد کاری گسسته :

مد کاری رگولاتور وابسته به جریان القاگر می باشد. در حالت پیوسته جریان القاگر همواره جاریست و هیچگاه به صفر نمی رسد. در مقابل در حالت گسسته جریان سلف برای مدتی از دوره تناوب به صفر می رسد.

ESR یا مقاومت معادل سری خازن:

عبارتست از مؤلفه مقاومتی خالص از امپدانس یک خازن واقعی. (شکل زیر)

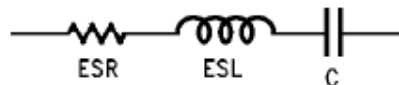


این مقاومت باعث تلف شدن انرژی به صورت حرارت در خازن می‌شود. هنگامی که این خازن به عنوان فیلتر خروجی در یک رگولاتور سویچینگ استفاده می‌شود، مقادیر بالاتر ESR منجر به رپل ولتاژ بالاتر می‌شوند.

ESR اکثر خازن‌های الکترولیتی آلومینیومی استاندارد، که در محدوده $100\mu F$ تا $1000\mu F$ قرار دارند، حدود 0.1 اهم تا 0.5 اهم می‌باشد. خازن‌های با $Grade$ بالاتر (که به خازن‌های $low-ESR$ یا $High-Frequency$ و یا $low-inductance$ معروف هستند)، در محدوده $100\mu F$ تا $1000\mu F$ عموماً دارای ESR کمتر از 0.15 اهم هستند.

ESL یا اندوکتانس معادل سری:

مؤلفه اندوکتانسی خالص یک خازن. مقدار این اندوکتانس تا حد زیادی به ساختمان خازن وابسته است. در یک رگولاتور نوع $Buck$ ، این اندوکتانس ناخواسته، منجر به ولتاژهای $Spike$ در خروجی می‌شود. (شکل زیر)



رپل ولتاژ خروجی:

مؤلفه ac ولتاژ خروجی رگولاتور سویچینگ. مقدار این رپل معمولاً توسط حاصلضرب ESR خازن خروجی و رپل جریان القاگر، (ΔI_{IND}) ، بدست می‌آید. برای بدست آوردن مقدار پیک تا پیک جریان دندانه‌ای رپل، به بخش رپل جریان القاگر از بخش نکات کاربردی رجوع شود.