منابع تغذیه سویچینگ

نویسندگان: امین شیخ نجدی- najdi@iaud.ac.ir

چکیده: برای تأمین انرژی لازم برای کارکرد مدارات الکترونیکی منابع تغذیه سویچینگ امروزه حرف اول را می‌زنند و جایگزین مناسبی برای منابع خطی می‌باشند . منابع تغذیه سویچینگ توانایی تولید توان های خیلی پایین تا توان های خیلی بالا و کیلوواتی را بدون اتلاف انرژی و در حجم بسیار کمتر و با هزینه پایین‌تر نسبت به منابع خطی رادارند . همچنین منابع تغذیه سویچینگ دارای راندمان بالایی می‌باشند. این منابع در سال ۱۹۷۰ هنگامی‌که ترانزیستورهای سویچینگ سرعت‌بالا با ظرفیت زیاد در دسترس قرار گرفت، ابداع شدند. ولتاژ خروجی منابع تغذیه سویچینگ به‌وسیله تغییر چرخه کار (***Duty Cycle***) یا فرکانس سیگنال ترانزیستورهای کلید زنی کنترل می‌شود. البته می‌توان با تغییر هم‌زمان هردوی آن‌ها نیز ولتاژ خروجی را کنترل نمود.

کلیدواژه: منبع تغذیه سویچینگ ، *dc to dc convertor* ، *bulk* ،*boost*

۱ – مقدمه

ساده‌ترین روش برای تأمین انرژی لازم کارکرد مدارات استفاده از منابع خطی است . منابعی هستند که توسط ترانس‌های کاهنده هسته آهنی و رگولاتور های ترانزیستوری ساخته می‌شوند و به‌طورمعمول در دستگاه‌ها استفاده می‌شوند .

اما امروزه برای تأمین انرژی لازم برای کارکرد مدارات الکترونیکی منابع تغذیه سویچینگ امروزه حرف اول را می‌زنند و جایگزین مناسبی برای منابع خطی می‌باشند . منابع تغذیه سویچینگ توانایی تولید توان های خیلی پایین تا توان های خیلی بالا و کیلوواتی را بدون اتلاف انرژی و در حجم بسیار کمتر و با هزینه پایین‌تر نسبت به منابع خطی رادارند . همچنین منابع تغذیه سویچینگ دارای راندمان بالایی می‌باشند. این منابع در سال ۱۹۷۰ هنگامی‌که ترانزیستورهای سویچینگ سرعت‌بالا با ظرفیت زیاد در دسترس قرار گرفت، ابداع شدند. ولتاژ خروجی منابع تغذیه سویچینگ به‌وسیله تغییر چرخه کار (Duty Cycle) یا فرکانس سیگنال ترانزیستورهای کلید زنی کنترل می‌شود. البته می‌توان با تغییر هم‌زمان هردوی آن‌ها نیز ولتاژ خروجی را کنترل نمود.

۲– دلیل انتخاب SMPS و مقایسه آن با منابع تغذیه خطی

انتخاب بین یک منبع تغذیه خطی یا سویچینگ می‌تواند بر اساس کاربرد آن‌ها انجام می‌شود. هر یک مشخصات، مزایا و معایب خاص خود رادارند، همچنین حوزه‌های متعددی وجود دارد که تنها یکی از این دو نوع می‌تواند مورداستفاده قرار گیرند و یا کاربردهایی که یکی از بر دیگری برتری دارد.

۲-۱- مزایای منابع تغذیه خطی

نخستین مزیت منابع خطی سادگی آن‌ها است (طرح مدار بسیار ساده است و با قطعات کمی به‌راحتی اجرا می‌شود).دومین مزیت آن‌ها قابلیت تحمل بار زیاد نویز ناچیز یا کم در خروجی و زمان پاسخ‌دهی بسیار کوتاه می‌باشد . لازم به ذکر است هزینه تولید منابع خطی برای توان های کمتر از ۱۰ وات ارزان‌تر از مدارهای مشابه سویچینگ تمام می‌شود.

۲-۲- معایب منابع تغذیه خطی

منابع خطی تنها به‌صورت رگولاتور کاهنده قابل کاربرد هستند(ورودی حداقل باید ۲ تا ۳ ولت از خروجی بیشتر باشد).

عدم انعطاف‌پذیری تغذیه، افزودن هر خروجی مستلزم اضافه کردن سخت‌افزار زیادی است.

www.kahrobaonline.ir

بهره متوسط چنین منابعی کم و نوعاً ۳۰٪ تا ۴۰٪ است. این تلفات توان در ترانزیستور خروجی تولید حرارت می‌کند و نیاز به ترانزیستور قوی‌تر را مطرح می‌کند،در ترانه‌ای کمی بالا نیاز به گرماگیر بر روی ترانزیستورها دارد.

تمامی این معایب در منابع تغذیه‌های سویچینگ رفع شده است:افزایش راندمان به حدود ۶۸٪ تا ۹۰٪ کارکرد ترانزیستور در نواحی قطع و اشباع به انتخاب حرارت گیر یا خنک‌کننده و ترانزیستور کوچک‌تر منجر شده است. به دلیل اینکه قدرت خروجی از یک ولتاژ DC بریده‌شده که به شکل AC در یک قطعه مغناطیسی ذخیره می‌شود، تأمین می‌گردد. لذا با اضافه کردن تنها یک سیم‌پیچ می‌توان خروجی دیگری را به دست آورد، که در مقام مقایسه بسیار ارزان‌تر و ساده‌تر تمام می‌شود.به‌علاوه به دلیل افزایش فرکانس کاری به حدود KHz۱۵ تا KHz۶۰ اجزا ذخیره کننده انرژی می‌توانند خیلی کوچک‌تر انتخاب شوند: برخلاف منابع تغذیه خطی، در ترانه‌ای خیلی بالا قابل‌استفاده هستند. همه این موارد به کاهش هزینه و توان تلفاتی و افزایش بهره‌دهی و انعطاف‌پذیری منجر می‌شود. معایب این نوع منابع ناچیز بوده و به کمک طراحی بهینه قابل‌رفع می‌باشد.

۲-۳- معایب منابع تغذیه سویچینگ

طرح چنین منابعی اصولاً مشکل و پیچیده است.

نویز قابل‌ملاحظه‌ای از آن‌ها به محیط انتشار می‌یابد و این اشکالی است که نباید در مرحله طراحی نادیده گرفته شود.

به دلیل ماهیت کار این منابع که بر اساس برش یک ولتاژ DC استوار است، زمان رسیدن ولتاژ خروجی به مقدار مطلوب در مقایسه با منابع تغذیه خطی زیاد است. این زمان اصطلاحاً زمان پاسخ ناپایدار نامیده می‌شود.

هر یک از منابع حوزه‌های کاری خود رادارند، عموماً برای مدارهای با راندمان و ولتاژ بالا مثل مدارهای تغذیه شونده با باطری‌های قابل‌حمل تغذیه سویچینگ برتری دارد، ولی برای ولتاژهای ثابت و کم منابع خطی ارزان‌تر و مناسب‌تر هستند.

راندمان SMPS به دلیل تلفات کمتر توان، بالاتر می‌باشد. وزن و اندازه آن‌ها به خاطر ترانسفورماتورهای کوچک‌تر با هسته فریت سبک‌تر، کوچک‌تر می‌باشد. افزایش فرکانس ابعاد ترانسفورماتور را به ازای قدرت‌های یکسان کاهش می‌دهد. از هسته‌های آهنی در فرکانس‌های بیشتر از Hz۴۰۰ به دلیل داغ شدن هسته نمی‌توان استفاده کرد.

در منابع تغذیه سویچینگ حذف ریپل‌های خروجی به‌خوبی منابع تغذیه خطی انجام نمی‌گیرد زیرا خازن‌های کوچک و باکیفیت بالا موردنیاز است.

پارازیت‌های RF به دلیل قطع و وصل جریان‌های بالا یکی دیگر از معایب SMPS می‌باشد. این پارازیت‌ها را می‌توان با پوشش هسته فریت و کل مدار کاهش داد. در تلویزیون، SMPS با فرکانس خط (Hz۱۵۶۲۵) سنکرون می‌شود و درنتیجه اثر کلید زنی در صفحه تلویزیون ظاهر نمی‌شود.

امروزه، بیشتر تلویزیون‌های رنگی فقط از SMPS برای تغذیه لامپ و قسمت‌های مختلف استفاده می‌کنند. کامپیوترهای شخصی نیز از SMPS برای تولید ولتاژهای ۱۲V۵ , V و V۲۴ با جریان بالا استفاده می‌کنند. مهم‌ترین مزیت SMPS ها، وزن کم آن می‌باشد.

۳- انواع منابع تغذیه سویچینگ

اصولاً منابع تغذیه سویچینگ را به دو حالت طراحی می‌کنند .

۱-فوروارد foreward(ولتاژ خروجی از ورودی کمتر است)

۲-فلای بک flyback (ولتاژ خروجی برابر یا بزرگ‌تر از ولتاژ ورودی است)

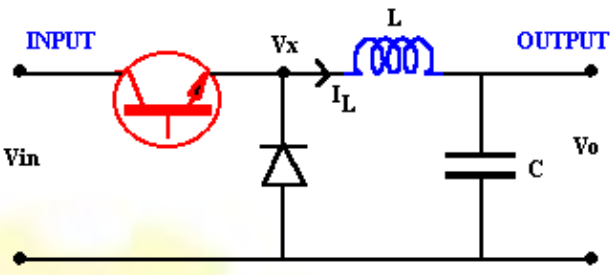
در نوع دیگر تقسیم‌بندی منابع سویچینگ آن‌ها را به سه دسته تقسیم می‌کنند .

۱-کاهنده bucking

۲-افزاینده boosting

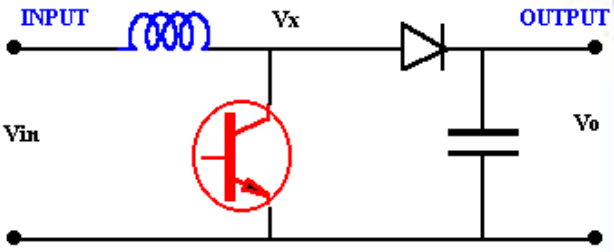
۳-معکوس کننده flyback

شکل کلی هسته این مدارات به‌صورت زیر است

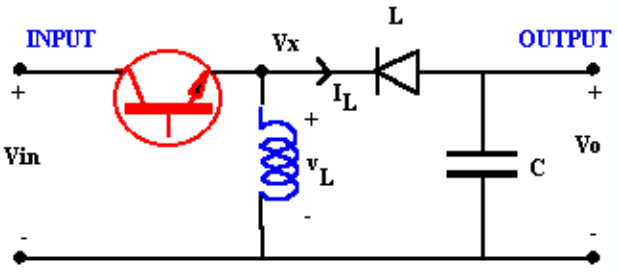


شکل ۱: Buck Converter

www.kahrobaonline.ir



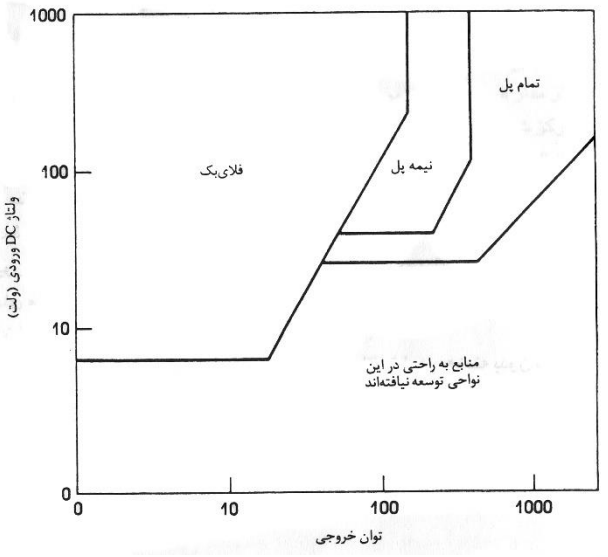
شکل ۲ : Boost Converter Circuit



شکل۳: schematic for buck-boost converter

تفاوت آرایش‌های مختلف در این است که دریکی جریان سلف به‌صورت پیوسته است و دریکی به‌صورت گسسته (پیوسته به خاطر ریپل کم و پیک جریان کمتر در سلف بهتر است) .

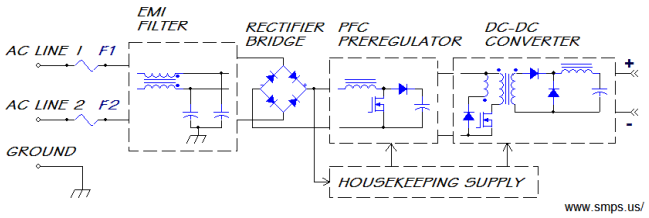
مصرف‌کننده بسته به موارد مصرف می‌تواند آرایش موردنظر خود را انتخاب کند . در توان های بالا و کارهای صنعتی هم با توجه به توان ورودی و خروجی از روی شکل زیر آرایش مناسب انتخاب می‌شود .



شکل۴ :آرایش صنعتی مطلوب و نواحی کاری آن‌ها

۴- نحوه عملکرد منابع تغذیه سویچینگ

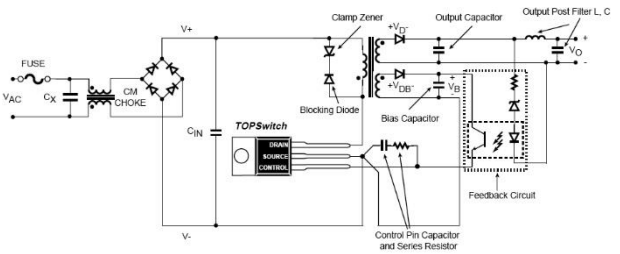
تابع سویچینگ از بخش‌های مختلفی ساخته‌شده . به نمونه ساده یک مدار کامل در شکل زیر توجه کنید



شکل۵ :مدار نمونه برای منابع سویچینگ

همان‌طور که در شکل‌های بالا می‌بینیم اجزای اصلی مدار شامل موارد زیر می‌باشند . منبع سویچ جهت تولید pwm - یکسو کننده – القاگر - سویچ قدرت - خازن ذخیره کننده انرژی در خروجی- feedback

بخش‌های مختلف در شکل ۶ نشان داده‌شده است



شکل۶ :مدار ساده‌شده نمونه برای منابع سویچینگ

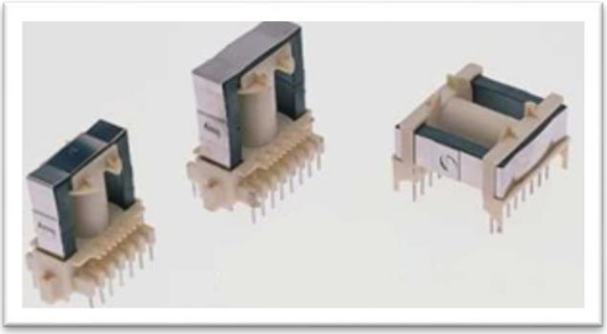
در این مدارات روال کار این‌گونه است که ولتاژ ورودی پس از گذشتن از فیلتر ورودی یکسو می‌شود و وارد بخش سویچینگ و ترانس چاپر می‌شود . مدار تولید pwm که معمولاً یک آی سی سویچینگ است با توجه به نمونه ولتاژ خروجی باعث کلید زنی در سلف توانس چاپر می‌شود و در آن ولتاژی تولید می‌کند . تنظیم SMPS با تغییر نرخ on و یا سرعت تکرار کلید زنی و یا هردوی این‌ها انجام می‌گیرد. به هنگام تغذیه قدرت، جریان به سیم‌پیچ تزریق و درنتیجه انرژی در آن ذخیره می‌شود. سپس این انرژی از طریق دیودهای با سرعت‌بالا به خازن‌های الکترولیت ذخیره کننده، واگذار می‌گردد. ولتاژ دو سر خازن صاف است . می‌تواند با DC را تغذیه کند. با افزایش بار، ولتاژ خروجی افت می‌کند. این افت، با

www.kahrobaonline.ir

افزایش پهنای پالس که سبب افزایش جریان سیم‌پیچ می‌شود، جبران می‌گردد. درواقع، افزایش پهنای پالس سبب می‌شود که انرژی بیشتری در هر دوره در میدان مغناطیسی ذخیره کردد.چنانچه ولتاژ موردنظر از مقدار موردنظر بیشتر شود می‌توان با کاهش پهنای پالس مقدار آن را تنظیم نمود. امروزه مدارهای مجتمع برای انجام وظایف بالا در دسترس هستند. آی سی ۲۵۲۴ یا ۳۵۲۴ از این نوع می‌باشند.

۴-۱- هسته و سیم‌پیچ

جنس هسته معمولاً از فریت است تا بتواند با فرکانس‌هایی که در SMPS به کار می‌رود، کار نماید. فرکانس‌های حدود 15KHz در این منابع بکار می‌روند. با افزایش فرکانس ، تلفات هیسترزیس هسته مغناطیسی افزایش می‌یابد. در فرکانس‌های پایین (زیر 10KHz) استفاده از منبع سویچینگ سودمند نیست. اندازه هسته رابطه معکوس با فرکانس کار دارد. در حال حاضر، KEPCO در آمریکا، حتی واحدهای SMPS با فرکانس کار 300KHz را که از موارد فریت مخصوص برای هسته استفاده می‌کند، تولید می‌نماید. هسته‌های فریت چند نوع‌اند: cup core , pot core , E-I , double-E و doule limb ساده که در تلویزیون‌ها به کار می‌رود. اشباع هسته فریت برخلاف هسته‌های آهن در یک چگالی شار ثابت انجام نمی‌گیرد. لازم است هسته فریت زیر نقطه اشباع کار نماید، و برای جلوگیری از اشباع، شکاف هوایی پیوندهای هسته باید کاملاً نازک باشد. شکاف هوایی زیاد، تعداد دور سیم را برای داشتن اندوکتانس موردنظر افزایش می‌دهد و سبب زیادشدن تلفات مسی می‌گردد.



شکل۷ :هسته توانس منابع سویچینگ

۴-۲- نکات طراحی

*معمولاً در منابع سویچینگ از دیودهای شاتکی با افت ولتاژ مستقیم کم استفاده می‌کنیم .این دیودها اکثراً تا فرکانس ۱ مگاهرتز کار می‌کنند مانند 1N5817

*دیودهای fast recovery یا ultra fast یا high efficierry نیز برای این کار مناسب‌اند اما به خاطر خاموش شدن سریع آن‌ها ممکن است باعث ناپایداری در EMI گردد .

*دیود خروجی باید بتواند ولتاژی برابر جمع ولتاژ ذخیره‌شده روی خازن خروجی و خروجی ترانس را تحمل کند .

*در ورودی مدار یک فیلتر RCبه نام EMIقرار می‌دهند تا از ورود تشعشعات رادیویی به مدار جلوگیری کند و نویز مدار را کم کند .فرکانس قطع این فیلتر نباید از ۲ تا ۳ برابر فرکانس کار تغذیه بیشتر باشد .

*در خروجی مدار برای کاهش ریپل یک خازن high fereqancy یا low esr قرار می‌دهیم و یا اینکه چند خازن را باهم موازی قرار می‌دهیم .

*سویچ‌های قدرت هنگام سوختن اتصال کوتاه می‌شوند .

*سویچ کردن سریع جریان‌های عبوری ولتاژهای زیادی تولید می‌کند.برای اینکه تغییرات جریان به حداقل برسد باید طول lead ها را در pcb تا حد امکان کوتاه گرفت تا اندوکتانس ما کمتر شده و کمترین تغییرات جریان را داشته باشیم.

*خازن‌ها براثر طول عمر زیاد یا کم شدن دما ظرفیتشان کم شده وESR (مقاومت سری معادل) آن‌ها زیاد می‌گردد .بنابراین در دماهای پایین یک خازن تانتالیوم یا سرامیکی با آن‌ها موازی کرده تا پایداری آن‌ها را افزایش دهد.

*منابع سویچینگ می‌توانند خروجی با پلاریته مخالف تولید کنند یا بدون مسیر dc از ورودی به خروجی طراحی شوند.

*برای اینکه نویز خروجی توسط مسیر فیدبک وارد مدار نشود در حلقه فیدبک از ترانس برای ایزوله کردن و یا از auto copler استفاده می‌شود .(ترانس ایزوله سازی از ترانس‌های معمولی خیلی کوچک‌تر است).

*خروجی سویچر ها دارای نویزی در حد چند ده میلی ولت است .این ریپل ها روی منبع برق شهر نویز وارد کرده و باعث زوزه صوتی می‌گردد .برای رفع این مشکل در خروجی یک فیلتر پایین گذر

www.kahrobaonline.ir

Lcقرار می‌دهیم یا اینکه یک رگولاتور خطی با افت ولتاژ کم در خروجی قرار می‌دهیم.

*به خاطر جهت مخالف سرهای نقطه‌دار در ترانس جهت جریان در اولیه و ثانویه باهم متفاوت است بنابراین هنگامی‌که سویچر خاموش است در خروجی ولتاژ داریم و هنگامی‌که سویچر روشن است خروجی صفر است.

*برق شهر ۲۲۰ ولت متناوب بوده و پس از یکسو سازی به تقریباً ۳۰۸ ولت مستقیم تبدیل می‌گردد.

*در ماسفت ها ولتاژ درین-سورس بسته به شماره قطعه از حد معینی نباید تجاوز کند ضمناً اگر ولتاژ درین – سورس منفی گردد ماسفت خواهد سوخت . برای رفع این مشکل از حفاظت دیودی استفاده می‌کنیم .برای اینکه جریان القایی در ترانس سریع‌تر میرا شود (چون فرکانس کار مدار بالاست)

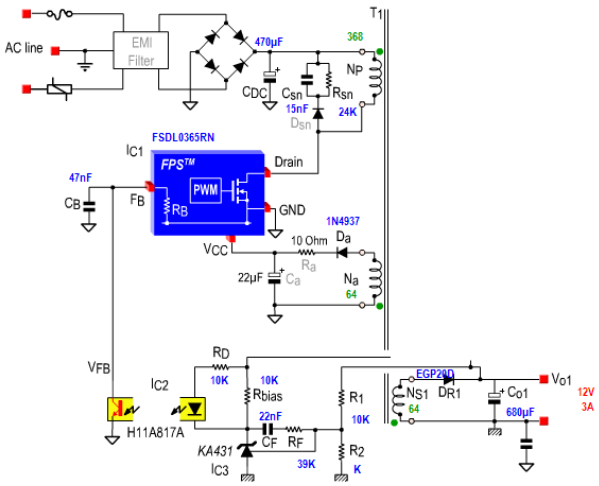
*بعد از دیود محافظت‌کننده یک مدار RC موازی قرار می‌دهیم .این مدار باعث می‌گردد جریان سریع‌تر میرا گردد .در بعضی مواقع به‌جای مدار RC از دیود زنر استفاده می‌کنند.

*چون ترانزیستور سویچ فقط در دو ناحیه قطع و اشباع کار می‌کند تلفات آن حداقل است.

*یک خازن به مقدار pF۲۰۰ تا nF۵۰ به‌موازات مقاومت بیس نصب می‌شود. این خازن سرعت‌دهنده ، که انباره نامیده می‌شود شارژ و دشارژ خازن بیس را سرعت می‌دهد.

۴-۳- طراحی با نرم‌افزار

معمولاً به خاطر پیچیدگی بسیار زیاد روابط در منابع سویچینگ شرکت‌های سازنده برای سویچر های ساخت خود نرم‌افزار یا کتابچه‌ای معرفی می‌کند که به‌صورت تجربی برای ولتاژها و جریان‌های موردنیاز مصرف‌کننده مقدار عددی المان‌های مدار را در اختیار می‌گذارد.در شکل زیر یک منبع ۱۲ ولت ۳ آمپر را که توسط نرم‌افزار مخصوص smps designed tool kit طراحی کرده‌ایم را مشاهده می‌کنید .



شکل۸ :مدار طراحی‌شده توسط نرم‌افزار

در تصویر زیر یک نمونه ساخته‌شده از این مدارات را نیز می‌توانید مشاهده کنید



شکل۹ :نمونه مدار سویچینگ ساخته‌شده

www.kahrobaonline.ir