منابع تغذیه خطی و سوئیچینگ

۱- مقدمه

مبدل‌های DC/DC، مدارهای الکترونیک قدرتی هستند که اغلب برای تولید خروجی تنظیم‌شده، یک سطح ولتاژ DC را به یک سطح ولتاژ DC متفاوت دیگر تبدیل می‌کنند. این مدارهای الکترونیکی، مبدل‌های DC/DC سوئیچ شونده، منابع تغذیه سوئیچینگ یا سوئیچر نامیده می‌شوند. در سامانه‌های الکترونیکی منابع تغذیه برای فراهم کردن ولتاژ DC از ولتاژ AC برق شهر به‌کاربرده می‌شوند. به‌طورکلی منابع تغذیه بر دو نوع هستند:

الف) منابع تغذیه خطی

ب) منابع تغذیه غیرخطی (سوئیچینگ)

پیشرفت سریع الکترونیک در سال‌های اخیر نیازمند توسعه متبحرانه این منابع جهت هر چه کمتر کردن وزن و افزایش هر چه بیشتر راندمان بوده است. این امر به‌گونه‌ای صورت پذیرفته است که چگالی نسبت توان به حجم، بدون کاهش چشمگیر کارایی همچنان در سطح بالایی قرار داشته باشد. به همین منظور در ادامه این بحث، آشنایی مختصری با منابع خطی حاصل می‌شود و با اشاره به معایب این دسته، سراغ منابع تغذیه سوئیچینگ خواهیم رفت. لازم به ذکر است، باوجود مزایایی که منابع تغذیه سوئیچینگ دارند، ولی از منابع تغذیه خطی به‌مراتب پیچیده‌تر هستند.

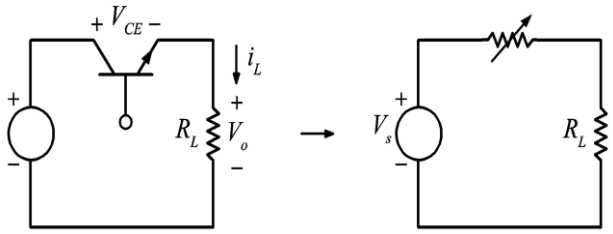
۲- تثبیت‌کننده‌های ولتاژ خطی

قبل از این‌که راجع به مبدل‌های سوئیچینگ بحث کنیم، لازم است گذری بر انگیزه پیدا کردن جانشین برای مبدل‌های DC/DC خطی داشته باشیم. یکی از راه‌های تبدیل ولتاژ DC به یک ولتاژ DC پایین‌تر، استفاده از منابع تغذیه خطی است. منابع تغذیه خطی منابعی هستند که عنصر کنترل آن‌ها در ناحیه فعال از عملکرد خود قرار دارد. این عنصر به‌صورت سری یا موازی با بار قرار می‌گیرد و با دریافت فیدبک از خروجی، میزان ولتاژ و جریان بار خروجی را تنظیم می‌کند؛ به‌گونه‌ای که ولتاژ خروجی در یک سطح از پیش تعیین‌شده ثابت باقی بماند. کاربرد کلی این منابع در جایی است که میزان انرژی و راندمان خیلی مهم نباشد. از منابع تغذیه خطی در بعضی کتاب‌ها از لغتی شبیه به کاربردهای زمین پایه استفاده شده است و معنای آن این است که در خیلی از کاربردها همانند برق شهر، محدودیت خاصی در انرژی ورودی آن وجود ندارد. در شکل ۱ که یک منبع تغذیه خطی نشان داده‌شده است، ولتاژ خروجی برابر است با:

$$V_o = I_L R_L$$

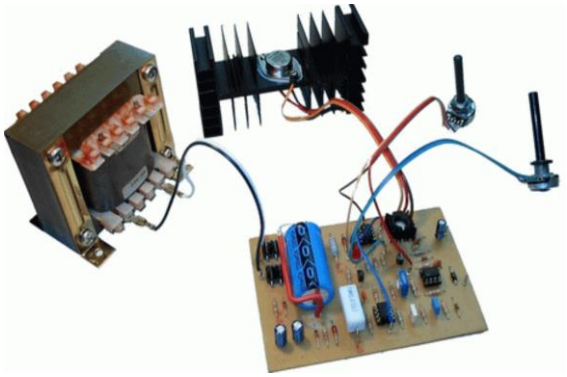
در این منبع تغذیه خطی، جریان بار توسط ترانزیستور کنترل می‌شود. با تنظیم جریان بیس ترانزیستور، ولتاژ خروجی می‌تواند در محدوده‌ای از صفر تا نزدیک V_S کنترل شود. جریان بیس می‌تواند به‌منظور جبران کردن تغییرات در منبع ولتاژ و یا بار تنظیم شود و درنتیجه خروجی را تنظیم نماید. از آن جهت این نوع از مدار را یک مبدل DC/DC خطی یا یک تثبیت‌کننده خطی نامیده گویند؛ زیرا ترانزیستور در ناحیهٔ خطی به‌جای نواحی اشباع و قطع فعالیت می‌کند. در این حالت، ترانزیستور در واقع به‌عنوان یک مقاومت متغیر فعالیت می‌نماید.

درحالی‌که این روش، یک‌راه ساده برای تبدیل ولتاژ منبع DC به یک ولتاژ DC پایین‌تر و تنظیم خروجی است، بازده پایین این مدار یک مشکل جدی برای کاربردهای قدرت است. با فرض جریان بیس کوچک، توان جذب‌شده توسط بار برابر $V_O \times I_L$ است و توان جذب‌شده توسط ترانزیستور $V_{CE} \times I_L$ است.



شکل ۱: یک تثبیت‌کننده خطی ابتدایی

اتلاف توان در ترانزیستور این مدار را ناکارآمد می‌کند. برای مثال، اگر خروجی ولتاژ یک چهارم ولتاژ ورودی باشد، مقاومت بار یک‌چهارم توان منبع را جذب می‌کند که برابر با بازده ٪۲۵ است. ترانزیستور بقیه ٪۷۵ توان تولیدشده به‌وسیله منبع را جذب می‌نماید. ولتاژهای پایین‌تر خروجی حتی سبب بازده پایین‌تر می‌شوند؛ بنابراین، تثبیت‌کننده ولتاژ خطی فقط برای کاربردهای توان پایین مناسب می‌باشند. همان‌طور که در شکل ۲ نمونه‌ای از منابع تغذیه خطی مشاهده می‌شود، استفاده از ترانسفورماتورهای ۶۰،۵۰ هرتز به جهت ایزولاسیون از برق شهر و همچنین تأمین ولتاژ موردنیاز مدارات الکترونیکی آن، یکی از ملزومات اصلی این منابع است. این ترانسفورماتورها در توان‌های بالا دارای ابعاد بسیار بزرگ و وزن قابل‌توجهی هستند که همین مورد، استفاده آن را به توان‌های پایین محدود می‌کند.



شکل ۲: یک منبع تغذیه خطی

به‌طور خلاصه، می‌توان مزایا و معایب تثبیت‌کننده‌های ولتاژ خطی را برشمرد:

مزایای منابع تغذیه خطی

۱- طراحی مدارات بسیار ساده صورت می‌گیرد.

۲- قابلیت تحمل بار زیاد را دارد.

۳- نویز ناچیزی تولید کرده و نویز پذیری بسیار اندکی دارد.

۴- در کاربردهای توان پایین ارزان‌تر است.

۵- زمان پاسخ‌دهی بالایی را دارد.

معایب منابع تغذیه خطی

۱- تلفات زیاد و بازدهی کمی دارد.

۲- به دلیل کم بودن بهره، توان تلفاتی در ترانزیستورهای خروجی زیاد است که درنتیجه نیاز به خنک‌کننده سیستم سرمایش تحت‌فشار است.

۳- تنها به‌صورت یک تثبیت‌کننده کاهنده قابل‌استفاده است و همواره ورودی باید ۲ تا ۳ ولت بیشتر از ورودی باشد.

۳- منابع تغذیه سوئیچینگ

نحوهٔ عملکرد منابع تغذیهٔ سوئیچینگ به این صورت است که ابتدا ولتاژ متناوب برق شهر مستقیماً یکسو و فیلتر می‌شود تا یک ولتاژ DC نسبتاً زیاد تولید شود. این ولتاژ به عنصر سوئیچینگ اعمال می‌شود تا موج مربعی فرکانس زیاد حاصله بعد از عبور از یک ترانس کاهنده و یک‌سوسازی ولتاژ DC موردنظر را تولید کند. بدیهی است که با کنترل زمان قطع و وصل می‌توان دامنهٔ ولتاژ خروجی را بر روی یک مقدار مشخص تثبیت کرد. این عمل توسط واحد فیدبک و کنترل که در شکل ۳ نمایش داده‌شده انجام می‌پذیرد.



شکل ۳: نمونه‌ای از منابع تغذیه سوئیچینگ

ازجمله مزایا و معایب منابع تغذیه سوئیچینگ می‌توان موارد زیر را برشمرد:

مزایای منابع تغذیه سوئیچینگ

۱- وزن و حجم کمتری نسبت به منابع تغذیه خطی دارد.

۲- راندمان بالایی (۶۸٪ تا ۹۰٪) دارد.

۳- مقدار بیشتری سطح ولتاژ در خروجی را دارد.

۴- به دلیل افزایش فرکانس کاری اجزای ذخیره کننده انرژی می‌توانند کوچک‌تر و درعین‌حال با کارایی بیشتری عمل کنند.

۵- در توان‌های بالا استفاده می‌شود.

۶- با استفاده از قابلیت‌های مدارات مجتمع، امکان کنترل آسان خروجی وجود دارد.

معایب منابع تغذیه سوئیچینگ

تمام مواردی که به‌عنوان مزیت در منابع تغذیه خطی ذکر شد به‌عنوان معایب منابع تغذیه سوئیچینگ نیز به شمار می‌رود. علاوه بر آن به موارد زیر اشاره می‌شود:

۱- نیاز به فیلتر کردن خروجی و حذف نویزهای تولیدی دارد.

۲- در بعضی موارد، امکان ناپایداری ولتاژ وجود دارد.

۳- حساسیت زیادی به امواج محیط دارد؛ به‌گونه‌ای که بعضاً در برابر دیش‌های مخابراتی اصلاً عمل نمی‌کند.

گردآورنده: محمد جهانی
کارشناس ارشد برق - قدرت