مدارات سوئیچینگ

کلیه مدارات الکترونیکی نیاز به منبع تغذیه دارند. برای مدارات با کاربرد کم قدرت از باطری یا سلولهای خورشیدی استفاده می شود. منبع تغذیه به عنوان منبع انرژی دهنده به مدار مورد استفاده قرار می گیرد.
حدود ۲۰ سال است که سیستمهای پر قدرت جای خود را حتی در مصارف خانگی هم باز کرده اند و این به دلیل معرفی سیستمهای جدید برای تغذیه مدارات قدرت است.

این منابع تغذیه کاملاً خطی عمل می نمایند. این نوع منابع را منابع تغذیه سوئیچینگ می نامند. این اسم از نوع عملکرد این سیستمها گرفته شده است. به این منابع تغذیه اختصاراً SMPS نیز می گویند. این حروف بر گرفته شده از نام لاتین Switched Mode Power Supplies است.
راندمان SMPS بصورت نوعی بین ۸۰% الی ۹۰% است که ۳۰% تا ۴۰% آنها در نواحی خطی کار می کنند. خنک کننده های بزرگ که منابع تغذیه رگوله قدیمی از آنها استفاده می کردند، درSMPSها دیگر به چشم نمی خورند و این باعث شده که از این منابع تغذیه بتوان در توانهای خیلی بالا نیز استفاده کرد.

در فرکانسهای بالای کلیدزنی از یک ترانزیستور جهت کنترل سطح ولتاژ DC استفاده می شود. با بالا رفتن فرکانس ترانزیستور، دیگر خطی عمل نمی کند و نویز مخابراتی شدیدی را با توان بالا تولید می نماید. به همین سبب در فرکانس کلید زنی بالا از المان کم مصرف Power MOSFET استفاده می شود. اما با بالا رفتن قدرت، تلفات آن نیز زیاد می شود. المان جدیدی به بازار آمده که تمامی مزایای دو قطعهٔ فوق را در خود جمع آوری نموده است و دیگر معایب BJT و Power MOSFET را ندارد. این قطعهٔ جدید IGBT نام دارد. در طی سالهای اخیر به دلیل ارزانی و مزایای این قطعه از IGBT استفادهٔ زیادی شده است.
امروزه مداراتی که طراحی می شوند، در رنج فرکانسی MHZ و قدرتهای در حد MVA و با قیمت خیلی کمتر از انواع قدیمی خود می باشند.
فروشنده های اروپائی در سال ۱۹۹۰ میلادی تا حد ۲ میلیارد دلار از فروش این SMPSها درآمد خالص کسب نمودند. ۸۰% از SMPSهای فروخته شده در اروپا طراحی شدند و توسط کارخانه های اروپائی ساخت آنها صورت پذیرفت. درآمد فوق العاده بالای فروش این SMPSها در سال ۱۹۹۰ باعث گردیدکه شاخهٔ جدیدی در مهندسی برق ایجاد شود، این رشته مهندسی طراحی منابع تغذیه سوئیچینگ نام گرفت.
یک مهندس طراح منابع تغذیه سوئیچینگ بایستی که در کلیه شاخه های زیر تجربه و مهارت کافی کسب کند و همیشه اطلاعات بروز شده در موارد زیر داشته باشد:
۱- طراحی مدارات سوئیچینگ الکترونیک قدرت.
۲- طراحی قطعات مختلف الکترونیک قدرت.
۳- فهم عمیقی از نظریه های کنترلی و کاربرد آنها در SMPSها داشته باشد.
۴- اصول طراحی را با در نظر گرفتن سازگاری میدانهای الکترومغناطیسی منابع تغذیه سوئیچینگ با محیط انجام دهد.
۵- درک صحیح از دفع حرارت درونی (انتقال حرارت به محیط) و طراحی مدارات خنک کنندهٔ مؤثر با راندمان زیاد.
و ...

دراین کتاب نیز سعی بر این است که طبق اصول نوین مهندسی طراحی منابع تغذیه سوئیچینگ کلیه اطلاعات مورد نیاز در اختیار خواننده قرار گیرد.

۱,۲ . تعاریف عمومی در SMPSها

هر سیستم طراحی شده به طور طبیعی وابسته به منبع تغذیهٔ خود می باشد. یعنی اولین پارامتر در طراحی مدار نوع منبع تغذیه و مقادیر وابسته به آن است. یکی از مباحث مهم در طراحی SMPS ها، سنگین وزن بودن و گرانی آن است، که کلیه اینها در یک منبع تغذیه از نوع SMPS به صورت دستگاه ارزان قیمت، سبک و کوچک تعریف خواهد شد.

وقتی که طراح سیستم شروع طراحی می کند، اولین تعریفی را که در نظر خود مجسم می کند، مقدار ولتاژ و جریان ماکزیمم در SMPS است. بنابراین نسبت ولتاژ و جریان تعیین کننده انتخاب قطعات مورد نیاز برای طراحی است.

مقدار ولتاژ خروجی:

عموماً در بیشتر مدارات منطقی ولتاژ ۷۵ مورد نیاز می باشد، اما در بعضی موارد نیاز به ۷۵– هم می باشد. در کامپیوترها برای ایجاد گشتاور در موتورهای متنوع به کار رفته در درایوهای مختلف مانند موتورهای , CPU FAN ,CD ROM, F.D.D H.D.D و ... نیاز به ولتاژهای +۱۲۷۱۲–, ۷ می باشد. در مصارف کنترل صنعتی جهت اعمال فرمان تحریک قطع و وصل در شیرهای برقی و رله های کنتاکتوری از طریق پورتهای PLC ولتاژ اعمالی به سیستمهای تحت کنترل دارای سطوح ولتاژی +۲۴ v ۲۴۷–, است. در اتومبیلهای برقی، ترکشن و HVDC به سطح ولتاژ بالاتری احتیاج است.

مقدار جریان:

در هر خروجی می بایست ماکزیمم جریان مصرفی در حالت پایداری مشخص شود. هر سیستم الکتریکی در روی بدنه خود پلاکی دارد که در آن تمام مقادیر نامی و مجاز مورد نیاز دستگاه از طرف کارخانه سازنده باتوجه به مشخصات طراحی و تستهای متعددی که بر روی دستگاه انجام شده است، مشخص می باشد. برای مثال در دیسک درایوها مقدار جریان راه اندازی و حالت پایداری مشخص می باشد و طراح منبع تغذیه بایستی حد مجاز جریان خروجی را بالاتر از جریان راه اندازی و حالت پایداری تعیین نماید. حتی در بعضی از مواقع سازنده دیاگرامهایی را همراه با دستگاه قرار می دهد که کمک بیشتری به طراح می کند.

ولتاژ ورودی:

ولتاژ ورودی می تواند از نوع AC یا DC و با رنج تغییرات مشخصی باشد. طراح حتماً باید به نوع ورودی و عملیاتی که می باید روی آن انجام دهد تا خروجی مطلوبی بدست آورد را همواره در نظر بگیرد. معمولاً فرکانس، دامنه و شکل موج ولتاژ ورودی در طراحی خیلی مهم است. همچنین نوع شبکه ای که تغذیه ورودی را بر عهده دارد مهم است. معمولاً در محیطهای صنعتی مانند کارخانجاتی که شبکه در شرایط سخت جهت تامین انرژی قوص الکتریکی و ... کار می کند شکل موج ولتاژ و جریان ورودی غیر قابل پیش بینی است و باید با استفاده از سیستمهای جبرانساز شکل موجهای شبکه را تا حد قابل قبولی اصلاح کرد.

ایزولاسیون:

در بسیاری از کاربردها ایزولاسیون الکتریکی بین ورودی ها و خروجی های مدارات احتیاج می باشد، وحتی در بسیاری از موارد ایزولاسیون بین خروجی دستگاه با ورودی دستگاه دیگر نیز مورد نیاز است و طراح ملزم به اندیشیدن تدابیری خاص جهت برآورده سازی این امر می باشد.

ایزولاسیون الکتریکی اغلب توسط ترانسفورماتور در منابع تغذیه ایجاد می شود که استفاده از ترانسفورماتور باعث حجیم شدن منبع تغذیه می شود. در مصارفی که نیاز به حجم کوچک می باشد، مانند ماهواره ها، کامپیوترها، شارژرهای باطری

موبایل و تلفن و همچنین در منبع تغذیه مورد استفاده در پرینترها و دستگاه های کوچک که اجبار در کوچک ساختن آنها می باشد نظیر دوربینهای عکاسی دیجیتالی و دوربینهای فیلم برداری و لوازم نظامی استراق سمع و جاسوسی و بمبها و موشکهای دوربرد ناچاراً باید از ایزولاسیون به وسیله ترانسفورماتور چشمپوشی کرد و به فکر چارهٔ دیگری برای تحقق بخشیدن به این امر بود یا اینکه توسط مدارات فیدبک عمل تثبیت خروجی را در صورت وجود تغییر یا اغتشاش در ورودی را انجام داد تا از مدارات در مقابل صدمه دیدن و معیوب شدن حفاظت شود و یا اینکه بایست از ایزولاسیون تا حدودی یا کلاً صرف نظر نمود.

ریپل در خروجی:

طبیعتاً مقداری نوسان در خروجی DC منابع تغذیه وجود دارد. به مقدار دامنه پیک تا پیک این نوسانات ریپل می گویند. هر خروجی که دارای ریپل باشد، حتماً دارای تعدادی هارمونیک بغیر از فرکانس صفر هرتز است. به همین خاطر اغلب مقدار خروجی را به جای معرفی با مقدار DC آنرا با مقدارrms نشان می دهند. هر چه مقدار نسبت ثابت ریپل به مقدار DC کوچکتر باشد بهتر است. این نسبتِ در صدیِ ریپل را می توان با استفاده از فیلتر پایین گذر متشکل از سلف و خازن و یا افزایش فرکانس ورودی و کلیدزنی با سرعت زیاد تا حد قابل ملاحظه ای کاهش داد.

رگولاسیون:

ولتاژ خروجی در یک منبع تغذیه متأثر از عواملی می باشد که این عوامل عبارتند از:

الف) تغییرات در ولتاژ ورودی.

ب) تغییرات در جریان بار.

ج) تغییرات در درجه حرارت محیط.

یک منبع تغذیهٔ رگوله معمولاً دارای مدارات فیدبک برای جبران این تغییرات و اصلاح آنها و محدود کردن این تغییرات در ناحیهٔ قابل قبولی می باشد. این فیدبک ها ممکن است عمل رگولاسیون را به صور (۱)رگولاسیون خط، (۲)رگولاسیون بار، (۳)رگولاسیون حرارتی، انجام دهد.

پاسخ حالت گذرایی:

پاسخ به تغییرات ناگهانی و گذرای جریان بار یکی از پارامترهای مهم در هر منبع تغذیه ای است. در حالت بار کامل در صورتی که جریان بطور وصل شدن ناگهانی کلید در بار جاری شود، حتی در صورتی که بار متصل به ترمینال خروجی جریان کمی را از منبع تغذیه دریافت کند، ولتاژ خروجی ناگهان می افتد و از ولتاژ حالت بی باری کمتر می شود و سپس توسط رگولاسیون به یک حد پایدار خواهد رسید. از طرف دیگر در حالتی که منبع تغذیه با بار کامل در حالت پایدار به سر می برد اگر ناگهان بار توسط کلید قطع شود، آنگاه ناگهان ولتاژ خروجی صعود می کند، و ازحالت قبلی خود فراتر می رود و سپس با چندین نوسان به حالت پایدار بدون بار خواهد رسید. در این حالت ممکن است که قطعاتی که در بلوکهای خروجی منبع تغذیه هستند این سطح تغییرات را تحمل نکنند و از بین بروند. در بعضی از موارد دربعضی از سیستمها ممکن است که خروجی به حالت پایدار نرسد و نوسانی یاحتی ناپایدار شود. از آنجا که در خروجی اغلب منابع تغذیه فیلتر های صافی برای کاهش ریپل ولتاژ و جریان می باشند که این فیلترها دارای ظرفیتهای خازنی بزرگی هستند. با ناپایدار شدن ولتاژ امکان انفجار در خازن وجود دارد.

از سوی دیگر زمان بازیابی یا Recovery Time زمان لازم برای بازگشت به حالت پایدار طبیعی می باشد، که بایستی تاحد ممکن این زمان کوچک باشد. پس باید توسط روشهای رگولاسیون خاص ولتاژ خروجی را محدود کرد و سعی نمود که در کمترین زمان ممکن و با کمترین نوسان و Over Shoot به حد پایداری خود برسد. زمان پاسخ گذرایی در منابع تغذیه و بخصوص در منابع تغذیه سوئیچینگ با روشهای مختلفی که سازندگان SMPS از آن استفاده می کنند نظیرحلقه های فیدبک و جبران ساز و قرار دادن فیلترهای مخصوص در طبقات مختلف منبع تغذیه که در قسمتهای بعدی به آن اشاره می شود، خیلی کوتاه خواهد شد.

راندمان:

یک منبع تغذیه بدون بازدهی مطلوب دو خاصیت زیر را دارا می باشد:

۱- انرژی محدود: از این قبیل منابع می توان به باطری اشاره کرد که با مصرف مستمر انرژی اولیه خود را رفته رفته از دست می دهد و توان خروجی آن به سمت صفر میل می نماید.

۲- حجم زیاد و نیاز داشتن به هیت سینکها بزرگ: از این منابع تغذیه می توان منابع تغذیه با ترانسفورماتور را نام برد که انرژی زیادی صرف خنک سازی و تلفات حرارتی آن می شود.

حفاظت:

همهٔ منابع تغذیه با روشهای خاصی در برابر شرایط ناخواسته محافظت می شوند که حفاظت های مشترک بین کلیه منابع تغذیه عبارتند از:

۱- حفاظت در برابر اضافه ولتاژ: از مهمترین حفاظتها، محافظت بار و منبع تغذیه در مقابل اضافه ولتاژ است. ساده ترین نوع کنترل ولتاژ در چنین مواقعی خاموش شدن منبع تغذیه بصورت اتوماتیک است. این مدل از کنترل کننده ها در زمانهای ابتدائی حالت گذرا عمل می کند. عموماً ممکن است از یک میله تریستوری برای این منظور استفاده شود. در زمانی که تریستور قابلیت روشن شدن را دارد، درصورتی که سنسور قرار داده شده در خروجی احساس کند که ولتاژ از حد مجاز بالاتر رفته است بلافاصله آتش شده و ورودی و خروجی منبع تغذیه را با هم قطع می کند. در روشهای دیگر با اتصال کوتاه کردن خروجی، یک جریان اتصال کوتاه از مدار می گذرد و محدود کننده های جریان در این زمان عمل کرده و با استمرار یافتن این عمل می توان خروجی منبع تغذیه را تا حد مجاز قابل قبولی کاهش داد و در برابر اضافه ولتاژ از سیستمها محافظت کرد.

۲- حفاظت در برابر اضافه جریان: بسیاری از منابع تغذیه دارای انواع مختلف محدود کننده های جریان هستند. بنابراین اگر جریان بار از سطح مجاز بالاتر رود، در نتیجه ولتاژ خروجی کاهش یافته و طبق قانون اهم جریان در سطح مجاز و قابل اطمینانی محدود می شود.

۳- حفاظت در برابر اتصال کوتاه: روش حفاظت در مقابل اضافه جریان امکان محافظت در برابر اتصال کوتاه را می تواند فراهم نماید، ولی این شرط کافی برای حفاظت منبع تغذیه در برابر جریان اتصال کوتاه نمی باشد. چون اتصال کوتاه اغلب در حالت ماندگار اتفاق می افتد و به راحتی بر طرف نخواهد شذ. به همین خاطر با استمرار این شرایط و تلفات حرارتی زیاد امکان آتش سوزی زیاد است. برای جلوگیری از چنین اتفاق ناخوش آیندی باید از مدار شکن استفاده کرد تا بلافاصله مدار را خاموش کند. و تا وقتی که اتصال کوتاه در ترمینالهای منبع تغذیه از بین نرفته است، امکان روشن کردن منبع تغذیه وجود نداشته باشد.

۴- حفاظت در مقابل جریان تهاجمی: SMPSها عموماً دارای خازنهای بزرگ جهت نرم کردن ولتاژ DC و جلوگیری ریپل ولتاژ در نزدیک ورودی هستند، که باعث می شود جریان بزرگی در لحظه روشن کردن سوئیچ ها در مدار جاری گردد. بسیاری از SMPSها دارای محدود ساز جریان برای کاهش دادن جریان هجومی می باشند.

تداخل الکترومغناطیسی:

مسأله تداخل الکترومغناطیسی یا EMI در سیستمهای خطی در طیف فرکانسی کوچکتر از KHZ۲۰ در منابع تغذیه سوئیچینگ قابل چشم پوشی می باشد. اما با بالا رفتن فرکانس، هارمونیکهای با فرکانس بیشتر از فرکانس اصلی، ایجاد تداخل در باندهای رادیویی و مخابراتی می کنند. از آنجایی که منابع تغذیهٔ سوئیچینگ امروزه در توانهای بالا هم کاربرد های وسیع پیدا کرده اند، این گونه از منابع تغذیه سوئیچینگ به عنوان یک منبع تولید نویز شدید و قوی برای مدارات مخابراتی شناخته می شوند. بنابراین با فیلتر کردن ورودی و خروجی، میزان اثر تداخل الکترومغناطیسی را تا حد امکان باید کاهش داد.

زمان Hold Up:

این زمان در SMPSها خیلی مهم است و بایستی که با ایجاد اشکال در خروجی بتوان بلافاصله ورودی منبع تغذیه را قطع کرد. این زمان عموماً بر طبق استاندارد، حدود یک یا دو سیکل با فرکانس HZ۵۰ یعنی زمانی بین ۲۰ الی ۴۰ میلی ثانیه می باشد.

رنج حرارتی:

یک نکته قابل توجه در مورد منابع تغذیه سوئیچینگ، خصوصاً منابع تغذیهٔ سوئیچینگی که در داخل محفظه نگاهداری می شوند، مسألهٔ بالا رفتن سریع حرارت در داخل CASE یا محفظه است. این حرارت ممکن است که حتی از دمای بیرون جعبه هم بیشتر باشد و قطعات منبع تغذیه از این حرارت خیلی تأثیر پذیر هستند. بنابراین باید رنج حرارتی که بدلیل مصرف توان در داخل جعبه تغییر می کند را مدِ نظر قرار داد و با طراحی مناسب پایداری حرارتی را در منبع تغذیه سوئیچینگ بخوبی حفظ نمود.

ابعاد:

حجم فیزیکی و پهنای یک منبع تغذیه طبق ضرایب خاصی محدود می شود. با دانستن مشخصات کاری منابع تغذیه سوئیچینگ می توان مقدار حجم یک منبع تغذیهٔ سوئیچینگ را براحتی محاسبه کرد. عموماً SMPS هایی که با فرکانس کلیدزنی بالاتر از فرکانس صوتی دارای حجم کوچکی هستند، چرا که کلیدهایی که در این رنج کار می کنند دارای تحمل توان کمی هستند. با توجه به مسألهٔ EMI نمی توان سرعت کلیدزنی را خیلی افزایش داد. چون باعث تولید نویز مخابراتی مخربی خواهد شد. پس می توان نتیجه گرفت که حجم و اندازه یک SMPS نسبت عکس با فرکانس کلیدزنی و نسبت مستقیم با توان منبع تغذیه دارد.

انواع استانداردهای معتبر در SMPSها:

بسیاری از کشورهای سازنده منابع تغذیه سوئیچینگ دارای معیارهای تقریباً ثابت و مشابه در رابطه با SMPSها می باشند. برای مثال در اروپا یکی ازسازندگان مهم آلمان که خود یکی از مهمترین پایه گذاران SMPSاست یعنی Verbakd Deutscher Electroniker (VDE)است که بسیاری از تستهای بین المللی را دارا می باشد.

یکی از مسائل مهم منبع تغذیه تثبیت و کنترل روی اشکال متفاوت EMIاست. که استاندارد (VDE)معیارهایی برای حل این مشکل دارد. این معیارها نسبتاً با استانداردهای مشابه آمریکایی تطابق دارند.

تستهای استاندارد قابل اطمینان معتبر دیگر در مورد منابع تغذیه سوئیچینگ موجود است که عبارتند از Underwriters Laboratory (UL)که این تستها در ایالات متحده امریکا انجام می شود. استاندارد دیگری که در کانادا بر روی منابع تغذیه سوئیچینگ اعمال می شود، Canadian Standard Association (CSA)است.

نکته قابل توجه در مورد (UL)و (CSA)این تستها اغلب در مورد محصولات الکتریکی که در امریکا و کانادا بکار برده می شوند تصویب شده است، وحتماً این تستها باید در مورد این اقلام انجام شود و در مورد محصولاتی که به سایر نقاط جهان صادر می شوند انجام نمی شود.

استاندارد International Electro technical Commission (IEC)، استاندارد دیگری است که حتماً یک منبع تغذیه سوئیچینگ باید از تستهای آن سر بلند بیرون آمده باشد. به عنوان مثال IEC۳۸۰برای اعطاء مجوز به یک محصول که ۳۷۵۰۷متناوب را بین ورودی و خروجی مدار اعمال می کند. باید مدارات اولیه و ثانویه فاصله ۸ mmو عایق بین فلزات و سایر اجزاء مدار با ضخامت ۳ mmرا باید رعایت کرده باشند. این تست قویتر از انواع مشابه در استانداردهای آمریکایی است.

تست تداخل الکترومغناطیسی در استانداردهای IEC۴۷۸ part ۳و همچنین در آلمان طبق VDE۰۸۷۱و در بریتانیا BS۸۰۰ مصوب ۱۹۸۳میلادی و ... دارای قوانین و معیارهای مشخصی می باشد. حتماً در منابع تغذیه سوئیچینگ و هر نوع محصول الکتریکی دیگر بایست به این استانداردها توجه نمود.

اقتصادی بودن:

مهمترین مسأله برای تولید کننده و مصرف کننده هر کالایی بحث اقتصادی و مقرون بصرفه بودن آن است. یک طراح باید به قیمت تمام شده کالا توجه ویژه داشته باشد .طبیعتاً هر چه کارایی یک سیستم بالا رود قیمت آن هم گرانتر خواهد شد.

انرژی:

مصرف انرژی منابع تغذیه سوئیچینگ را توسط مدارات هوشمند میکروپروسسوری می توان تا حد ممکن کاهش داد. برنامه ای که امروزه طراحان آنرا پیش گرفته اند، تدوین قوانین خاص برای تحقق بخشیدن به این مهم است. از این قبیل قوانین می توان به برچسب ستاره انرژی امریکا service mark of the U.S. EPAاشاره کرد.

با خاموش کردن منابع تغذیه سوئیچینگ به صورت Stand byمی تواند از تلفات انرژی ناشی از کلیدزنی و ... درمواقعی که بار به ترمینال منبع تغذیه متصل نمی باشد، تا حد چشمگیری جلوگیری کرد و همچنین داغ شدن منبع تغذیه را در زمان بی باری کاهش داد.