



اهمیت درایوهای الکتریکی و منابع تغذیه سوئیچینگ در صنایع دریایی و معرفی روشهای جدید جهت کاهش نویز ایجادشده توسط آنها

فریدون سقایی^۱

پژوهشکده زیرسطحی تلفن ۰۳۱۲۵۲۲۲۰۱۰

Saghaee@Myway.com

چکیده

در این مقاله ابتدا به اهمیت منابع تغذیه سوئیچینگ اشاره می شود. و چون روش عملکرد آنها بر اساس کلید زنی بر روی ولتاژ و جریان است از اینرو از منابع مهم و قوی، برای ایجاد و انتشار امواج الکترو مغناطیسی بحساب می آیند لذا به اختصار چند روش جدید جهت کاهش طیف EMI^2 ارائه می گردد بدیهی است نتایج بدست آمده در سایر شاخه های علوم نیز قابل تعمیم است .

کلمات کلیدی: منابع سوئیچینگ، تداخل امواج الکترومغناطیسی، کاهش طیف EMI

مقدمه

در عصر حاضر به ندرت می توان سیستمی را پیدا نمود که از انرژی الکتریکی استفاده نماید ولی در آن به نوعی از روش سوئیچینگ جهت ایجاد تغذیه و یا سایر امور استفاده نشده باشد. و علت آن راندمان بالا، تلف انرژی اندک و چگالی بالای انرژی به وزن و حجم آنها است. این سیستمها علیرغم مزایای فراوانی که دارند به علت کلید زنی سریع در ولتاژ و جریان بالا باعث انتشار نویز الکترومغناطیسی و یا اصطلاحاً EMI می گردند.

EMI بر عملکرد مناسب دستگاه و یا سایر سیستمهای الکتریکی که در نزدیکی آن قرار دارد اثر نامطلوب می گذارد و در صورتی که نویز از حدی بیشتر باشد مانع از کارکرد آنها می شود و در این شرایط لازم است سیستم مولد نویز، اجازه ورود به بازار را پیدا نکند. در ادامه روشهایی جهت کاهش سطح نویز معرفی می گردد.

^۱ - عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر

^۲ - Electromagnetic Interferencel



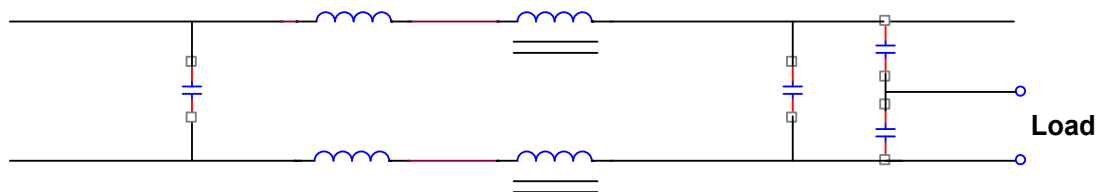
تداخل امواج الکترومغناطیسی

تجهیزات و مدارات الکترونیک قدرت و مبدل‌های سوئیچینگ بعلاوه کلیدزنی سریع و ناگهانی ولتاژ و جریان، عامل ایجاد تداخل امواج الکترومغناطیس (EMI) با سایر دستگاه‌ها و حتی خود می‌باشند. EMI به دو صورت هدایتی و تشعشعی انتقال می‌یابد نویز هدایتی تولید شده توسط مبدل‌های سوئیچینگ به سیم‌های تغذیه منتقل می‌شوند در چنین حالتی اثر نویز هدایتی چند برابر بیشتر از نویز تشعشعی شده از مبدل است استفاده از کابینت فلزی برای کاتورتورها موجب کاهش نویز تشعشعی می‌شود. نویز هدایتی خود به دو مد مشترک و تفاضلی تقسیم می‌شود. نویز مد تفاضلی، ولتاژ و یا جریانی است که بین خطوط تغذیه سیستم اندازه‌گیری می‌شود. نویز مد مشترک عبارت است از ولتاژ یا جریانی که بین خطوط تغذیه و زمین اندازه‌گیری می‌شود. معمولاً هر دو نوع مد نویز در خطوط ورودی و خروجی سیستم وجود خواهند داشت و طراحی فیلترهای ورودی و خروجی بایستی با توجه به آنها صورت پذیرد. معمولاً شکل موج‌های سوئیچینگ شبیه منحنی قطار پالس است. به علت زمان‌های بسیار سریع صعود و نزول این منحنی‌ها، انرژی قابل توجهی (چندین برابر انرژی مولفه اصلی) در فرکانس هارمونیک‌ها وجود دارد. انتقال مد تفاضلی نویز از طریق خطوط تغذیه و از سمت منبع DC بطرف بار است. وجود خازن‌های پارازیتی بین المانها و کویلاژ مغناطیسی در انتقال نویز تفاضلی موثر است. انتقال مد مشترک از طریق خازن‌های پارازیتی و میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بین المانها و خط زمین صورت می‌پذیرد. به جهت ایمنی اکثر سیستم‌های الکترونیک قدرت دارای کابینت زمین شده هستند و این امر باعث کویپینگ بیشتر نویز بین المانها و زمین شده و انتشار EMI را قویتر می‌سازد. برای حداکثر مقدار EMI هدایتی مجاز، استانداردهای مختلفی مانند استاندارد نظامی، CISRR, IEC, VDE, FCC وجود دارد. برای اندازه‌گیری EMI هدایتی از دستگاهی بنام LISN (Line Impedance stabilizing network) استفاده می‌شود بطور مشابه برای حداکثر EMI تشعشعی مجاز نیز استانداردهایی وجود دارد. بهترین و مناسبترین راه برای مقابله EMI، جلوگیری از تولید آن در منبع است. معمولاً دستگاههایی که تولید EMI اندک می‌نمایند در مقابل نویز خود مصون هستند و قابلیت اعتماد بالاتری دارند.

برای کاهش میدان مغناطیسی بایستی سطوح محصور شده توسط حلقه‌های جریان به حداقل برسد این امر باعث کاهش سلف‌های پارازیتی، شار و EMI می‌شود برای این منظور بایستی هر هادی حامل جریان در نزدیکترین وضعیت نسبت به سیم برگشت جریان قرار بگیرد یکی از این راه‌ها استفاده از نوارهای مسی (که در دو طرف یک عایق نازک قرار گرفته‌اند) جهت ایجاد اتصالات است.

همچنین می‌توان سیم‌های رابط را به دور هم پیچید و میدان خارجی را به حداقل رساند برای کاهش خازن‌های پارازیتی بایستی سطوح فلزی در مسیر پتانسیل‌های سوئیچینگ به حداقل برسد و حتی الامکان از زمین دستگاه فاصله داشته باشد. همچنین برای کاهش نویز هدایتی می‌توان از فیلترهای مناسب EMI (مطابق شکل) استفاده نمود. استفاده از کابینت فلزی موجب کاهش EMI تشعشعی خواهد

شد. [۱][۲][۳]



$\frac{di}{dt}$ یکی از روشهای موثر در کاهش EMI طراحی مناسب مدارهای اسنابر است (مدارهای اسنابر $\frac{dv}{dt}$ را کاهش می دهند) برای این منظور بایستی اتصال مدارهای اسنابر مستقیماً و با حداقل طول سیم صورت پذیرد [۴]. با طراحی مناسب سیم بندی و شیلد کردن می توان دامنه نویز کوپلاژ را کاهش داد. مطالب ذکر شده جهت کاهش EMI بر پایه سه محور حذف منبع نویز، ایزولاسیون و جلوگیری از مسیر کوپلاژ نویز استفاده از فیلتر و شیلد کردن استوار است علاوه بر این روشها می توان از تکنیکهای دیگر سوئیچینگ مانند مبدل‌های رزونانسی استفاده نمود. در بین این مبدلها، مبدل PWM-ZCS از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. طیف مداری PWM-ZCS نسبت به PWM معمولی گسترده است لیکن در فرکانس سوئیچینگ اصلی، این مؤلفه‌ها دارای دامنه کمتری هستند بنابراین در صورت استفاده از فیلتر در خروجی، مدار PWM-ZCS نسبت به PWM معمولی ارجح است نکته قابل توجه در مدار PWM-ZCS آن است که با افزایش جریان بار مؤلفه‌های هارمونی در فرکانس اصلی سوئیچینگ بیشتر کاهش می یابد حال آنکه در مدار PWM معمولی، با افزایش جریان بار طیف فرکانسی عوض نمی شود. جهت آشنایی بیشتر به روش ارائه شده توسط اینجانب در مرجع [۵] مراجعه شود. استفاده از این روشها اگرچه باعث کاهش EMI می شوند لیکن به علت پاره‌ای از مسائل و معایب قابل استفاده در همه کاربردها نیستند.

در ادامه روشهای جدیدی جهت کاهش EMI معرفی می گردد. در اولین روش نشان داده میشود که اگر بجای یک پالس در هر پریود، چند پالس داشته باشیم بطوریکه ضریب وظیفه تغییر نکند، آنگاه EMI کاهش می یابد در روش بعدی نشان داده می شود که اگر پالسهای PWM را از مقایسه موج مثلثی با مجموع مقدار ثابت DC و منحنی سینوسی بدست می آوریم EMI کاهش می یابد و در روش آخر نشان داده می شود. با استفاده از مدولاسیون فرکانس، مؤلفه‌های EMI بشدت کاهش می یابد لیکن طیف آن گسترده می شود ولی از آنجائیکه محیط دریا باعث تضعیف شدید فرکانسهای بالا می شود لذا افزایش طیف فرکانس مسئله‌ای ایجاد نخواهد کرد.

افزایش تعداد پالسها بر شدت EMI

همانگونه که در مرجع [۶] نشان داده شده است در اینورترها با افزایش تعداد پالسها در موج PWM، هارمونیهای شکل موج خروجی کمتر شده و خروجی اینوتر به شکل موج سینوسی نزدیکتر می شود ایده‌ای که از این بحث گرفته شد آن است که اگر در مبدل‌های DC به DC ضمن ثابت نگهداشتن زمان روشن بودن پالس (ton) به زمان خاموش بودن (toff) و به عبارت دیگر ثابت نگهداشتن ضریب وظیفه (Duty cycle)، تعداد پالسهای زمان روشن بودن را افزایش دهیم، آنگاه EMI کاهش می یابد. این ایده شبیه‌سازی گردید و مشاهده گردید در اینجا نیز مشابه اینوترها، دامنه هارمونیها کاهش مییابد



بطور نمونه مقایسه فرکانسی شکل موج پالس PWM به ازای ضریب وظیفه $\frac{1}{4}$ در دو حالت یک پالس در هر پریود و دو پالس در هر پریود، مبین کاهش دامنه مؤلفه هارمونی اول به میزان ۲۵٪ است.

اثر مدولاسیون دامنه بر طیف PWM

معمولاً پالس PWM از تقاطع یک ولتاژ ثابت (DC) با موج مثلثی بدست می آید حال اگر بجای ولتاژ ثابت DC، مجموع آن و یک منحنی سینوسی قرار دهیم و این مجموع را با منحنی مثلثی مقایسه کنیم آنگاه مانند حالت PWM معمولی، عرض پالسها ثابت نخواهد بود و تغییر می کند (Duty cycle ثابت نخواهد بود) لیکن بدلیل آنکه متوسط منحنی سینوسی صفر است بنابراین متوسط موج PWM بدست آمده در اینجانب با حالت قبل تغییری نخواهد داشت. بررسی طیف فرکانس PWM در دو حالت نشان می دهد که در حالت اخیر طیف حاصل دارای تعداد مؤلفه بیشتر ولی دامنه کمتر خواهد بود بررسی های عملی با روش شبیه سازی نشان می دهد اگر دامنه موج سینوس برابر با تفاضل دامنه مثلثی و ولتاژ ثابت DC باشد آنگاه کاهش دامنه مؤلفه های هارمونیها بیشتر مشهود خواهد بود لازم به ذکر است در شکل موج PWM که عمدتاً خروجی چاپرها هستند، فقط مؤلفه DC مورد علاقه ما است و مایلیم در حالت ایده آل دامنه سایر مؤلفه ها صفر باشد.

کاهش انتشار EMI توسط مدولاسیون فرکانس

در این روش موج مثلثی مدوله شده و یا موج سینوسی مدوله شده به روش فرکانس با یک ولتاژ ثابت مقایسه می گردد و در نتیجه منحنی PWM که به روش فرکانس مدولاسیون شده است بدست می آید نمایش ریاضی موج سینوسی مدوله شده به روش فرکانس به صورت مقابل است:

$$e = A \sin(\omega_c t + \Delta f \sin \omega_m t) \quad (1)$$

بررسی ریاضی این معادله با استفاده از توابع بسل ما را به نتایج زیر می رساند.

- ۱- مدولاسیون فرکانس دارای یک حامل و بی نهایت باند جانبی است باندهای جانبی در فاصله f_m و $2f_m$ و $3f_m$... از فرکانس حامل واقع شده است.
- ۲- این مؤلفه ها با زیاد شدن فرکانس کاهش می یابند
- ۳- توزیع باندهای جانبی در دو طرف فرکانس حامل متقارن است.
- ۴- با کاهش فرکانس مدوله کننده و یا از دیار ضریب مدولاسیون و دامنه نسبی باندهای جانبی زیاد میشود.

۵- ۹۸٪ توان سیگنال مدولیه شده در داخل پهنای باند B_T قرار دارد.

$$B_T = 2 \left(\frac{\Delta f}{f_m} + 1 \right) f_m \quad (2)$$



۶- توان سیگنال در اثر مدولاسیون تغییر نمی یابد

طیف فرکانسی قطار پالس

در صورتیکه موج قطار، پالس باشد در این صورت خود موج هارمونی دارد این هارمونیکها هر کدام به هنگام مدولاسیون، فرکانس دارای طیف گسترده می شود و فاصله فرکانسی طیف مربوط به هر مؤلفه با مؤلفه مجاور خود f_m است. با توجه به نتایج فوق الذکر وقضیه کارسون بایستی f_m بنحو مناسب و با توجه به شرایط سیستم انتخاب شود زیرا اگر f_m زیاد باشد هارمونیکهای مختلف پالس PWM در حوزه یکدیگر داخل شده و دامنه آنها با هم جمع می شوند و اگر فرکانس f_m کم باشد آنگاه فاصله مؤلفهها ناچیز می شود و دستگاههای اندازه گیر وردیاب موفق به دریافت آنها می شوند. نتایج ناشی از شبیه سازی نشان می دهد که مدولاسیون فرکانس توانسته است تا ۷۵٪ دامنه طیف را کاهش دهد.

نتیجه گیری

از آنجاییکه همواره و بخصوص در شرایط کنونی جهان بحث صرفه جویی در منابع انرژی از اهمیت ویژه ای برخوردار است لذا ملزم به استفاده از تجهیزات الکترونیک صنعتی که با روش سوئیچینگ کار می کنند هستیم لیکن این تجهیزات از منابع قوی تولید نويز هستند که از کیفیت سیستم و سایر دستگاههای موجود در نزدیکی آن می کاهد و از اینرو بایستی با نويز ایجاد شده مقابله کنیم روشهای ارائه شده در این مقاله این امکان را در اختیار قرار می دهد.
مراجع :

۱- تکنیک های کاهش نويز در سیستمهای الکترونیکی Henry.w.ott

[۲] Electromagnetic compatibility ,IEC standard

[۳] Electromagnetic compatibility ,f.Radhid,Switzer land ,۱۹۹۰

۴- فریدون سقایی ، طراحی و ساخت درایو کنترل دور DC در گسترده صد ولت، صد آمپر و توسعه روشهای سوئیچینگ در توان بالا، پروژه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان ۱۳۵۷

۵- فریدون سقایی، تعمیم روش کنترل پالس برای کلید ZCS ، پژوهشیار ، ویژه نامه زمستان ۱۳۷۹

[۶] M.H.ROSHID,POWER Electronics , circuits,Devices and Applications , prentice Hall International .inc,۱۹۹۸