

طراحی و ساخت مگنتایزر تخلیه خازنی و ارائه الگوریتم طراحی بهینه فیکسچر شارژ

استاد راهنما : دکتر محمد رضا بسمی
استادیار در گروه مهندسی برق قدرت
دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد
m_r_besmi@yahoo.com

نویسنده : حسین احمدی
دانشجوی ترم آخر مهندسی برق قدرت
دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد
hossein_a60@yahoo.com

چکیده: در این مقاله نحوه طراحی و ساخت یک دستگاه مگنتایزر مدرن که برای اولین بار در ایران ساخته شده است ، مورد بررسی قرار خواهد گرفت . در این مقاله اصول کارکرد و نیز نحوه طراحی این دستگاه شرح داده شده است و مقاله برای اولین بار به ارائه الگوریتمی جهت طراحی بهینه فیکسچر شارژ که مهمترین قسمت دستگاه می باشد ، پرداخته است که بر اساس آن دیگر به محاسبات پیچیده میدان مغناطیسی نیازی نیست . این مقاله بر اساس نتایج و یافته های اینجانب از ساخت یک نمونه از این دستگاه برای جهاد خودکفایی نیروی هوایی ارتش و نمونه دیگری برای دانشگاه شاهد ، نگارش گردیده است . لازم به ذکر است که این دستگاه در امور نظامی و امور صنعتی که با فن آوری های نوین در ارتباط هستند ، کاربرد وسیعی دارد .

کلمات کلیدی : مغناطیس دائم یا مگنت دائمی ، مگنتایزر ، فیکسچر شارژ ، مگنتایزر تخلیه خازنی

۱- مقدمه

یکی از انواع مواد مغناطیسی که امروزه استفاده از آن در صنعت رشد چشمگیری نموده ، مغناطیس دائم یا همان مگنتهای دائمی (Permanent Magnets) است . در چند دهه اخیر کاربرد موتورهای و ژنراتورهای کوچک افزایش گسترده ای یافته که از آن جمله می توان به موتورهای پله ای مغناطیس دائم و موتورهای جریان مستقیم بدون جاروبک و ژنراتورهای تحریک کمکی ژنراتورهای بزرگ (Pilot Exciters) و ژنراتورها و موتورهای دور بالا و ... اشاره کرد که در آنها مغناطیس دائم کاربردی فراوان و نقشی اساسی دارد .

از دیگر کاربردهای مغناطیس های دائم می توان به استفاده از آنها در ژيروسکوپهای ادوات پرنده که قلب خلبان خودکار هواپیما و سیستم هدایت اینرسی موشک است و نیز در ژنراتور و سیستم های کنترل جهت حرکت و هدفیابی موشکها و هم چنین در دستگاههای سانتریفیوژ اشاره کرد که امروزه در صنایع هوانوردی و نظامی از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشند .

از دیگر استفاده های روز افزون مغناطیس های دائم کاربرد آنها در دستگاههای اندازه گیری مانند شتاب سنج و... نشانگر ها و بلندگوها و دریهای با قفل مغناطیسی و... است .

تمامی موارد باعث گردیده که تولید انواع مغناطیس های دائم و آماده سازی و بکارگیری آنها با توجه به خصوصیات هریک ، از اهمیت ویژه ای برخوردار شود و یکی از دستگاههایی که در فرآیند آماده سازی مغناطیس های دائم نقش اساسی ایفا می نماید دستگاه مگنتایزر (Magnetizer) یا مگنت شارژر (Magnet Charger) است .

۲- انواع مگنتایزرها و نحوه کاربرد آنها

مگنت خام در ابتدا خاصیت مغناطیسی ندارد و از اینرو دستگاههای مختلفی جهت شارژ مغناطیس های دائم با توجه به ابعاد و جنس مگنتها ساخته شده اند که برخی از آنها عبارتند از [1] :

- ۱- کویلهای جریان مستقیم (DC Coils)
 - ۲- مگنتایزرهای نیم موج (Half Cycle Magnetizers)
 - ۳- مگنتایزرهای C شکل اندوکتانس بالا (High Inductance C Frame Magnetizers)
 - ۴- مگنتایزرهای تخلیه خازنی (Capacitive Discharge Magnetizers) یا همان مگنت شارژرهای ایمپالسی (Impulse Magnet Chargers)
- که با توجه به مزایا و معایب هر کدام امروزه در تولیدات صنعتی و آزمایشگاههای پیشرفته دیگر از سه نوع اول این دستگاه استفاده نمی شود (به علت معایب بسیار زیاد) و نوع چهارم که مگنتایزر تخلیه خازنی است جای تمامی انواع دیگر را گرفته است .

این مگنتایزر انرژی خود را از خطوط برق می گیرد که این امر در حدود ۲۰ الی ۳۰ ثانیه طول می کشد و این انرژی در درون یک بانک خازنی ذخیره می شود و سپس انرژی ذخیره شده در درون فیکسچر شارژ که اساساً یک کویل است - در زمانی در حدود چند میلی ثانیه - تخلیه می گردد که باعث بوجود آمدن یک میدان بسیار بزرگ مغناطیسی شده و این میدان دوقطبی های درون مگنت را وادار به هم جهت شدن می نماید و بدین وسیله مگنت خاصیت مغناطیسی دائمی پیدا می کند . [1] و [2]

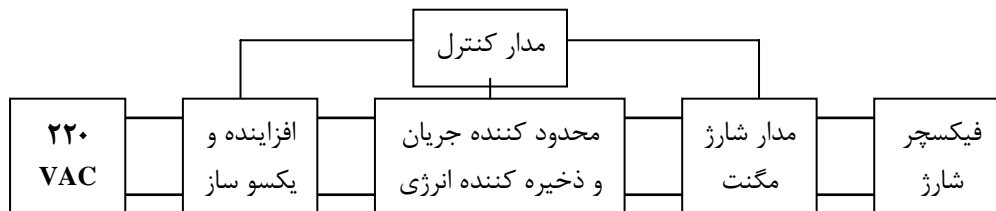
این نوع مگنتایزرها از نظر رده ولتاژ اعمالی به بانک خازنی خود به سه رده تقسیم می شود که عبارتند از:

- ۱- ولتاژ پایین (Low Voltage) : در حدود ۴۰۰ ولت
 - ۲- ولتاژ متوسط (Medium Voltage) : ۴۰۰ الی ۸۰۰ ولت
 - ۳- ولتاژ بالا (High Voltage) : ۸۰۰ الی ۳۰۰۰ ولت
- میزان ولتاژ اعمالی به بانک خازنی خود یکی از مقادیر نامی (Ratings) این نوع دستگاهها است . انرژی ذخیره شده در بانک خازنی نیز یکی دیگر از مقادیر نامی است . امروزه دستگاههایی با انرژی ذخیره شده ۱۰۰ ژول تا ۱۰۰ کیلو ژول ساخته می شوند که بین ۳ هزار دلار تا ۱۰۰ هزار دلار قیمت دارند .
- لازم به ذکر است که با توجه به ابعاد و جنس مگنتها ، مقادیر نامی دستگاه انتخاب می شوند . هر چه ابعاد مگنت و نیز نیروی الزامگر (Coercive Force) آن بیشتر باشد به انرژی بیشتری جهت مغناطیس سازی نیاز هست و هر چه چگالی شار پسماند (Residual Flux Density : B_r) مورد نظر بیشتر باشد به ولتاژ بیشتری جهت شارژ مگنت نیاز هست (البته این تقسیم بندی همواره درست نیست و ممکن است رعایت نشود اما از لحاظ دادن یک دید کلی نسبت به موضوع ، مفید است) . امروزه انواع مختلفی از مگنتها (از لحاظ ماده سازنده) مورد استفاده قرار می گیرند که دستگاه مگنتایزر تخلیه خازنی قادر است تمامی این نوع مگنتها را شارژ نماید [9] و [8] . برخی از این مگنت ها عبارتند از :

- ۱- مگنتهای دارای عناصر کمیاب (Rare Earth Magnets) مانند (Neodymium-Iron-Boron) Nd-Fe-B و کبالت ساماریوم (Sm-Co)
- ۲- مگنتهای آلنیکو (Alnico Magnets)
- ۳- مگنتهای سرامیکی یا فریتی سخت (Ceramic Magnets or Hard Ferrite Magnets) مانند فریتهای استرونتیوم و باریم (Strontium Ferrites and Barium Ferrites)
- ۴- مگنتهای قابل انعطاف و پلاستیکی (Flexible & Plastic Magnets)
- ۵- سایر انواع که امروزه کاربرد کمتری دارند مانند تیکونال (Ticonal) و کونیکو (Cunico) و لودکس (Lodex) و ...

۳- ساختار کلی دستگاه مگنتایزر تخلیه خازنی

شکل ۱ بلوک دیاگرام دستگاه مگنتایزر تخلیه خازنی را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می نمایید این دستگاه از پنج بخش افزایشنده و یکسو ساز ، محدود کننده جریان و ذخیره کننده انرژی ، مدار کنترل ، مدار شارژ مگنت و فیکسچر شارژ تشکیل شده است که هر بخش را به صورت مختصر شرح می دهیم :

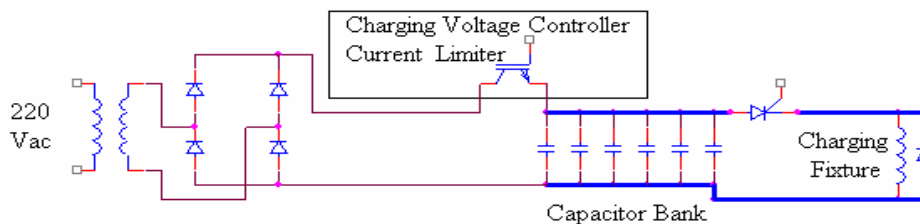


شکل ۱- بلوک دیاگرام یک مگنتایزر تخلیه خازنی یا همان مگنت شارژر ایمپالسی

- ۱- افزایشنده و یکسو ساز : در این بخش فرآیند افزایش سطح ولتاژ و یکسوسازی انجام می پذیرد که این عمل معمولاً به دو صورت قابل اجرا است : الف) ترانسفورماتور افزایشنده و پل دیود ب) پل دیود و یک طبقه چاپر افزایشنده .
 - ۲- محدود کننده جریان و ذخیره کننده انرژی : در این بخش عمل محدود کردن جریان ورودی دستگاه و ذخیره سازی انرژی در یک بانک خازنی که معمولاً الکترولیتی است ، صورت می گیرد . چون دستگاه دارای بانک خازنی بزرگی است در لحظه وصل برق به آن ، جریان فوق العاده زیادی از شبکه کشیده می شود و سپس این جریان کاهش می یابد و بدین ترتیب جریان کشیده شده از شبکه نرخ ثابتی ندارد . علت وجود محدود کننده جریان نیز همین امر است و وظیفه این بخش محدود کردن جریان ورودی و تثبیت نرخ آن می باشد که این کار به چند طریق قابل اجرا است : الف) مقاومت ثابت ، ب) مقاومت متغیر ، پ) چک ثابت ، ت) چک متغیر ، ث) استفاده از یک مدار سوئیچینگ .
 - ۳- مدار کنترل : مدار کنترل وظیفه کنترل عملکرد قسمت‌های مختلف دستگاه و نیز ارتباط با کاربر را بر عهده دارد . مدار کنترل با گرفتن فیدبک از قسمت‌های مختلف و انجام عملیات بر روی این اطلاعات ، کار کنترل دستگاه انجام می دهد و کاربر نیز از طریق این مدار به دستگاه فرمان می دهد و دستگاه را مطابق میل خود کنترل می نماید . این امر به دو صورت قابل اجرا می باشد : الف) مدار کنترلر آنالوگ که به وسیله قطعات الکترونیکی از جمله OP-AMP ساخته شده است ب) مدار کنترلر دیجیتال که کار اصلی کنترل را در آن میکروکنترلر انجام می دهد .
 - ۴- مدار شارژ مگنت : این قسمت وظیفه تخلیه آنی (به صورت ایمپالسی) انرژی ذخیره شده در بانک خازنی را بر عهده دارد که این کار به دو صورت قابل اجرا است : الف) لامپ ایگنایترون ب) سوئیچ های نیمه هادی
 - ۵- فیکسچر شارژ : این قسمت در حقیقت یک کوئل است که به یونیت اصلی متصل شده و در اثر عبور جریان نسبتاً زیاد ، میدان بسیار بزرگی را جهت شارژ مگنت بوجود می آورد .
- در دو مدل دستگاه ساخته شده توسط اینجانب تمامی راه‌های اجرای ذکر شده در قسمت قبل تست گردیده و نهایتاً بهترین آنها از نظر قابلیت کارکرد و قابلیت اطمینان و هزینه تمام شده گزینش گشته است که شکل ۲ شماتیک آن را نشان می دهد و نتایج آن به شرح زیر است :

- ۱- افزایشنده و یکسو ساز : ترانسفورماتور افزایشنده و پل دیود
- ۲- محدود کننده جریان و ذخیره کننده انرژی : استفاده از یک مدار سوئیچینگ با زاویه هدایت قابل کنترل
- ۳- مدار کنترل : میکروکنترلر PIC 16F877 و سایر قطعات و سخت افزارهای مورد نیاز از جمله اپتوکوپلرهای خطی برای گرفتن فیدبک DC نظیر HCN200
- ۴- مدار شارژ مگنت : استفاده از SCR پر قدرت

۵- فیکسچر شارژ: پس از تلاش بسیار دستیابی به الگوریتم طراحی بهینه فیکسچر شارژ برای هر نوع مگنت مورد نظر (از نظر ابعاد و مواد سازنده)



شکل ۲ - شماتیک مدار دستگاه مگنتایزر تخلیه خازنی ساخته شده توسط اینجانب

۴- نحوه طراحی مدار قدرت یونیت اصلی

تمامی دستگاه به جز فیکسچر شارژ، به صورت یک یونیت ساخته می شود که به آن یونیت اصلی می گویند. این یونیت از طریق یک کانکتور پر قدرت به فیکسچر شارژ متصل می گردد. هر مگنت خاصی (چه از نظر اندازه و چه از نظر تعداد قطب ها و چه از نظر مواد سازنده) نیاز به فیکسچر خاصی دارد و برای اینکه دستگاه قابلیت شارژ هر نوع مگنتی را داشته باشد، از اینرو یونیت اصلی باید به صورت جدا از فیکسچر طراحی گردد.

یکی از مسائل مهم در امر طراحی مدار قدرت یونیت اصلی، محاسبه مقادیر نامی قطعات بکار رفته در مدار بر اساس نحوه طراحی قسمتهای مختلف مدار و همچنین مقادیر نامی کلی یونیت اصلی است. اینجانب بر اساس تجربیات خود از ساخت دو نمونه از این دستگاه، الگوریتمی را برای این بخش طراحی کرده ام که مراحل آن به شرح زیر است:

- ۱- انتخاب ظرفیت نامی انرژی ذخیره شده در دستگاه
- ۲- انتخاب ولتاژ نامی دستگاه
- ۳- انتخاب مقدار خازن ها و نحوه اتصال آنها با توجه به مراحل ۱ و ۲
- ۴- انتخاب شیوه محدود کردن جریان
- ۵- انتخاب جریان نامی مرحله ذخیره سازی انرژی با توجه به مراحل قبل
- ۶- انتخاب مشخصات المانهای (رله و فیوز و کلید و ترانسفورماتور و ...) مربوط به ذخیره سازی انرژی در دستگاه
- ۷- بدست آوردن ماکزیمم جریان مرحله شارژ مگنت با توجه به طراحی نگهدارنده شارژ
- ۸- محاسبه تعداد خازن ها با توجه به مراحل ۳ و ۷
- ۹- انتخاب سوئیچ و مشخصات نامی آن برای دشارژ خازن ها با توجه به مراحل ۲ و ۷
- ۱۰- محاسبه حداقل امپدانس قابل اتصال به دستگاه با توجه به مرحله ۷ و امپدانس خازن ها
- ۱۱- محاسبه مشخصات شینه ها برای اتصال خازن ها به یکدیگر جهت برآورده کردن مرحله ۷



شکل ۳ - تصویر نمونه اولیه و نمونه نهایی یونیت اصلی مگنتایزر تخلیه خازنی

۵- الگوریتم طراحی بهینه فیکسچر شارژ

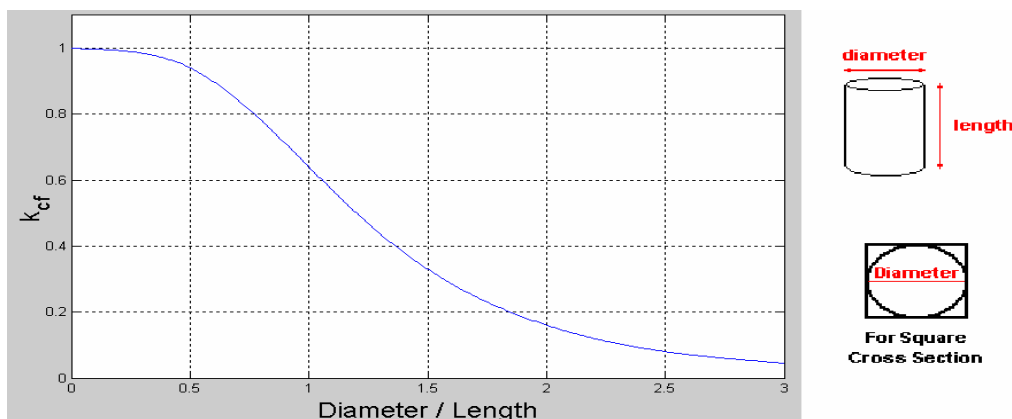
شاید مهمترین مرحله از مراحل طراحی این دستگاه ، مرحله طراحی بهینه فیکسچر شارژ برای یک مگنت خاص است . چون این فیکسچر شارژ است که انرژی ذخیره شده را به میدان مغناطیسی بسیار بزرگی تبدیل می کند و طراحی یک فیکسچر خوب باعث بوجود آمدن میدان مطلوب و کارا می شود . اما در صورت عدم دقت در طراحی ، میدان بوجود آمده ممکن است برای مغناطیس کردن ناکارآمد باشد . جهت ورود به این قسمت از کار ، به تسلط بالایی بر بحث الکترومغناطیس و نیز مدارهای مغناطیسی نیاز هست و این کار ، کاری بسیار زمان بر و دقیق است همچنانکه در مراجع [3] و [5] و [6] بر این اساس (روش المان محدود یا حل عددی میدان) طراحی فیکسچر انجام گرفته است . مثلاً فرمول شدت میدان مغناطیسی برای یک سیم پیچ استوانه ای پس از محاسبه ، به صورت زیر است . پس از این باید فرمول شار دربرگیرنده بدست آید تا از روی آن بتوان اندوکتانس سیم پیچ را محاسبه کرد .

$$H = \frac{NI}{2L} \left[\frac{(L/2 - Z)}{\sqrt{(L/2 - Z)^2 + a^2}} + \frac{(L/2 + Z)}{\sqrt{(L/2 + Z)^2 + a^2}} \right] \hat{a}_z$$

برای همین اینجانب الگوریتم زیر را جهت طراحی بهینه فیکسچر شارژ ارائه کرده ام که بر اساس مطالعات اینجانب درباره کویلها با هسته هوایی [4] و [7] و میدان لازم جهت شارژ هر نوع مگنت [8] و [9] و اثرات جریان فوکو [10] و [11] و نیز بررسی سایر روشها [3] و [5] و [6] ، این امر صورت گرفته است . در این الگوریتم از یک نمودار ضریب تصحیح استفاده می شود که با اعمال این ضریب تصحیح (k_{cf}) می توان با استفاده از روابط تئوری ساده نتایج بسیار نزدیک به واقعیتی را بدست آورد . وجود این نمودار ضریب تصحیح طراح فیکسچر شارژ را از حل معادلات پیچیده شدت میدان و چگالی شار و شار در برگیرنده و اندوکتانس خودی ، بی نیاز می سازد و کار طراحی را بسیار ساده و سریع می گرداند . البته لازم به ذکر است که الگوریتم زیر مربوط به طراحی جهت بوجود آوردن یک میدان مغناطیسی دوقطبی توسط یک سیم پیچ استوانه ای شکل و یا مکعبی شکل با هسته هوایی است و در صورت نیاز به میدان چند قطبی باید این الگوریتم تغییر یابد . الگوریتم طراحی فیکسچر شارژ :

- ۱- بدست آوردن ابعاد فیکسچر با توجه به ابعاد مگنت
- ۲- مشخص کردن جنس مگنت مورد نظر جهت شارژ
- ۳- مراجعه به منحنی های مربوط به مگنت مورد نظر جهت تعیین مقدار شدت میدان مغناطیسی مورد نیاز
- ۴- محاسبه اندوکتانس برحسب تعداد دور فیکسچر شارژ با توجه به مقدار تئوری و اعمال ضریب تصحیح از روی منحنی آن که در شکل ۴ آمده است . (Number of turns: N & Area: A & Length: L & Permeability: μ)

$$L_{\text{calculated}} = N^2 \times \mu \times A \div I \quad \implies \quad L_{\text{actual}} = L_{\text{calculated}} \times k_{cf}$$



شکل ۴ - نمودار ضریب تصحیح اندوکتانس جهت محاسبه مقدار واقعی اندوکتانس فیکسچر شارژ

- ۵- حل مدار و محاسبه ماکزیمم جریان عبوری و زمان عبور جریان بر حسب تعداد دور با توجه به اندوکتانس فیکسچر شارژ و ظرفیت خازن ها و مقاومت معادل سری (ESR) آنها
- ۶- محاسبه شدت میدان از روی قانون آمپر و بدست آوردن تعداد دور با توجه به مرحله ۳
- ۷- محاسبه ماکزیمم جریان عبوری و اندوکتانس فیکسچر شارژ
- ۸- انتخاب سیم جهت ساخت فیکسچر شارژ و محاسبه مقاومت الکتریکی فیکسچر شارژ از روی جدول سیمهای لاکه
- ۹- محاسبه امپدانس فیکسچر شارژ (مجموع اندوکتانس و مقاومت)
- ۱۰- حل دوباره مدار جهت بدست آوردن ماکزیمم جریان
- ۱۱- چک کردن اینکه جریان بدست آمده و تعداد دور فیکسچر ، میدان مورد نیاز را می دهند یا خیر : اگر جواب منفی بود دوباره مراحل از ۴ و به جای محاسبه اندوکتانس محاسبه امپدانس بر حسب تعداد دور (محاسبه مقاومت با توجه به سیم انتخاب شده در مرحله ۸ تکرار قبلی)
- البته لازم به ذکر است که هنگامی که فیکسچر به صورت مکعبی باشد مقدار اندوکتانسی که از طریق نمودار ضریب تصحیح بالا به دست می آید نسبت به مقدار واقعی آن ، دارای خطا می باشد که البته حداکثر مقدار این خطا ۵ درصد است که از نظر مهندسی قابل قبول می باشد . نمونه مقدار بدست آمده از این الگوریتم و نمودار ضریب تصحیح در مورد فیکسچری که مقدار اندوکتانس قرائت شده آن به وسیله RLC متر 1.93 mH است را در ذیل مشاهده می کنید .
- ضریب بخاطر مکعبی بودن : ۰/۹۵ ، مساحت : A : ۱۰۰ cm² ، طول : l : ۱۰ cm ، تعداد دور N : ۱۶۰ ، دور نسبت قطر به طول : ۱ و مراجعه به نمودار ضریب تصحیح k_{cf} ← ضریب تصحیح k_{cf} : ۰/۶۳

$$L_{\text{actual}} = L_{\text{calculated}} \times k_{\text{cf}} = \frac{160^2 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 10^{-2}}{10^{-1}} \times 0.95 \times 0.63 = 0.001924 = 1.924 \text{mH}$$

۶- برخی نتایج و یافته ها در مورد ساختار مگنتایزر تخلیه خازنی و فیکسچر شارژ

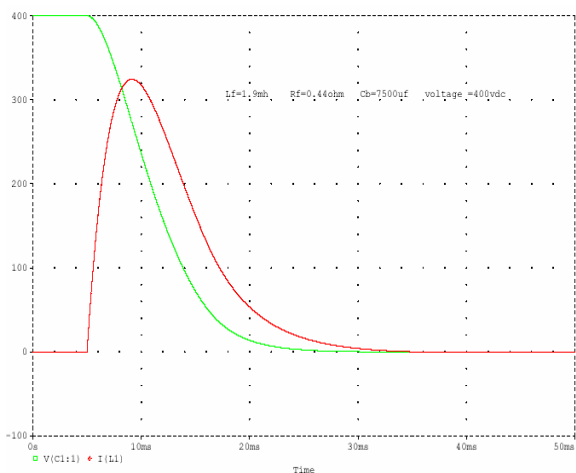
- ۱- توپولوژی مدار مگنتایزر : در طی مراحل طراحی و ساخت دو نمونه از این دستگاه ، اینجانب تمامی روشهای ارائه شده در این مقاله را به اجرا درآوردم و جدول ۱ نتایج حاصل از اجرای این روشها است که مقایسه ای اجمالی بین این توپولوژی ها را مقدور می سازد .

جدول ۱ - مقایسه بین روشهای محدود کردن جریان

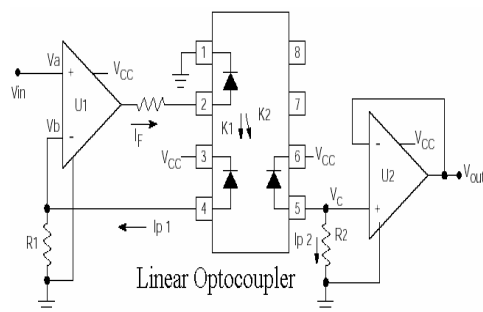
نوع محدود کننده	پیک جریان (A)	زمان ذخیره سازی (s)	تلفات (%)	تثبیت جریان (A)
مقاومت ثابت	۵	۵۰	۴۵	—
مقاومت متغیر	۵	۳۰	۵۰	—
چک ثابت	۸	۳۵	۲۰	—
چک متغیر	۸	۲۰	۲۵	—
سوئیچینگ میکروکنترلی	۱	۱۰	۱۰	۱
سوئیچینگ با کنترل آنالوگ	۱/۲	۱۵	۱۰	۱/۲

- ۲- استفاده از میکروکنترلرهای صنعتی و دور کردن فیکسچر شارژ از یونیت اصلی : به دلیل اینکه این دستگاه میدان مغناطیسی بسیار بزرگی را به صورت ایمپالسی تولید می کند ، تنها میکروکنترلرهای صنعتی هستند که توانایی تحمل چنین شرایطی را دارند و سایر میکروکنترلرها در این شرایط از کار می افتند . در ضمن حتی با وجود استفاده از میکروکنترلرهای صنعتی باز هم هرچه فیکسچر شارژ از یونیت اصلی دورتر باشد ، تبعات منفی کمتری متوجه مدار کنترل و به خصوص میکروکنترلر خواهد شد .

- ۳- ایزولاسیون مدار کنترل و مدار قدرت به کمک اپتوکوپلرهای خطی: در مراحل مختلف تست این نکته به اثبات رسید که هر چند که از میکروکنترلرهای صنعتی استفاده شود، باز هم ایزولاسیون مدار کنترل و مدار قدرت امری ضروری است. اما چون در این دستگاه به گرفتن فیدبک DC نیاز هست از اینرو بهترین راه و شاید تنها راه ممکن استفاده از اپتوکوپلر خطی و به همراه دو OP-AMP است. شکل ۵ مدار مورد نظر را نشان می دهد.
- ۴- استفاده از خازن های یکسان و یک نوع و عدم سری کردن بیش از دو خازن: پس از تستهای مختلف این نتیجه بدست آمد که به خاطر اختلاف در ساختار داخلی خازن های متفاوت (به خصوص در هنگام استفاده از خازنهای الکترولیتی)، در هنگام شارژ و به خصوص دشارژ سریع برخی از آنها با سرعت بیشتری شارژ و دشارژ می گردند و برخی این کار را کندتر انجام می دهند که این امر موجب بوجود آمدن اختلاف ولتاژ در خود بانک خازنی شده و جریان داخلی را بوجود می آورد و به خاطر مقاومت معادل سری (ESR) خازنها، تلفاتی بوجود می آید که هم باعث کاهش عمر بانک خازنی می شود و هم بر روی میدان مغناطیسی ایمپالسی که توسط دستگاه بوجود می آید، تاثیر نامطلوبی می گذارد و در صورتی که بیش از دو خازن با یکدیگر سری شوند به خاطر افزایش مقاومت معادل سری مجموعه، این تاثیرات نامطلوب بسیار بیشتر می شود.
- ۵- استفاده از یک طبقه فیلتر هارمونیک و تصحیح کننده ضریب قدرت: به خاطر استفاده از یک طبقه محدود کننده جریان سوئیچینگ، هارمونیک های جریان افزایش می یابند و چون خود دستگاه هم خاصیت خازنی دارد، از این رو جهت حذف تاثیرات منفی دستگاه روی شبکه قدرت و نیز رعایت استانداردهای بین المللی لازم است که از یک طبقه فیلتر هارمونیک و تصحیح کننده ضریب قدرت استفاده گردد.
- ۶- طراحی دقیق فیکسچر شارژ و عرض پالس مطلوب: در این دستگاه چون فیکسچر شارژ حکم بار را برای یونیت اصلی دارد از این رو باید به دقت طراحی شود تا علاوه بر ایجاد بزرگی مطلوب میدان ایمپالسی، عرض پالس مطلوبی را هم تولید کند زیرا چنانچه عرض پالس بسیار بزرگ باشد در این صورت هم نیاز به انرژی بیشتری هست و هم این انرژی زیاد کارایی لازم جهت شارژ را ندارد و اگر هم عرض پالس بسیار کوچک باشد موجب بوجود آمدن جریان فوکو در داخل مگنت زیر شارژ می شود. این جریان گردابی باعث می شود که حوزه های دوقطبی مغناطیسی در داخل مگنت به خوبی هم جهت نشوند و عمل شارژ مگنت ناکارآمد گردد. از این رو طراحی فیکسچر باید به گونه ای انجام شود که عرض این پالس در حدود ۵ الی ۳۰ میلی ثانیه گردد. شکل ۶ یک نمونه از پالس جریان و ولتاژ ذخیره شده در یک مگنتایزر تخلیه خازنی است که پالس جریان پیک ۳۳۰ آمپر و عرض پالس موثر ۱۵ میلی ثانیه را دارا می باشد.



شکل ۶ - نمودار پالس جریان و ولتاژ ذخیره شده در یک مگنتایزر تخلیه خازنی



شکل ۵ - مدار حاوی اپتوکوپلر خطی برای گرفتن فیدبک DC

۷- نتیجه گیری

پس از انجام طراحی و اجرای دو نمونه و تست روشهای مختلف در زمینه ساخت مگنتایزرهای تخلیه خازنی و نیز بررسی انواع دیگر مگنتایزرها، اینجانب از نظر کارایی مگنتایزرهای تخلیه خازنی ولتاژ پائین را جهت استفاده در صنایع کوچک و نیز مراکز تحقیقات مناسب، و نیز بهترین طرح جهت محدود کردن جریان و کاهش زمان ذخیره سازی انرژی و افزایش راندمان و افزایش کنترل پذیری و افزایش قابلیت اطمینان این دستگاهها را استفاده از مدار سوئیچینگ همراه با مدار کنترلر میکروکنترلری، یافتم.

در زمینه طراحی فیکسچر شارژ، با اجرای الگوریتم پیشنهاد شده در این مقاله و استفاده از نمودار ضریب تصحیح آن، (در مقایسه با روش المان محدود و حل عددی و) علاوه بر بی نیازی از محاسبات پیچیده میدان مغناطیسی، در زمان بسیار کوتاه و با انجام محاسبات بسیار ساده و با دقت بالا می توان فیکسچر شارژ مورد نیاز را به صورت بهینه طراحی کرد.

این مقاله حاصل بیش از ۵۰۰ ساعت تحقیق کتابخانه ای و اینترنتی، بیش از ۵۰۰ ساعت طراحی و شبیه سازی با نرم افزارهای گوناگون و بیش از ۶۰۰ ساعت کار عملی است که در طی این مدت دو نمونه دستگاه مگنتایزر تخلیه خازنی (جدول ۲) ساخته شد و نتایج تئوری و عملی بسیاری (بخش ۶) نیز بدست آمد.

جدول ۲ - مشخصات دو نمونه دستگاه مگنتایزر تخلیه خازنی ساخته شده در ایران

در اختیار دارنده دستگاه	ماکزیمم ولتاژ	ماکزیمم انرژی	ماکزیمم زمان ذخیره سازی انرژی	راندمان	محدود کننده	سطوح ولتاژ
جهاد خودکفایی نیروی هوایی ارتش (پروژه فاطر)	۳۵۰۷	۴۴۰ ج	۲۰ s	۷۵٪	سلف متغیر	متغیر ۷ مرحله
دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد	۴۲۵۷	۶۸۰ ج	۱۰ s	۹۰٪	سوئیچینگ	متغیر با دقت ۱ ولت

۸- مراجع

- [1] Joseph J. Stupak Jr., "Methods of Magnetizing Permanent Magnets", EMCW Coil Winding Show, October 2000, Cincinnati, Ohio
- [2] G. W. Jewell, D. Howe, and T. S. Birch, IEEE Transactions on Magnetics, "Simulation of capacitor discharge magnetization", vol. 26, pp.1638-1640, Sept. 1990.
- [3] R. H. Vander Heiden, A. A. Arkadan, and J. R. Brauer, IEEE Transactions on Magnetics, "Nonlinear transient finite element modeling of a capacitor-discharge magnetizing fixture", vol. 29, pp. 2051-2054, Mar. 1993.
- [4] Gogue and Stupak, "Theory and Practice of Electromagnetic Design of DC Motors and Actuators", 1993.
- [5] C.M. Andrews, "Understanding Permanent Magnets", The Arnold Engineering Company, TN 9802, December 1998
- [6] Rollin J. Parker, "Advances in Permanent Magnetism", John Wiley & Sons, New York, NY, ISBN 0-471-82293-0, 1990
- [7] T. Nakata and N. Takahashi, IEEE Transactions on Magnetics, "Numerical analysis of transient magnetic field in a capacitor-discharge impulse magnetizer," vol. MAG-22, pp. 526-528, Sept. 1986.
- [8] JK Lee, IEEE Transactions on Magnetics, "The Analysis of a Magnetizing Fixture for a Multipole Nd-Fe-B Magnet", Vol 24, N0.5, pg 2166-2171, Sept 1988
- [9] W. Franzen, "Generalization of Uniform Magnetic Fields by Means of Air Core Coils", Review of Sci Inst, V.33 No. 9
- [10] J. Lammeraner and M. StafI, "Eddy Currents", translation from Czech by GA Toombs, Chemical Rubber, 1974
- [11] R. Stoll, "The Analysys of Eddy Currents", Clarendon Press, Oxford, 1974