



**Iran University of Science & Technology**

Electrical Engineering Department  
High Voltage and Magnetic Materials Research Centre

**EMC Conditions Comprehensive Study for  
Substation, Case Study: Conditions Simulation for  
MV Cabinets**

Adviser: Dr.H.Heydari

A Thesis Submitted Partial Fulfillment of the Requirement for  
the Degree of Master of Science in Electrical Engineering

By: Vahid Abbasi

December 2005



تقدیم به  
پدر عزیز و مادر مهربانم  
و به دسهای پر از مهر آنان که درخت جوانی ام را شکوفا  
نمودند و اینک به پاس آن همه ایثار ثمره تلاشم را به قلبهای  
مهربانان تقدیم می کنم

## چکیده

برآورده کردن امنیت در شبکه‌های قدرت از مسائلی است که همواره زمینه مطالعاتی بسیاری از محققین بوده است. برقراری سازگاری الکترومغناطیسی در پست‌های فشار قوی از پارامترهای بسیار مهم امنیت شبکه می‌باشد. با استفاده روز افزون از تجهیزات حساس الکترونیکی در پست‌ها مشکلاتی در حین کلیدزنی برای این تجهیزات بوجود آمد و گاهاً باعث آسیب دیدن یا بد عمل کردن آن‌ها شد، از اینرو تحقیقات در زمینه سازگاری الکترومغناطیسی آغاز گردید.

مطالعات پروژه حاضر نیز در راستای بهبود سازگاری الکترومغناطیسی در پست است، که در آن با شناسایی منابع تولید میدان مغناطیسی تداخلی (از طریق اندازه‌گیری و شبیه‌سازی) و بررسی اثرات ناشی از کلیدزنی به دنبال ارائه یک الگوریتم مناسب جهت برقراری سازگاری الکترومغناطیسی در پست هستیم.

# تقدیر و تشکر

با تقدیر و تشکر از زحمات بی شائبه و بی دریغ جناب آقای  
دکتر حسین حیدری که مرا در به پایان رساندن این پروژه  
یاری نمودند.

## فصل اول: مبانی سازگاری الکترومغناطیسی

.....	مقدمه	.....	۴
.....	۱-۱ دانش سازگاری الکترومغناطیسی	.....	۶
.....	۱-۱-۱ دسته‌بندی مولدها و گیرنده‌ها	.....	۶
.....	۱-۱-۲ مکانیزم تبادل ناخواسته انرژی الکترومغناطیسی در پدیده تداخل	.....	۱۰
.....	۱-۱-۳ مسیرهای تبادل ناخواسته الکترومغناطیسی در پدیده تداخل	.....	۱۲
.....	۱-۲ روشهای جلوگیری از تداخل	.....	۱۳
.....	۱-۲-۱ مد مشترک و مد تفاضلی	.....	۱۵
.....	۱-۲-۲ دانه‌های فریت	.....	۱۹
.....	۱-۲-۳ تئوری امواج و اصول پوشش	.....	۲۲
.....	۱-۲-۳-۱ اصول پوشش و ساختار سپر	.....	۲۶
.....	۱-۲-۳-۲ اثر روزنه‌ها	.....	۲۸
.....	۱-۲-۳-۳ پیامدهای وجود درز	.....	۲۹
.....	۱-۲-۳-۴ جهت‌گیری روزنه‌ها و درزها	.....	۲۹
.....	۱-۲-۳-۵ افزارهای سپر سازی	.....	۳۰
.....	۱-۲-۳-۶ روکش‌های رسانا	.....	۳۱

## فصل دوم: مدل‌سازی میدان‌های مغناطیسی تداخلی در پست فشار قوی

.....	مقدمه	.....	۳۴
.....	۲-۱ مدل‌سازی میدان‌های مغناطیسی تداخلی در پست فشار با استفاده از المان محدود	.....	۳۵
.....	۲-۱-۱ ترانسفورماتور قدرت	.....	۳۷
.....	۲-۱-۲ شینه‌بندی	.....	۴۰
.....	۲-۲ انتخاب مسیر کابل LV	.....	۴۷
.....	۲-۳ نتیجه‌گیری	.....	۴۷

## فصل سوم: اندازه‌گیری میدان مغناطیسی در پست

.....	مقدمه	.....	۴۹
.....	۳-۱ محوطه بیرونی (out door)	.....	۴۹
.....	۳-۱-۱ ترانسفورماتور قدرت	.....	۴۹
.....	۳-۱-۲ سکسیونر	.....	۵۱
.....	۳-۱-۳ تقاطع کوپل با شینه‌بندی اصلی	.....	۵۳
.....	۳-۱-۴ بریکر	.....	۵۴
.....	۳-۱-۵ شینه‌بندی	.....	۵۵

۵۷.....	۳-۱-۶ ترانسفورماتور زمین.....
۵۸.....	۳-۱-۷ بانک خازنی.....
۵۹.....	۳-۲ محوطه داخلی پست.....
۵۹.....	۳-۲-۱ اتاق کابل.....
۶۰.....	۳-۲-۲ اتاق اپراتور پست.....
۶۲.....	۳-۲-۳ حول تابلوهای ۲۰kV.....
۶۲.....	۳-۳ تعیین حریم سلامتی اپراتور پست.....
۶۳.....	۳-۳-۱-۱ تعیین حریم با توجه به نتایج شبیه‌سازی.....
۶۴.....	۳-۳-۱-۱ تعیین حریم با توجه به نتایج اندازه‌گیری.....
۶۶.....	۳-۳-۲ قفس فارادی.....
۶۶.....	۳-۳-۳ استفاده از لباسهای ویژه.....
۶۷.....	۳-۴ نتیجه‌گیری.....

### فصل چهارم: شبیه‌سازی و اندازه‌گیری میدان مغناطیسی در تابلو ۲۰kV

۶۹.....	مقدمه.....
۷۰.....	۴-۱ شبیه‌سازی و مقایسه با اندازه‌گیری.....
۷۵.....	۴-۲ میدان مغناطیسی اطراف کابل فشار ضعیف.....
۷۸.....	۴-۳ میدان مغناطیسی در محفظه تابلو.....
۸۲.....	۴-۴ حریم سلامتی اپراتور.....
۸۳.....	۴-۲۵ نتیجه‌گیری.....

### فصل پنجم: سازگاری الکترومغناطیسی در حین کلیدزنی

۸۶.....	مقدمه.....
۸۷.....	۵-۱ جریان کلیدزنی.....
۸۹۴.....	۵-۲ مسیر کابل‌های LV از دید ملاحظات سازگاری الکترومغناطیسی.....
۸۹.....	۵-۲-۱ شبیه‌سازی میدان‌های مغناطیسی.....
۹۰.....	۵-۲-۱-۱ ناحیه A.....
۹۳.....	۵-۲-۱-۲ ناحیه B و C.....
۹۶.....	۵-۲-۲ اصلاح مسیر کانال کابل‌های LV.....
۹۹.....	۵-۳ راه‌های مقابله با اختلالات ناشی از کلیدزنی (مطالعه موردی تابلو ۲۰kV).....
۱۰۰.....	۵-۳-۱ الف-جریان مد مشترک.....
۱۰۲.....	۵-۳-۱ ب-جریان مد تفاضلی.....
۱۰۵.....	۵-۳-۲ سپر سازی.....
۱۰۷.....	۵-۴ نتیجه‌گیری.....

## فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۱۰ ..... ۶-۱ نتیجه‌گیری

۱۱۱ ..... ۶-۲ پیشنهادات

### ضمیمه

۱۱۴ ..... ۷-۱ اثرات میدان‌های مغناطیسی بر انسان

۱۱۴ ..... ۷-۱-۱ نگاهی کلی به اثرات میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی

۱۱۷ ..... ۷-۱-۲ روشی برای بررسی آثار بیولوژیکی تشعشع‌های الکترومغناطیسی

۱۱۸ ..... مراجع



- شکل ۱-۱: تجهیزات بیرونی پست ۶۳kV/۲۰kV (شینه بندی) ..... ۷
- شکل ۱-۲: قطع سکسیونر در پست ۵۰۰kV ..... ۸
- شکل ۱-۳: جریان در حین عملکرد دژنکتور ۲۰kV در یک پست ۶۳kV/۲۰kV ..... ۸
- شکل ۱-۴: ساختار سیستم ..... ۹
- شکل ۱-۵: جریان کلیدزنی و طیف فرکانسی در پست ۲۴۵kV ..... ۱۰
- شکل ۱-۶: تقسیم بندی کلی مسیر انتشار و گیرنده‌های تداخل ..... ۱۱
- شکل ۱-۷: روش‌های تبادل ناخواسته انرژی الکترومغناطیسی در پدیده تداخل ..... ۱۲
- شکل ۱-۸: مسیرهای مختلف تبادل انرژی الکترومغناطیسی در پدیده تداخل ..... ۱۳
- شکل ۱-۹: تجزیه جریان خط انتقال دو سیمه ..... ۱۵
- شکل ۱-۱۰: مدل سازی اثر چوک مشترک ..... ۱۶
- شکل ۱-۱۱: پاسخ فرکانسی پرمیبلیتی فریت های NiZn و MnZn ..... ۱۷
- شکل ۱-۱۲: نحوه اتصال PT به اندازه‌گیر ..... ۱۸
- شکل ۱-۱۳: مدار معادل مد مشترک برای اتصال PT ..... ۱۸
- شکل ۱-۱۴: مدار معادل مد تفاضلی برای اتصال PT ..... ۱۸
- شکل ۱-۱۵: مدار معادل کابل با دانه‌های فریت ..... ۱۹
- شکل ۱-۱۶: ..... ۱۹
- شکل ۱-۱۷: امپدانس اندازه‌گیری شده دانه فریت ..... ۲۰
- شکل ۱-۱۸: ساختار CMS کابل ..... ۲۱
- شکل ۱-۱۹: نسبت امپدانس کابل در فرکانسهای مختلف به امپدانس DC ..... ۲۱
- شکل ۱-۲۰: سطح مقطع کابل CMS/RG و قسمت‌های مختلف آن ..... ۲۲
- شکل ۱-۲۱: نفوذ EMI بوسیله سپر ..... ۲۳
- شکل ۱-۲۲: دو روش در مقابل میدان نزدیک مغناطیسی در بسامد پایین ..... ۲۶
- شکل ۱-۲۳: منحنی ضریب نفوذ مغناطیسی چند ماده بر حسب بسامد ..... ۲۷
- شکل ۱-۲۴: استفاده از دو نوع پوشش برای کاهش اثر اشباع ..... ۲۸

- شکل ۲۵-۱..... ۲۸.....
- شکل ۲۶-۱: درزهای میان قابهای محفظه ..... ۲۹.....
- شکل ۲۷-۱: بخشهای تقاطعی پیوندهای مناسب برای رسانایی خوب ..... ۲۹.....
- شکل ۲۸-۱: حلقه‌ی جریان مخالف جهت روزنه ..... ۳۰.....
- شکل ۲-۱: نمای روبرو محوطه مورد نظر از پست  $230/63kV$  ..... ۳۵.....
- شکل ۲-۲: نمای از بالا محوطه مورد نظر از پست  $230/63kV$  ..... ۳۶.....
- شکل ۲-۳: شارهای پراکنندگی در فضای اطراف ترانسفورماتور ..... ۳۸.....
- شکل ۲-۴-الف: شار در هسته ترانسفورماتور ..... ۳۸.....
- شکل ۲-۴-ب: شار پراکنندگی عبور کرده از مخزن ترانسفورماتور ..... ۳۹.....
- شکل ۲-۴-ج: منحنی شار پراکنندگی عبور کرده از مخزن ترانسفورماتور ..... ۳۹.....
- شکل ۲-۵-۱: میدان نزدیک شینه (تا فاصله  $0.1m$ ) ..... ۴۰.....
- شکل ۲-۵-۲: میدان نزدیک شینه (تا فاصله  $0.2m$ ) ..... ۴۱.....
- شکل ۲-۵-۳: میدان نزدیک شینه (تا فاصله  $0.5m$ ) ..... ۴۱.....
- شکل ۲-۵-۴: میدان نزدیک شینه (تا فاصله  $1 m$ ) ..... ۴۲.....
- شکل ۲-۵-۵: کانتورهای میدان مغناطیسی در اطراف شینه نصب شده در ارتفاع  $6/85 m$  ..... ۴۲.....
- شکل ۲-۶: نمای نزدیک از بردار میدان‌های اطراف شینه ..... ۴۳.....
- شکل ۲-۷: بردار میدان‌های اطراف شینه مرکزی ..... ۴۳.....
- شکل ۲-۸: میدان مغناطیسی شینه‌بندی نصب شده در ارتفاع  $6m$  در جهت محور  $Y$  و در  $Z=4m$  ..... ۴۴.....
- شکل ۲-۹: میدان مغناطیسی شینه‌بندی نصب شده در ارتفاع  $6m$  در صفحه  $X-Y$  در  $Z=2m$  ..... ۴۵.....
- شکل ۲-۱۰: میدان مغناطیسی شینه‌بندی نصب شده در ارتفاع  $6m$  در صفحه  $X-Y$  در  $Z=4m$  ..... ۴۵.....
- شکل ۲-۱۱: برآیند میدان مغناطیسی در محوطه تقاطع شینه‌ها ..... ۴۶.....
- شکل ۲-۱۲: برآیند میدان مغناطیسی در محوطه شینه‌ها در  $Z=1/7 m$  ..... ۴۶.....
- شکل ۳-۱: ترانسفورماتور قدرت در پست  $63kV/20kV$  ..... ۵۱.....
- شکل ۳-۲) نمایی از سکسیونر پست  $63kV/20kV$  ..... ۵۱.....
- شکل ۳-۳: نمایی از شینه بندی پست مورد مطالعه در مقطعی که با کوپل تقاطع دارد ..... ۵۳.....

- شکل ۳-۴: بریکر پست  $63kV/20kV$  ..... ۵۴
- شکل ۳-۵: مقطعی از شینه‌بندی پست  $63kV/20kV$  ..... ۵۵
- شکل ۳-۶: ترانسفورماتور زمین ..... ۵۷
- شکل ۳-۷: برآیند میدان مغناطیسی در محوطه شینه‌ها در  $Z=1/7 m$  ..... ۶۳
- شکل ۳-۸: مقایسه بین میدان مغناطیسی زیر و حول بریکر و سکسیونر در ارتفاع  $Z=2m$  ..... ۶۵
- شکل ۳-۹: مقایسه بین میدان مغناطیسی زیر و حول کوپل و شینه‌بندی ..... ۶۵
- شکل ۳-۱۰: مقایسه بین میدان مغناطیسی اطراف ترانسفورماتورها ..... ۶۶
- شکل الف-۱-۴: نمای جانبی تابلو  $20 kV$  ..... ۷۰
- شکل ب-۱-۴: نمای روبرو از تابلو  $20 kV$  مورد مطالعه ..... ۷۱
- شکل ج-۱-۴: نمای بالا از تابلو  $20 kV$  مورد مطالعه ..... ۷۱
- شکل ۴-۲: خطوط شار میدان مغناطیسی (نما از بالا) ..... ۷۲
- شکل ۴-۳: خطوط شار میدان مغناطیسی (نما از روبرو) ..... ۷۲
- شکل ۴-۴: میدان نزدیک شینه‌ها (ناحیه A شکل (۱)) ..... ۷۴
- شکل ۴-۵: مقایسه بین اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در محوطه شینه ..... ۷۴
- شکل ۴-۶: نحوه عملکرد مد مشترک و تفاضلی در مدار ..... ۷۶
- شکل ۴-۷: میدان مغناطیسی نزدیک محفظه ( محل عبور کابل‌های اندازه‌گیری) ..... ۷۶
- شکل ۴-۸: مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی حول کابل PT ..... ۷۷
- شکل ۴-۹: مقادیر اندازه‌گیری شده میدان مغناطیسی بیرون تابلو ..... ۷۸
- شکل ۴-۱۰: استفاده از مواد مغناطیسی  $(\mu_r = 1)$  ..... ۷۸
- شکل ۴-۱۱: تراکم میدان در محفظه (شیلد) ..... ۷۹
- شکل ۴-۱۲: مقایسه بین میدان‌های نزدیک محفظه ..... ۸۲
- شکل ۵-۱: جریان کلید زنی در پست  $20 kV$  ..... ۸۷
- شکل ۵-۲: جریان کلید زنی در حوزه زمان و فرکانس ..... ۸۸
- شکل ۵-۳: طیف فرکانسی ماکزیمم ..... ۸۸
- شکل ۵-۴: نما از بالای پست ..... ۸۹
- شکل ۵-۵: مسیر کانال کابل‌های LV ..... ۹۰

- شکل ۵-۶ : نما از بالای ناحیه A ..... ۹۱
- شکل ۵-۷: میدان مغناطیسی حول سکسیونر ناحیه A (Hsum) ..... ۹۲
- شکل ۵-۸:  $H(y, z = -0.1)$  در ناحیه A در ارتفاع هم سطح با کابل LV ..... ۹۲
- شکل ۵-۹: میدان مغناطیسی حول سکسیونر ناحیه B (Hsum) ..... ۹۳
- شکل ۵-۱۰: میدان مغناطیسی حول شینه ناحیه C (Hsum) ..... ۹۴
- شکل ۵-۱۱:  $H(x, z = -0.1)$  در ناحیه B در ارتفاع هم سطح با کابل LV ..... ۹۴
- شکل ۵-۱۲:  $H(y, z = -0.5)$  در ناحیه C در ارتفاع هم سطح با کابل LV ..... ۹۵
- شکل ۵-۱۳: مسیر کانال در ناحیه A ..... ۹۶
- شکل ۵-۱۴: مسیر اصلاح شده در ناحیه A ..... ۹۶
- شکل ۵-۱۵: طرح جدید کانال کابل‌های LV ..... ۹۷
- شکل ۵-۱۶: جریان کلید زنی در حوزه زمان و فرکانس ..... ۹۹
- شکل ۵-۱۷: طیف فرکانسی ماکزیمم ..... ۱۰۰
- شکل ۵-۱۸: مدار معادل مد مشترک برای سیستم اندازه‌گیر ولتاژ ..... ۱۰۰
- شکل ۵-۱۹: نسبت اضافه ولتاژ ناشی از مد مشترک به ولتاژ اصلی مدار ..... ۱۰۱
- شکل ۵-۲۰: نحوه اتصال PT به دستگاه اندازه‌گیر در پست HV ..... ۱۰۲
- شکل ۵-۲۱: مدار معادل مد تفاضلی سیستم اندازه‌گیر ولتاژ ..... ۱۰۲
- شکل ۵-۲۲: اثر مد تفاضلی در کاهش اضافه ولتاژ در طی طیف فرکانسی ..... ۱۰۳
- شکل ۵-۲۳: پراکندگی میدان مغناطیسی  $(B_x)$  ناشی از جریان مد مشترک شیلد کابل موازی ..... ۱۰۳
- شکل ۵-۲۴: پراکندگی میدان مغناطیسی  $(B_y)$  ناشی از جریان مد مشترک شیلد کابل موازی ..... ۱۰۴
- شکل ۵-۲۵: میدان مغناطیسی ناشی از هادی‌های حول کابل ..... ۱۰۴
- شکل ۵-۲۶: کاهش اضافه ولتاژ در اثر استفاده از یک کابل موازی شیلد شده ..... ۱۰۵
- شکل ۵-۲۷: سپر سازی (محدود کردن) با استفاده از مواد مغناطیسی ..... ۱۰۶
- شکل ۵-۲۸: کاهش مقدار B در کانال (فلزی) کابل ..... ۱۰۶

- جدول ۱-۱ : میزان درصد کاهش میدان‌ها بر اثر سپر سازی ..... ۱۹
- جدول ۱-۲ : حدود عملکرد سپر در سپر سازی ..... ۱۹
- جدول ۱-۳ : خصوصیات فلزات مورد استفاده در شیلدینگ ..... ۲۰
- جدول ۳-۱ : مقادیر ماکزیم میدان مغناطیسی اطراف ترانسفورماتور قدرت ۱۵MVA ..... ۵۰
- جدول ۳-۲ : مقادیر میدان مغناطیسی ماکزیم حول سکسیونر ..... ۵۲
- جدول ۳-۳ : مقادیر میدان مغناطیسی ماکزیم حول محل تقاطع کوپل با شینه بندی اصلی ..... ۵۴
- جدول ۳-۴ : مقادیر میدان مغناطیسی ماکزیم حول بریکر ..... ۵۵
- جدول ۳-۵ : مقادیر میدان مغناطیسی ماکزیم حول شینه بندی ..... ۵۶
- جدول ۳-۶ : مقادیر میدان مغناطیسی ماکزیم حول ترانسفورماتور زمین ..... ۵۷
- جدول ۳-۷ : ماکزیم میدان مغناطیسی اطراف بانک خازنی MVAR ۲/۴ ..... ۵۸
- جدول ۳-۸ : مقادیر میدان مغناطیسی ماکزیم در اتاق کابل ..... ۵۹
- جدول ۳-۹ : مقادیر میدان مغناطیسی ماکزیم در اتاق اپراتور پست ..... ۶۱
- جدول ۳-۱۰ : مقدار میدان مغناطیسی حول تابلو (Incoming) ..... ۶۲
- جدول ۳-۱۱ : مقادیر میدان مغناطیسی حول تابلو Out going ..... ۶۲
- جدول ۳-۱۲ : اندازه چگالی میدان مغناطیسی برآیند بر حسب  $\mu T$  در  $Z=1/\sqrt{m}$  ..... ۶۴
- جدول ۴-۱ : مقایسه نتایج اندازه گیری و شبیه سازی میدان مغناطیسی نزدیک شینه بندی ..... ۷۵
- جدول ۴-۲ : مقایسه نتایج اندازه گیری و شبیه سازی میدان مغناطیسی نزدیک کابل PT ..... ۷۷
- جدول ۴-۳ : میزان اثربخشی آهن برای ضخامت‌های مختلف ..... ۸۰
- جدول ۴-۴ : میزان اثر بخشی سپر در تابلو ۲۰kV ..... ۸۱
- جدول ۴-۵ : میدان مغناطیسی اطراف تابلو با سپر سازی یکپارچه ..... ۸۳
- جدول ۴-۶ : میدان مغناطیسی اطراف تابلو با سپر سازی دو تیکه ..... ۸۳
- جدول ۵-۱ : مقادیر  $H_{max}(y, z=0/1) A/m$  در ناحیه A ..... ۹۳
- جدول ۵-۲ : مقادیر  $H_{max}(x, z=0/1) A/m$  در ناحیه B ..... ۹۵
- جدول ۵-۳ : مقادیر  $H_{max}(y, z=0/1) A/m$  در ناحیه C ..... ۹۵

جدول ۴-۵ : مقایسه بین  $H_{max} A/m$  در مسیر (۱) و (۲) \_ طرح اولیه و طرح جدید.....۹۷

جدول ۵-۵: درصد کاهش  $H_{max} A/m$  در طرح جدید.....۹۷

## مقدمه

امروزه پیرامون مبحث سازگاری الکترومغناطیسی در مهندسی قدرت تحقیقات وسیع و گسترده‌ای صورت می‌گیرد. با افزایش روز افزون استفاده از تجهیزات الکترونیکی در قسمت‌های کنترل، حفاظت و ... پست‌های فشار قوی، مسئله سازگاری الکترومغناطیسی احتیاج به یک بررسی کلی و جامع در این زمینه دارد [۱،۲،۳،۴]. در سه دهه گذشته و زمانی که پدیده تداخل در حین کلیدزنی در پست‌های فشار قوی در دسر ساز شد برای اولین بار تحقیقات در این زمینه صورت گرفت، در آغاز مطالعه در مورد پست‌های بالای ۱۰۰kV انجام شد، با افزایش حساسیت تجهیزات ثانویه مورد استفاده در پست‌های MV، دامنه مطالعات سازگاری الکترومغناطیسی به اینگونه پست‌ها نیز کشیده شد [۵،۶]. تحقیقات در این مورد به سه بخش (۱) منبع تولید میدان‌های تداخلی (۲) محیط انتقال (۳) گیرنده (قربانی) قابل تقسیم بندی است. طراح با شناسایی منبع تولید تداخل می‌تواند از انتشار میدان در محیط جلوگیری نماید یا با ایجاد مصونیت برای گیرنده از طریق پوشش (سپرسازی) آن را ایمن سازد [۷،۸،۹].

جهت نیل به بهبود مسئله سازگاری الکترومغناطیسی در این پروژه ابتدا مطالعه مبانی EMC مدنظر قرار داده شده [۱۰] و بعد از بدست آوردن دیدگاه مناسب در این زمینه، شناسایی منابع تولید میدان مغناطیسی تداخلی از طریق اندازه‌گیری و شبیه‌سازی (بوسیله نرم‌افزار المان محدود) انجام شده که در طی آن می‌توان به شدت و ضعف میدان مغناطیسی تولیدی توسط هر یک از تجهیزات پی برد، طراح با استفاده از نتایج بدست آمده و تحلیل نحوه انتشار می‌دان می‌تواند در جهت ایمن سازی گیرنده‌ها تصمیم‌گیری نماید.

یکی از قربانیان میدان‌های تداخلی اپراتور پست است، از آنجا که اپراتور پست در حین کار دائماً در معرض این میدان‌ها قرار دارد و تحقیقات پزشکی انجام شده در این مورد حاکی از آسیب دیدن افراد در معرض میدان‌های الکترومغناطیسی است [۱۱،۱۲،۱۳،۱۴]، برقراری سازگاری الکترومغناطیسی در این مورد از بعد انسانی در ضمیمه مورد مطالعه قرار داده شده، در این راستا میدان‌های مغناطیسی اندازه-گیری شده حول تجهیزات مختلف منبع تولید میدان مغناطیسی در پست با توجه به دستاوردهای پزشکی مورد تحلیل قرار گرفته است. یکی از مواردی که اپراتور پست (به خصوص در محیط‌های صنعتی) با آن در ارتباط نزدیک می‌باشد تابلو ۲۰kV است [۱۵]، از اینرو تاثیر سپرسازی در اینگونه

تابلوه‌ها در طی اندازه‌گیری‌ها مورد توجه قرار گرفته است. البته به حضور تجهیزات حساس نصب شده بر روی این تابلوها و تابلوه‌های مجاور آن نیز باید اشاره کرد که اهمیت مطالعه و بررسی در این رابطه را می‌رساند.

پدیده تزویج در حین کلیدزنی یکی از مباحثی است که در مطالعات قبلی بر آن تاکید شده است [۱۶،۱۷]، در حین عملکرد بریکر، سکسیونر، بانک خازنی و ... یک جریان با فرکانس و دامنه بالا در مدار برقرار می‌گردد که مسبب افزایش دامنه و فرکانس میدان مغناطیسی تداخلی خواهد شد [۲۱،۲۰،۱۹،۱۸]، اصلی‌ترین مسیر انتقال تداخل، تزویج این میدان‌ها از طریق کابل‌های فشار ضعیف در محوطه بیرونی پست است، میدان تزویج شده از این طریق اضافه جریان و ولتاژ بالایی در تجهیزات اندازه‌گیر، حفاظت و کنترلی را ایجاد خواهد کرد که مسبب عملکرد نامطلوب یا آسیب دیدن این تجهیزات می‌گردد [۲۲]. در این راستا، در ابتدا میدان مغناطیسی تداخلی انتشار یافته در محوطه پست پردازش شده است که از این طریق می‌توان مسیرهایی را برای کابل‌های فشار ضعیف انتخاب کرد که تحت تاثیر میدان‌های ضعیف‌تر قرار دارند، در نتیجه تزویج مغناطیسی نیز به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد (تابع هزینه کابل کشی را باید مد نظر قرار داد). البته برای مقابله با اثرات کلیدزنی از کابل‌های شیلدشده و کانال‌های فلزی به عنوان پوشش در مقابل میدان مغناطیسی تداخلی استفاده می‌گردد، طراح با انتخاب مسیر مناسب کابل (از نقطه نظر EMC) و روش‌های متداول مقابله ذکر شده ایمنی لازم را می‌تواند برقرار کند به خصوص این مطلب راه‌کاری برای برقراری امنیت تجهیزات حساس‌تر در آینده می‌تواند باشد.

برای نیل به این مهم در یک فصل از پروژه به تحلیل پدیده کلیدزنی و اثرات آن در ایجاد ناسازگاری الکترومغناطیسی و چگونگی مقابله با این پدیده و راه‌های برقراری سازگاری الکترومغناطیسی طبق آنچه که در بالا گفته شد به صورت مجزا بحث شده است.





# مبانی سازگاری الکترومغناطیسی

## مقدمه

تقریباً از روزهای اولیه اختراع رادیو و تلگراف، پدیده‌های تداخل و نویز نیز شناخته شده بودند. هنگامی که جرقه الکتریکی یا رعد و برق به وقوع می‌پیوست، باعث ایجاد اختلالاتی در کار انتقال اطلاعات از طریق رادیو یا خطوط تلگراف می‌شد. در حقیقت، پدیده‌های مذکور تنها نمونه‌هایی از عوامل بی‌شمار مولد تشعشع الکترومغناطیسی می‌باشند. اکثر عوامل مولد تشعشعات الکترومغناطیسی همانند رعد و برق، رله‌ها، کلیدها، موتورهای الکتریکی، لامپ‌های فلورسنت و انفجارات هسته‌ای دارای طیف بسامدی بسیار وسیعی می‌باشند. لذا حتی در سیستم‌هایی که ورودی آنها توسط فیلترهای باند باریک محافظت می‌شوند، می‌توانند ایجاد تداخل و نویز نمایند.

از عوامل ایجاد نویز می‌توان خطوط انتقال، رادارها و رایانه‌ها و... را نام برد، در حالت کلی تداخل الکترومغناطیسی در دو نوع سیستم ظاهر می‌گردد. نوع اول، سیستم‌های گیرنده اختیاری هستند که برای دریافت سیگنال خاصی در پهنای طیف خاصی تنظیم شده‌اند. در این نوع سیستم‌ها، یک نوع ارتباط اختیاری میان سیستم مورد نظر و جهان خارج جهت دریافت سیگنال خاصی بوجود آمده است. عوامل خارجی مولد تداخل که دارای طیف تشعشعی وسیع هستند، باعث عبور نویز از فیلترهای ورودی اینگونه سیستم‌ها و ایجاد تداخل می‌گردند.

نوع دوم سیستم‌هایی هستند که اصولاً جهت منظور گیرندگی طراحی نشده‌اند. به این سیستم‌ها، گیرنده‌های غیر ارادی گفته می‌شود. نمونه این سیستم‌ها رایانه‌ها می‌باشند. در این گونه سیستم‌ها اثر امواج منتشر شده توسط یک فرستنده FM قوی یا ایستگاه تلویزیون می‌توانند بصورت اطلاعات غلط در رایانه ظاهر گردد. در کل با توجه به توضیحاتی که داده شد یک سیستم را از لحاظ الکترومغناطیسی سازگار با محیط می‌خوانیم که:

۱- باعث تاثیرگذاری بر کار سیستم‌های مجاورش از طریق تشعشع میدان‌های الکترومغناطیسی ناخواسته نگردد.

۲- از سیستم‌های موجود در محیط اطرافش از طریق دریافت تشعشع الکترومغناطیسی آنها، تاثیر پذیر نباشد.

۳- با سایر قسمت‌های خودش تداخل ناخواسته نداشته باشد.

امروزه طراحی سیستم بر اساس اصول سازگاری الکترومغناطیسی به یک مساله جهانی تبدیل شده است و استانداردهای بین‌المللی سازگاری الکترومغناطیسی وضع شده‌اند و کلیه سازندگان سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی برای ورود به بازارهای جهانی ملزم به رعایت این استانداردها می‌باشند.

در سیستم‌های قدرت و بخصوص در پست‌های فشار قوی که موضوع مورد بررسی در این پروژه می‌باشد به علت وجود تجهیزات در دو سطح توان مختلف (اولیه و ثانویه) و مغاربت آنها ناسازگاری الکترومغناطیسی نمود پیدا می‌کند. از اینرو یک بررسی در مورد سازگاری الکترومغناطیسی در پست‌ها به صورت دقیق الزامی است [۱،۲،۵]. مکانیزم کار بر اساس شناسایی منابع تولید میدان‌های الکترومغناطیسی تداخلی (EMI) و انتخاب روش مقابله با آنها می‌باشد. منابع اصلی تولید EMI در پست‌های فشار قوی ترانسفورماتورها، شینه‌بندی، کابل‌های قدرت و... هستند و در کل می‌توان گفت منابع تولید شامل تجهیزات قدرت (اولیه) می‌باشد [۵].

تجهیزات ثانویه که دارای سطح توان کمتری هستند و معمولاً شامل تجهیزات حساس الکترونیکی (جزء سیستم‌های گیرنده غیر ارادی محسوب می‌شوند) می‌باشند در طی تزویج EMI دچار اضافه ولتاژ و اضافه جریان می‌شوند. این تجهیزات به عنوان قربانی اغتشاشات گاهاً دچار عملکرد نامطلوب یا آسیب می‌شوند. در حین عملکرد کلیدهای قدرت با بالا رفتن دامنه جریان و ولتاژ مدار شامل فرکانس‌هایی در حد kHz-MHz تزویج شدت می‌یابد و در این جا مسئله سازگاری الکترومغناطیسی بسیار مهم می‌شود، بررسی در این زمینه در طی مشکلاتی که بوجود آمد از سه دهه گذشته برای اولین بار در پست‌های بالای ۱۰۰kV مورد توجه قرار گرفت [۶،۱۶]، در پست‌های MV نیز با وجود اینکه سطح ولتاژ نسبت به پست HV کمتر می‌باشد، ولی اضافه ولتاژ و جریان‌های بوجود آمده در اثر تزویج میدان‌های الکترومغناطیسی تداخلی (EMI) مشکل ساز شدند که موجب انجام مطالعات سازگاری الکترومغناطیسی در این گونه پست‌ها شد.

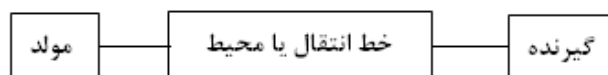
تحقیقات بر اساس راه‌های مقابله با تداخل صورت گرفت و به این نتیجه رسید که از سه طریق می‌توان از EMI جلوگیری کرد [۵،۶]:

- ۱- جلوگیری از تزویج اغتشاش به قربانی .
- ۲- متوقف کردن منبع تداخل و جلوگیری از موجهای انتشار یافته .
- ۳- بالا بردن مصونیت قربانی در مقابل امواج تداخلی.

البته پارامتر هزینه در روشهای پیش‌گیری بسیار مهم می‌باشد و به عنوان یک قید محدود کننده مطرح است. آشنایی با مکانیزم تزویج با توجه به اصولی که در بالا گفته شد الزامی است. در این پروژه برای دستیابی به دید مناسب جهت بهبود سازگاری الکترومغناطیسی در پست های فشار قوی در ابتدا منابع تولید میدان‌های مغناطیسی تداخلی از طریق شبیه‌سازی و اندازه‌گیری پرداخته شده است و در ادامه با بررسی مکانیزم انتقال و تزویج راههای مقابله مورد بررسی قرار گرفته است، در پایان با استفاده از مطالعات انجام شده الگوریتم مدیریت EMC<sup>۱</sup> در پست ارائه شده است.

### ۱-۱-۱- دانش سازگاری الکترومغناطیسی

دانش سازگاری الکترومغناطیسی در ارتباط با سه پدیده مهم تولید، انتقال و دریافت انرژی الکترومغناطیسی می‌باشد.



مولد انرژی، یک سیگنال الکترومغناطیسی را از طریق محیط انتقال به گیرنده منتقل می‌سازد که در گیرنده، سیگنال دریافتی مورد پردازش قرار گرفته و باعث ایجاد عملکرد نامطلوب و یا مطلوب می‌شود. طبق تعریف، هر گونه تداخلی در سیگنال دریافتی توسط گیرنده باعث ایجاد عملکرد نامطلوب در آن می‌شود.

این تداخل در هر قسمت از سیستم می‌تواند به وجود آید. در برخی موارد هر سه قسمت (مولد، محیط انتقال، گیرنده) در معرض سیگنال تداخلی قرار دارند، اما طبق تعریف تنها وقتی می‌گوییم تداخل رخ داده است که سطح سیگنال تداخل کننده باعث اختلال در عملکرد گیرنده گردد.

در برخی موارد تشخیص اینکه سیگنال تداخل کننده باعث اختلال در عملکرد گیرنده شده یا خیر، بسیار مشکل است.

#### ۱-۱-۱-۱- دسته‌بندی مولدها و گیرنده‌ها

در حالت کلی، مولدها و گیرنده‌ها به دو دسته ارادی و غیر ارادی تقسیم می‌شوند. به عبارت دیگر یک گیرنده می‌تواند به صورت غیر ارادی، یک مولد نیز باشد و یا یک مولد در حالت غیر ارادی یک گیرنده باشد. اینکه یک مولد یا گیرنده به صورت ارادی یا غیر ارادی می‌باشند، بستگی به عوامل متعدد از جمله مسیر تزویج

<sup>۱</sup>. Electromagnetic compatibility