بسم الله الرحمن الرحیم

گزارش پروژه پایان نامه کارشناسی ارشد

موضوع:

بررسی اضافه ولتاژهای گذرا در پستهای GIS

استاد:

جناب آقای دکتر جوادی

تهیه کننده :

مهرداد مجیدی

تابستان ۹۰

دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

دانشکده برق

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته برق- قدرت آقای مهرداد مجیدی

تحت عنوان

بررسی اضافه ولتاژهای گذرا در پستهای GIS

در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۱۶ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	.....	.....
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	.....	.....
۳- استاد ممتحن داخل دانشگاه	.....	.....
۴- استاد ممتحن خارج دانشگاه	.....	.....
۵- نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی دانشکده	.....	.....
معاون تحصیلات تکمیلی دانشکده	.....	.....

به نام خدا

تعهدنامه اصالت اثر:

اینجانب مهرداد مجیدی تایید میکنم که مطالب مندرج در این پایان نامه، حاصل کار پژوهشی اینجانب میباشد و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته ازآنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع گردیده است.

این پایان نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح، پایین تر و بالاتر ارایه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور) است.

مهرداد مجیدی

چکیده

اضافه ولتاژهای گذرا به تنهایی یکی از عوامل اصلی و مهم ایجاد آسیب در تجهیزات سیستم های قدرت میباشد. بررسی اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از صاعقه و کلیدزنی و آنالیز عوامل تاثیر گذار در تشدید این اضافه ولتاژها، بستر مناسبی را برای ارایه راه کارهای حل مشکلات احتمالی برآورده میکند. با انجام مطالعات اضافه ولتاژهای گذرا در نقاط مختلف و ارایه راهکارهای مناسب در جهت رفع این اضافه ولتاژها، احتمال آسیب دیدن و خرابی تجهیزات سیستم قدرت از جمله ترانسفورماتورهای قدرت، مقره ها، سرکابلها، کابلها و ... کاهش داده میشوند و در نتیجه قابلیت اطمینان سیستم و کیفیت توان افزایش می یابد. انجام این مطالعات برای پستهای فشار قوی که معمولا از نقاط حساس شبکه های قدرت میباشد، بسیار حائز اهمیت میباشد. در سالهای اخیر استفاده از پستهای GIS به منظور گرفتن حجم کمتر و مباحث عایقی بهتر بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است.

با توجه به مقدمات ذکر شده و تبیین اهمیت بررسی اضافه ولتاژهای گذرا، در این پروژه بررسی اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از صاعقه و کلیدزنی در پستهای فشار قوی GIS مد نظر قرار گرفته و تحقیق می گردند. بدین منظور در مطالعات صاعقه به بررسی اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از برخورد صاعقه به خطوط انتقال منتهی به پست GIS مورد بررسی قرار گرفته است و در مطالعات کلیدزنی، اضافه ولتاژهای گذرای بسیار سریع (VFTO) و اضافه ولتاژهای ناشی از پدیده فرورزونانس مورد بررسی قرار گرفته اند.

یکی از عوامل اصلی تخریب تجهیزات در پست های GIS اضافه ولتاژهای گذرای بسیارسریع (VFTO) می باشند این اضافه ولتاژها بواسطه عملکرد سکیسونرها و کلیدهای قدرت در پست رخ می دهند. در سالهای اخیر استفاده از پست های GIS به دلیل کوچکتر شدن فضا بسیار مدنظر قرار گرفته ولی ایجاد اضافه ولتاژهای خیلی سریع بهره برداری این نوع پستها را با مشکل روبروکرده است. در این پروژه به مدلسازی دقیق تجهیزات به کار رفته در پست GIS۴۰۰/۲۳۰ کیلوولت انرژی اتمی بوشهر پرداخته شده است تا بتوان اضافه ولتاژهای گذرای بسیار سریع ایجاد شده در این پست را بررسی نمود. سپس با استفاده از حلقه فریت کاهش این اضافه ولتاژها مورد ارزیابی قرار گرفته است. ارایه الگوریتم جدید مدلسازی وابسته به فرکانس حلقه فریت توسط نرم افزار EMTP-RV و بسترسازی لازم جهت مدلسازی وابسته به فرکانس سایر محدودسازهای مغناطیسی محور اصلی این پروژه است. از طرفی در محیط نرم افزار Comsol

Multiphysics ابعاد بهینه حلقه فریت از دیدگاه هماهنگی عایقی در محیط گاز SF6 مورد بررسی و شبیه سازی قرار گرفته است. ضمناً تاثیر استفاده از حلقه فریت Mn-Zn، NiZn و ۰/۲NiZn +۰/۸MnZn در کاهش اضافه ولتاژهای گذرای بسیار سریع بررسی شده و درصد بهبود این اضافه ولتاژها بواسطه قرار گرفتن این حلقه در نقاط مختلف پست GIS استخراج شده است.

در مطالعات صاعقه، به بررسی اضافه ولتاژ های گذرای ناشی از صاعقه در پست هایی پرداخته می شود که خطوط انتقال توسط سرکابلهایی به کابلهای فشارقوی متصل گردیده و این کابلها نیز به اتوترانسفورماتورهای پست متصل میشوند. این چیدمان معمولا در پستهای GIS دیده میشود که در یک سطح ولتاژ دارای شینه بندی GIS و در سمت دیگر دارای شینه بندی AIS میباشند. اضافه ولتاژهای ناشی از صاعقه در این نوع پستها می تواند منجر به تخریب کابلها شده و برقگیرهای موجود در شبکه نیز جوابگوی محدودسازی دامنه این اضافه ولتاژها نخواهند بود که بدین خاطر امکانسنجی تعداد و محل بهینه نصب برقگیرهای خطوط انتقال (TLSA) ارائه شده است. شینه بندی ۲۳۰ کیلوولت پست ۴۰۰/۲۳۰ کیلوولت GIS نیروگاه بوشهر در این قسمت نیز به عنوان شبکه تحت مطالعه مدنظر قرار گرفته است، زیرا در سمت ۲۳۰ کیلوولت این پست چینش خط-کابل-ترانس قابل رویت است و از طرف دیگر نمونه های واقعی از تخریب تجهیزات در این پست بواسطه اضافه ولتاژهای گذرا نیز گزارش شده است.

در ادامه به بررسی پدیده فرورزونانس در شبکه تحت مطالعه ۴۰۰/۲۳۰ کیلوولت GIS بوشهر پرداخته میشود. در این مطالعات آنچه حائز اهمیت میباشد، مدلسازی مشخصه غیر خطی هسته ترانسفورماتورهای پست مذکور میباشد. از طرفی کلیدزنی آماری به عنوان محرک اصلی بروز فرورزونانس تعریف شده است که با تعریف سناریوهای کلیدزنی، امکانسجی پدیده مذکور مورد مطالعه قرارگرفته است. در این مطالعات، فرورزونانس از دیدگاه دامنه اضافه ولتاژها و مدهای فرورزونانسی مورد بررسی قرار گرفته است و برای تشخیص مدهای مربوطه از تحلیلهای سطح فازی و طیف فرکانسی استفاده شده است. در انتها به بررسی شکل حلقه هیسترزیس هسته ترانسفورماتور بر روی دامنه اضافه ولتاژها پرداخته شده است.

Abstract

The transient overvoltage is one of the main causes at damaging the power system equipments. The transient overvoltage evaluation due to lightning and switching and analyzing the effective factors to accent it could obtain the good situation for presenting the solution of cpntrolling possible problems. Investigating the transient overvoltage at various location of substation and presenting suitable results for reducing the overvoltage make the safe condition from point of view destruction at equipments such as power transformers, isolators, cable accessories, cables and etc. Consequently, the power system reliability and power quality could be improved. So, doing these investigations at power system substations is so essential. Recently using the Gas Insulated Substation (GIS) is used more due to less needed area and insulation concepts.

With mention above introduction for definition the importance level of transient overvoltage at substations, this subject is considered for Master of Science thesis. In this way, two main categories of investigation are focused, namely, lightning transient overvoltages and switching transient overvoltages. At the lightning subdivision, stroking the lightning current to transmission line connected to GIS is simulated and at switching subdivision the Very Fast Transient Overvltage (VFTO) and ferroresonance subjects are studied.

One of the main reasons for electrical insulation breakdown at transformer is VFTO. This phenomenon is cause of the asymmetric electrical field that is produced following the disconnector/circuit breaker action at the GIS. In the project, accurate modeling for various equipments at 400/230 KV GIS Boushehr Substation has been implemented to simulate the VFTO behavior at the GIS.

Then, the ferrite ring protective device has been considered to limit the VFTO magnitude and smooth the time to crest of the VFTO waves. In this way, a new algorithm for ferrite ring frequency depended modeling has been presented at Electromagnetic Transient Program (EMTP) Software. In continues, the optimum dimension of ferrite ring from point of view insulation coordination is determined with applying the Comsol Multiphysics Software. The feasible study for applying the ferrite ring with different composition such as Mn-Zn, Ni-Zn, 0.8MnZn+0.2NiZn has been investigated and the reduced percentage at VFTO magnitude at each composition are reported.

Studying the lightning transient overvoltages is considered as another chapter. In this chapter, the lightning transient overvoltages are investigated at configuration that is common at GIS substations. In this configuration, the transmission lines are directly connected to cables and cables with transformers are connected to GIS switchgear. The ovevoltages with dangerous magnitudes are recorded at this structure. The 230 KV switchgear of Boushehr substation has this condition. The simulation has been proved the surge arresters are not able to damp these overvoltages. So the feasible study for optimum number and location for Transmission Line Surge Arresters (TLSA) have been investigated.

The ferroresonance phenomenon has been investigated at another chapter. In this study, modeling of the hysteresis nonlinear characteristic for transformer core is so essential. The actuator is statistical switching that is opened with normal distribution. In this chapter the ferroresonance phenomena has been evaluated from point of view overvoltages magnitude and ferroresonace mode. For detection the ferroresonance mode the phase-plane method and frequency

spectrum scan are applied. At the end, the hysteresis characteristic parameters are changed to analyze their effect at overvoltgaes magnitude.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

۱ مقدمه ۱۷

فصل دوم: ارایه زیر ساخت های تئوری اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از صاعقه

۲ مقدمه ۲۲

۲.۱ مدل صاعقه و ماکزیمم جریان شکست شیلدینگ خطوط انتقال هوایی ۲۲
۲.۱.۱ فرموله بندی ماکزیمم جریان شکست شیلدینگ ۲۳
۲.۱.۱.۱ مدل های الکتروهندسه ای ۲۳
۲.۱.۱.۲ مدل Eriksson ۲۶
۲.۱.۱.۳ مدل عمومی ۲۶
۲.۱.۱.۴ مدل آماری ۲۸
۲.۲ مینیمم جریان شکست شیلدینگ ۳۱
۲.۳ محاسبه جریان شکست عایقی ۳۳
۲.۳.۱ ضریب کوپلینگ ۳۸
۲.۳.۱.۱ ضریب کوپلینگ بین دو سیم گارد و یک هادی ۳۸
۲.۳.۲ اولین تخمین از نرخ Backflash ۳۹
۲.۳.۳ مقاومت ضربه الکترودهای زمین ۴۱
۲.۳.۳.۱ سیستم زمین متمرکز با استفاده از میخ های زمین ۴۱
۲.۳.۴ تاثیر ولتاژ فرکانس قدرت فازها ۴۳
۲.۳.۵ محاسبه CFO_{NS} ۴۵
۲.۳.۶ زمان پیشانی موج جریان صاعقه، t_f ۴۸
۲.۳.۷ محاسبه BFR به کمک روشCIGRE ۵۲
۲.۴ مشاهدات اضافه ولتاژهای ناشی از برخورد مستقیم صاعقه به هادی های انتقال ۵۲
۲.۴.۱ اضافه ولتاژها در پست GIS ۵۴
۲.۴.۲ اضافه ولتاژ در ترانسفورماتور ۵۵

فصل سوم: ارایه زیر ساخت های تئوری اضافه ولتاژهای گذرای بسیار سریع (VFTO)

۳ مقدمه ۵۸

۳.۱ مدار معادل المان های مختلف پست GIS در بررسی پدیده VFTO ۵۹
۳.۲ اضافه ولتاژهای گذرای بسیار سریع در پست های GIS با عایق ترکیبی $SF_6 - N_2$ ۶۰
۳.۳ بررسی تاثیر رینگ Ferrite در کاهش VFTO ۶۱
۳.۳.۱ مدار معادل رینگ Ferrite ۶۳
۳.۳.۲ محاسبه اندازه و ابعاد حلقه فریت ۶۴
۳.۳.۲.۱ هدایت مغناطیسی ثابت ۶۶
۳.۳.۲.۲ فرکانس ثابت ۶۷

فصل چهارم: ارایه زیر ساخت های تئوری اضافه ولتاژهای ناشی از فرورزونانس

۴ مقدمه ۶۹

۴.۱ تئوری فرورزونانس ۷۰
۴.۱.۱ رزونانس ۷۰
۴.۱.۲ فرورزونانس ۷۰
۴.۱.۳ روند تغییرات نقطه کار فرورزونانس ۷۳
۴.۲ اثرات فرورزونانس ۷۴
۴.۳ آنالیز پدیده فرورزونانس ۷۵
۴.۳.۱ روشهای آنالیز ۷۵
۴.۳.۱.۱ چگالی طیفی ۷۵
۴.۳.۱.۲ سطح فازی ۷۶
۴.۳.۱.۳ نقشه Poincare ۷۶
۴.۴ مدهای فرورزونانس ۷۶
۴.۴.۱ حالت بنیادی ۷۶
۴.۴.۲ حالت زیر هارمونیک ۷۶
۴.۴.۳ حالت شبه متناوب ۷۸
۴.۴.۴ حالت بی نظم ۷۸

فصل پنجم: بررسی اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از صاعقه در شبکه تحت مطالعه

۵ مقدمه ۸۰

۵.۱ محاسبه جریان هایMAXSF، MINSF و BF ۸۳
۵.۲ مدلسازی المانهای شبکه تحت مطالعه ۸۷
۵.۳ شبیه سازی ها ۹۲
۵.۴ ارایه راهکار جهت کاهش اضافه ولتاژهای گذرا ۹۸
۵.۴.۱ نصب برقگیر در پایانه های اتوترانسفورماتور AS1 و 10BS01 ..... ۹۹
۵.۴.۲ نصب برقگیرهای خطوط انتقال ۹۹
۵.۵ نتیجه گیری ۱۰۱

فصل ششم: بررسی اضافه ولتاژهای گذرای بسیار سریع (VFTO) در شبکه تحت مطالعه

۶ مقدمه ۱۰۴

۶.۱ مدلهای حلقه فریت ۱۰۶
۶.۲ روند مدلسازی وابسته به فرکانس حلقه فریت ۱۰۸
۶.۳ صحت بخشی الگوریتم پیشنهادی با نتایج آزمایشگاهی ۱۱۳
۶.۴ مدلسازی شبکه تحت مطالعه ۱۲۱
۶.۵ تعریف سناریوهای کلیدزنی برای بررسی VFTO ۱۲۳
۶.۶ انتخاب ابعاد بهینه حلقه فریت با هدف هماهنگی عایقی گاز SF6 و قید کاهش بیشینه دامنه VFTO ۱۲۵
۶.۷ بررسی تاثیر حلقه فریت در کاهش دامنه اضافه ولتاژهای گذرا ۱۲۶
۶.۸ نتیجه گیری ۱۳۵

فصل هفتم: بررسی اضافه ولتاژهای ناشی از فرورزونانس در شبکه تحت مطالعه

۷ مقدمه ۱۳۸

۷.۱ مدلسازی هسته هیسترزیس ترانسفورماتورها ۱۳۹

۷.۱.۱ مدلسازی اشباع ۱۳۹

۷.۱.۲ مدلسازی هیسترزیس ۱۴۱

۷.۲ مدلسازی شبکه تحت مطالعه ۱۴۲

۷.۳ تعریف سناریوهای کلیدزنی و شبیه سازی ها ۱۴۶

۷.۴ بررسی تاثیر پارامترهای مشخصه هیسترزیس هسته ترانسفورماتورها در اضافه ولتاژهای فرورزونانس ۱۵۴

۷.۵ نتیجه گیری ۱۵۷

فصل هشتم: نتیجه گیری و ارایه پیشنهادات

۸ نتیجه گیری ۱۶۰

۸.۱ نتایج حاصل از مطالعات اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از صاعقه ۱۶۰

۸.۲ نتایج حاصل از مطالعات اضافه ولتاژهای گذرای بسیار سریع (VFTO) ۱۶۱

۸.۳ نتایج حاصل از مطالعات اضافه ولتاژهای ناشی از فرورزونانس ۱۶۳

۸.۴ پیشنهادات ۱۶۶

۹ پیوست ها ۱۶۷

۹.۱ پیوست ۱- شماتیک شبکه پیاده سازی شده در محیط نرم افزار EMTP-RV به منظور مطالعات صاعقه ۱۶۷

۹.۲ پیوست ۲- شماتیک شبکه پیاده سازی شده در محیط نرم افزار EMTP-RV به منظور مطالعات VFTO ۱۶۸

۹.۳ پیوست ۳- شماتیک شبکه پیاده سازی شده در محیط نرم افزار EMTP-RV به منظور مطالعات فرورزونانس ۱۶۹

۱۰ مراجع ۱۷۰

فهرست اشکال

شکل ۲-۱- آنالیزهای شیلدینگ خطوط انتقال ۲۵
شکل ۲-۲- رابطه بین ارتفاع سیم گارد و ماکزیمم جریان شکست شیلدینگ ۳۰
شکل ۲-۳- منحنی توزیع احتمال جریان صاعقه ۳۲
شکل ۲-۴- ولتاژهای ایجاد شده در برج و در دو سر مقره ۳۳
شکل ۲-۵- برخورد صاعقه به برج ۳۵
شکل ۲-۶- منحنی Latice موج سیار ایجاد شده در برج ۳۶
شکل ۲-۷- ولتاژ در نقطه بالای برج ۳۷
شکل ۲-۸ ضریب کوپلینگ e2/e1 ..... ۳۸
شکل ۲-۹- ضریب کوپلینگ بین دو سیم گارد و یک هادی ۳۹
شکل ۲-۱۰- تبدیل میله به نیم کره در جریان های بالا ۴۲
شکل ۲-۱۱- عملکرد چند میله زمین به عنوان یک نیم کره ۴۲
شکل ۲-۱۲- خط سه فاز با ضرایب کوپلینگ و ولتاژهای برج متفاوت ۴۴
شکل ۲-۱۳- مشخصه ولتاژ دو سر مقره (- حالت واقعی، --- حالت تقریبی) ۴۶
شکل ۲-۱۴- فرآیند شکست عایقی ۴۷
شکل ۲-۱۵- مقایسه ولتاژهای ایجاد شده در نقطه بالای برج ۴۹
شکل ۲-۱۶- تغییرات دامنه جریان بحرانی نسبت به تغییرات زمان پیشانی موج ۵۰
شکل ۲-۱۷- محاسبه BFR با لحاظ نمودن تمامی زمان های پیشانی موج ۵۱
شکل ۲-۱۸- روند محاسبه جریان Back flash و زمان شکست ۵۳
شکل ۲-۱۹- ولتاژهای ایجاد شده در ترمینالهای GIS بواسطه تغییرات زمان پیشانی موج صاعقه ۵۵
شکل ۲-۲۰- شکل موج ولتاژ گذرا در پایانه ترانس Shell-type بواسطه تغییرات زمان پیشانی موج صاعقه ۵۶
شکل ۲-۲۱- شکل موج ولتاژ گذرا در پایانه ترانس Core-type بواسطه تغییرات زمان پیشانی موج صاعقه ۵۶
شکل ۳-۱ مجموعه اندازه گیری VFTO در یک GIS آزمایشگاهی ۶۲
شکل ۳-۲نمونه آزمایشگاهی رینگ Ferrite جهت میرایی VFTO ۶۲
شکل ۳-۳امواج VFTO ۶۳
شکل ۳-۴-مدار معادل رینگ Ferrite ۶۳
شکل ۳-۵- رابطه بین تلفات توان و فرکانس ۶۴
شکل ۳-۶- حلقه فریت ۶۴
شکل۳-۷ - وابستگی ضریب مقیاسی هیسترزیس مغناطیسی به فرکانس در ماده فریت ۶۶
شکل ۳-۸- رابطه بین دما و هدایت مغناطیسی و ضریب هیسترزیس فریت ۶۷
شکل ۴-۱ مدار فرورزونانس سری ۷۱
شکل ۴-۲ تحلیل گرافیکی یک مدار فرورزونانس سری ۷۲
شکل ۴-۳ روند تغییرات نقطه کار فرورزونانس با افزایش ولتاژ E ۷۳
شکل ۴-۴ روند تغییرات نقطه کار فرورزونانس با افزایش ظرفیت خازنی C ۷۳
شکل ۴-۵ شرایط جلوگیری از فرورزونانس متناوب ۷۴
شکل ۴-۶ نمونه ای از رفتار سیستم در حالت بنیادی فرورزونانس ۷۷
شکل ۴-۷ نمونه ای از رفتار سیستم در حالت زیرهارمونیک فرورزونانس ۷۷
شکل ۴-۸ نمونه ای از رفتار سیستم در حالت نامنظم فرورزونانس ۷۸

شکل ۵-۱دیاگرام تک خطی شبکه تحت مطالعه ۸۲
شکل ۵-۲ معرفی پارامترهای به کار رفته در IMaxSF ۸۴
شکل ۵-۳ معرفی شماتیک پارامترهای لازم برای محاسبه ضریب کوپلینگ ۸۶
شکل ۵-۴ مشخصات برج ۲۳۰ کیلوولت و مدلسازی امپدانس موجی هر قسمت آن ۸۹
شکل ۵-۵ مشخصات گنتری پست ۹۰
شکل ۵-۶ مشخصه V-I عناصر غیر خطی مدل IEEE برقگیر ۹۰
شکل ۵-۸روند عبور اضافه ولتاژهای گذرا در ۴ برج اولیه (A,B,C,D) ناشی از برخورد IMaxSF به بالاترین فاز برج D (c) خط AL06 ۹۴
شکل ۵-۹ تغییرات شکل موج ولتاژ گذرای در ابتدا و انتهای کابل C2 و عبور از اتوترانس AS1 بر اثر برخورد IMaxSF به بالاترین فاز برج D (c) خط AL06 ۹۴
شکل ۵-۱۰روند عبور اضافه ولتاژهای گذرا در ۴ برج اولیه (A,B,C,D) ناشی از برخورد IMinSF به بالاترین فاز برج D (c) خط AL06 ۹۵
شکل ۵-۱۱تغییرات شکل موج ولتاژ گذرای در ابتدا و انتهای کابل C2 و عبور از اتوترانس AS1 بر اثر برخورد IMinSF به بالاترین فاز برج D (c) خط AL06 ۹۵
شکل ۵-۱۲روند عبور اضافه ولتاژهای گذرا در فازهای بالای (c,a_1) ۴ برج اولیه (A,B,C,D) ناشی از برخورد IBF به برج D و در حد واصل دو سیم گارد ۹۶
شکل ۵-۱۳جریان های عبوری از برقگیر SA5 در حالات برخورد IMaxSF,IMinSF به خط AL06 ۹۶
شکل ۵-۱۴روند تغییرات دامنه ولتاژ کذرا در طول مسیر AL06 در حالات مختلف ۹۷
شکل ۵-۱۵روند تغییرات دامنه ولتاژ کذرا در طول مسیر AL05 در حالات مختلف ۹۷
شکل ۵-۱۶نمونه ای از نصب برقگیر خطوط انتقال در خط 115 kV ۹۹
شکل ۶-۱ الگوریتم مدلسازی حلقه فریت (وابسته به فرکانس) ۱۱۱
شکل ۶-۲ طیف ضریب گذردهی نسبی (a) MnZn (b) NiZn (c)۰/۸ MnZn+۰/۲NiZn ۱۱۳
شکل ۶-۳ شماتیک مدار کلیدزنی برای بررسی تاثیر حلقه فریت ۱۱۴
شکل ۶-۴ مدار معادل الکتریکی حالت تحت مطالعه ۱۱۴
شکل ۶-۵ مدار معادل PI برای باس بار GIS ۱۱۵
شکل ۶-۶ اضافه ولتاژهای گذرای انتهای باس بار GIS بدون استفاده از حلقه فریت a) حالت اندازه گیری آزمایشگاهی b)مرجع [۷۵] و با نرم افزارc Dadisp) مدل ارایه شده و با نرم افزار EMTP-RV ۱۱۸
شکل ۶-۷ اضافه ولتاژهای گذرای انتهای باس بار GIS با استفاده از حلقه فریت a NiZn) حالت اندازه گیری آزمایشگاهی b) مرجع [۷۵]و با نرم افزارc Dadisp) مدل ارایه شده و با نرم افزار EMTP-RV ۱۱۹
شکل ۶-۸ تاثیر مواد فرو مغناطیسی متفاوت بر روی VFTO ۱۲۰
شکل ۶-۹ دامنه VFTO در حضور و عدم حضور حلقه فریت با مواد مختلف فرو مغناطیسی ۱۲۱
شکل ۶-۱۰ دیاگرام تک خطی پست GIS (400/230) Kv بوشهر ۱۲۲
شکل ۶-۱۱روند تغییرات (الف) سطح ولتاژ و (ب) شدت میدان الکتریکی در حالت ابعاد بهینه حلقه فریت ۱۲۷
شکل ۶-۱۲ اضافه ولتاژهای گذرا در نقطه TOFF11 در سناریوی ۱ ، در صورت حضور و عدم حضور حلقه فریت ۱۲۸
شکل ۶-۱۳ روند تغییرات دامنه VFTO در طول مسیر کلیدزنی سناریوی ۱ ، در صورت حضور و عدم حضور حلقه فریت ۱۲۹
شکل ۶-۱۴ اضافه ولتاژهای گذرا در نقطه TOFF1 در سناریوی ۲ ، در صورت حضور و عدم حضور حلقه فریت ۱۲۹
شکل ۶-۱۵ روند تغییرات دامنه VFTO در طول مسیر کلیدزنی سناریوی ۲ ، در صورت حضور و عدم حضور حلقه فریت ۱۳۰
شکل ۶-۱۶ اضافه ولتاژهای گذرا در نقطه TOFF10 در سناریوی ۳ ، در صورت حضور و عدم حضور حلقه فریت ۱۳۰
شکل ۶-۱۷ روند تغییرات دامنه VFTO در طول مسیر کلیدزنی سناریوی ۳ ، در صورت حضور و عدم حضور حلقه فریت ۱۳۱

شکل ۶-۱۸ اضافه ولتاژهای گذرا در نقطه TOFF5 در سناریوی ۴ ، در صورت حضور و عدم حضور حلقه فریت ۱۳۱
شکل ۶-۱۹ روند تغییرات دامنه VFTO در طول مسیر کلیدزنی سناریوی ۴ ، در صورت حضور و عدم حضور حلقه فریت ۱۳۲
شکل ۶-۲۰ اضافه ولتاژهای گذرا در نقطه X7 در سناریوی ۵ ، در صورت حضور و عدم حضور حلقه فریت..... ۱۳۲
شکل ۶-۲۱ روند تغییرات دامنه VFTO در طول مسیر کلیدزنی سناریوی ۵ ، در صورت حضور و عدم حضور حلقه فریت ۱۳۳
شکل ۷-۱ نمایش تابع اشباع ۱۴۰
شکل ۷-۲ نمایش تابع هیسترزیس ۱۴۲
شکل ۷-۳منحنی شار-جریان هسته ترانسفورماتورها ۱۴۲
شکل ۷-۴ تبدیل منحنی شار-جریان به مشخصه هیسترزیس..... ۱۴۳
شکل ۷-۵ توزیع نرمال کلیدزنی برای مطالعات فرورزونانس..... ۱۴۶
شکل ۷-۶ شکل موج ولتاژ ایجاد شده در سمت فشار قوی AS2 در سناریوی ۱..... ۱۴۸
شکل ۷-۷ مشخصه شار- ولتاژ به منظور تحلیل سطح فازی هسته اتو ترانسفورماتور AS2 در سناریوی۱ ..... ۱۴۹
شکل ۷-۸شکل موج ولتاژ ایجاد شده در سمت فشار قوی AS2 در سناریوی ۲ و در مد زیرهارمونیک ۱۵۰
شکل ۷-۹ طیف فرکانسی ولتاژ فاز b سمت فشار قوی اتو ترانسفورماتور AS2 در سناریوی ۲ و در مد زیر هارمونیک ۱۵۰
شکل ۷-۱۰ مشخصه شار- ولتاژ به منظور تحلیل سطح فازی هسته اتو ترانسفورماتور AS2 در سناریوی۲ و در مد زیرهارمونیک..... ۱۵۱
شکل ۷-۱۱ شکل موج ولتاژ ایجاد شده در سمت فشار قوی AS1 در سناریوی ۵ و در مد بنیادی ۱۵۲
شکل ۷-۱۲ طیف فرکانسی ولتاژ فاز c سمت فشار قوی اتو ترانسفورماتور AS1 در سناریوی ۵ و در مد بنیادی ۱۵۲
شکل ۷-۱۳ مشخصه شار- ولتاژ به منظور تحلیل سطح فازی هسته اتو ترانسفورماتور AS1 در سناریوی۵ و در مد بنیادی۱۵۲
شکل ۷-۱۴ دیاگرام تک خطی شبکه تحت مطالعه در مطالعات فرورزونانس به همراه شماتیک سناریوی ۵ کلیدزنی ۱۵۳
شکل ۷-۱۵ تغییرات دامنه اضافه ولتاژهای سمت فشار قوی اتوترانسفورماتور AS1 به ازای تغییرات S_{hv}..... ۱۵۴
شکل ۷-۱۶ تغییرات دامنه اضافه ولتاژهای سمت فشار قوی اتوترانسفورماتور AS1 به ازای تغییرات S_{sh} ۱۵۵
شکل ۷-۱۷ تغییرات دامنه اضافه ولتاژهای سمت فشار قوی اتوترانسفورماتور AS1 به ازای تغییرات Csat..... ۱۵۶
شکل ۷-۱۸ تغییرات دامنه اضافه ولتاژهای سمت فشار قوی اتوترانسفورماتور AS1 به ازای تغییرات Y_{sh}..... ۱۵۶

فهرست جداول

جدول ۲-۱- ضرایب γ ,B,A در روشهای مختلف ۲۴
جدول ۲-۲- پارامترهای G,ζ,F,E,ξ ۲۸
جدول ۲-۳- ضرایب همبستگی c_2,c_1 و فرمول های محاسبه δ ۲۸
جدول ۵-۱مقادیر امپدانسهای موجی قسمتهای مختلف برج دو مداره ۲۳۰ کیلوولت ۸۸
جدول ۵-۲ مدلهای المانهای شبکه تحت مطالعه ۹۱
جدول ۵-۳ سناریوهای مختلف قرارگیری برقگیرها ۱۰۰
جدول ۵-۴ جدول بررسی سناریوهای بهینه در پی برخورد صاعقه به برجهای مجاور ۱۰۱
جدول ۶-۱ شاخص کارهای صورت گرفته در زمینه مدلسازی حلقه فریت ۱۰۷
جدول ۶-۲ مقادیر پارامترهای به کار رفته در معادلات (۶-۱۰) و(۶-۱۱) ۱۱۳
جدول ۶-۳ مقادیر و مدل های به کار رفته برای المان های مختلف پست GIS (400/230) kV برای مطالعات VFTO ۱۲۲
جدول ۶-۴ تعریف سناریوهای کلیدزنی ۱۲۴
جدول ۶-۵ اطلاعات ناشی از مطالعات انتخاب بهینه ابعاد حلقه فریت ۱۲۸
جدول ۶-۶ درصد کاهش بیشترین دامنه VFTO در سناریوهای مختلف ۱۳۴
جدول ۷-۱ پارامترها و مقادیر مشخصه هیسترزیس ترانسفورماتورهای شبکه تحت مطالعه ۱۴۳
جدول ۷-۲ مدلهای ترانسفورماتورهای شبکه تحت مطالعه به منظور مطالعات فرورزونانس ۱۴۴
جدول ۷-۳ اطلاعات مدل PI باس بارهای GIS ۱۴۴
جدول ۷-۴ اطلاعات مدل PI کابلهای XLPE ۱۴۴
جدول ۷-۵ سناریوهای کلیدزنی مطالعات فرورزونانس ۱۴۷

فصل اول

مقدمه

۱ مقدمه

در این پروژه به بررسی اضافه ولتاژ های گذرا در پست های GIS پرداخته می شود. یکی از مشکلاتی که امروزه در پست های GIS دیده می شود ترکیدگی قطعات این نوع پست ها در برابر اضافه ولتاژهای گذرا می باشد. منشأ ایجاد این چنین اضافه ولتاژها از دو عامل اصلی می باشد، یکی برخورد صاعقه به خطوط منتهی به پست ها و دیگری اعمال کلید زنی در پست می باشد. مبحث کلید زنی به عنوان یک محرک اصلی جهت بروز پدیده های مختلف در پست می باشد. این پدیده ها که همگی منجر به اضافه ولتاژ در نقاط مختلف پست GIS می گردد عبارت است از پدیده فرورزونانس، سوئیچینگ و اضافه ولتاژ های بسیار سریع (VFTO).

در پدیده برخورد صاعقه به خطوط انتقال منتهی به پست بایست از طریق روشها و استانداردهای محاسبه شیلدینگ خطوط، ماکزیمم و مینیمم جریان شکست شیلدینگ و جریان شکست عایقی را محاسبه نمود و تحت سناریوهای ممکن به بالاترین فاز خطوط انتقال و سیم گارد در برجهای نزدیک به پست اعمال نمود. در پی برخورد این جریانها، اضافه ولتاژهای ایجاد شده در پست بواسطه رفت و برگشت امواج سیار مورد بررسی قرار میگیرد. با توجه به اینکه معمولا در پستهای GIS و در یک سطح ولتاژ، شینه بندی AIS

با ترکیب خط انتقال-کابل-ترانس-باس داکت GIS میباشد لذا در این پروژه اضافه ولتاژهای ناشی از صاعقه در سیستمهای مذکور مورد مطالعه قرار گرفته است. از طرفی اضافه ولتاژهای ایجاد شده بواسطه برخورد صاعقه در بازه های زمانی حدود میکرو ثانیه مورد مطالعه قرار میگیرد که معمولا دارای طیف فرکانسی KHZ میباشند.

نوع دیگر اضافه ولتاژهای گذرا که در این پروژه مورد بررسی قرار گرفته است، اضافه ولتاژهای گذرای بسیار سریع (VFTO) بواسطه کلیدزنی میباشد. این نوع اضافه ولتاژها که بسیار به نوع شینه بندی پستهای GIS بستگی دارد تا حدود ۳ پریونیت در مطالعات و تحقیقات قبلی گزارش شده است. بازه های زمانی این اضافه ولتاژها در حد چند نانوثانیه بوده و لذا دارای پیشانی های موج بسیار تیزی میباشند. این پیشانی موج منجر به بروز طیف های فرکانسی بالا در حد MHZ در سیستم میگردد. بایست متذکر شد که بدلیل زمان بسیار کم این اضافه ولتاژها، انرژی تخلیه شده به ظرفیت عایقی تجهیزات در حدی نمیباشد که بتواند منجر به شکست الکتریکی در آنها گردد. ولیکن همیشه شکست عایقی بواسطه یک تنش ایجاد نگردیده و ممکن است چندین فرآیند کلیدزنی که منجر به کاهش عمر عایقی تجهیزات در یک بازه زمانی طولانی میشود، عامل شکست عایقی گردد. تاثیر اصلی پدیده VFTO بر سیستمهای قدرت، کاهش عمر عایقی تجهیزات شبکه بخصوص ترانسفورماتورها، بواسطه امواجی است که دارای زمانهای پیشانی موج بسیار کم و در نتیجه تیزی موج زیادی هستند. واضح است که تاثیر پذیری ظرفیت های عایقی تجهیزات ضعیفتر به مانند سرکابلها، مفصلها و یا ترانسفورماتورهای ولتاژ به این اضافه ولتاژها بسیار بیشتر میباشد.

با مطالعات و مدلسازی دقیق پست ها در برابر عوامل ایجاد این پدیده ها بستر مناسبی برای طراحی و پیاده سازی پستها با قابلیت اطمینان بالا را فراهم می آورد تا بعد از ساخت پست، مشکلات تخریب تجهیزات و خارج شدن پست از شبکه که خطرات فراوانی را برای امنیت شبکه به همراه دارد، رخ ندهد. چنانچه مطالعات اضافه ولتاژهای گذرا در طراحی اولیه پست مد نظر قرار نگیرد و بعد از در مدار قرار گرفتن آن در شبکه، مشکلاتی از قبیل ترکیدگی تجهیزات در پست رویت شود بایست از تجهیزات حفاظتی جدیدی در این پست استفاده نمود که اغلب بدلیل شرایط فیزیکی و فضای موجود پست امکان استفاده از ادوات جدید امکان پذیر نمیباشد. در این پروژه مطالعات بر روی یک پست واقعی که در حال حاضر در شبکه است صورت

میگیرد و سعی به ارائه ایده هایی برای رفع اضافه ولتاژ های محتمل نموده است که قابلیت صنعتی سازی و نصب و راه اندازی آنها وجود داشته باشد.

دسته دیگری از مطالعات که در این پروژه مد نظر قرار گرفته است، بررسی اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از فرورزونانس در پستهای GIS میباشد. یکی از پدیده های متداولی که در پستها رخ میدهد و بدلیل ظرفیت خازنی بالای پستهای GIS در این پستها محتمل تر میباشد، پدیده فرورزونانس میباشد. این پدیده بواسطه یک عامل تحریک کننده اولیه که معمولا کلیدزنی میباشد رخ می دهد و به دو صورت اضافه ولتاژهای گذرا و موقت دیده میشود. برای تحلیل این پدیده در پستها، بیشتر از هر چیزی بایست به مدلسازی حلقه هیسترزیس ترانسفورماتورهای موجود در پست دقت نمود. با توجه به اینکه پدیده فوق در حالاتی ایجاد میگردد که مدار دارای مقاومت کم و ظرفیت خازنی و سلف غیر خطی میباشد، لذا بایست سناریوهای کلیدزنی جهت ایجاد چنین شرایطی مورد مطالعه قرار گیرد.

به صورت کلی این پروژه در ۸ فصل تقسیم گردیده است. در فصل اول مقدمات مطرح شده است و در فصول دوم تا چهارم زیر بناهای تئوری حالات گذرای پدیده های صاعقه، VFTO و فرورزونانس و مطالعات و تحقیقات صورت گرفته در این زمینه ها مورد بحث و تفسیر قرار گرفته است. در فصل پنجم، اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از برخورد صاعقه در شبکه تحت مطالعه مورد بحث قرار گرفته است. در فصل ششم، اضافه ولتاژهای گذرای بسیار سریع (VFTO) در شبکه تحت مطالعه آنالیز و تحلیل شده است. در فصل هفتم، اضافه ولتاژهای ناشی از فرورزونانس در شبکه تحت مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است و نهایتا در فصل هشتم، نتیجه گیری و ارایه پیشنهادات ارایه شده است.

از طرفی فعالیتهای این پروژه در دو مرحله ارایه شده است. در مرحله اول به ارایه زیربناهای تئوری و اصول فیزیکی پدیده های گذرا در پستهای GIS و بیوگرافی این مطالعات در ۴ فصل اول پرداخته شده است و در مرحله دوم پس از ایجاد یک بستر مناسب، به پیاده سازی ایده ها و مطالعات حالات گذرا در شبکه تحت مطالعه و در محیط نرم افزار EMTP-RV و Comsol Multiphysics پرداخته شده است. با این روند، وجه های تمایز این پروژه و ایده های ارایه شده شفاف گریده است. به منظور بررسی و آنالیز ایده های پیشنهادی فوق در این پایان نامه یک پست GIS در شبکه برق ایران به منظور شبیه سازی و مدلسازی مد نظر قرار میگیرد. با بررسی های صورت گرفته بین پستهای موجود در شبکه برق ایران دیده شده که مشکل

ناشی از اضافه ولتاژهای گذرا در پست GIS چغادک-بوشهر نیروگاه اتمی بوشهر حادتر است لذا این پست به عنوان Case Study در پایان نامه معرفی گردیده و مورد بررسی و پیاده سازی ایده های پیشنهادی واقع میگردد. در این راستا، شبکه تحت مطالعه برای انجام سه مطالعه اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از صاعقه، اضافه ولتاژهای گذرای بسیار سریع و فرورزونانس مدلسازی میگردد و در زمینه اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از صاعقه به ارایه چینش و تعداد بهینه برقگیرهای خط انتقال برای کاهش اضافه ولتاژهای گذرا به عنوان یک راهکار مناسب پرداخته شده است. از طرفی نوآوری اصلی این پروژه در بخش اضافه ولتاژهای گذرای بسیار سریع و مدلسازی وابسته به فرکانس عامل محدودساز حلقه فریت پرداخته شده است ودر انتها با مدلسازی مشخصه هیسترزیس هسته ترانسفورماتورها به بررسی تاثیر این حلقه در اضافه ولتاژهای ایجاد شده پرداخته شده است. قابل ذکر است که مطالعات بسیار کامل تری در این زمینه ها صورت گرفته است که در ادامه به آن پرداخته شده است و در این قسمت تنها نوآوری ها و وجه های تمایز این تحقیق با تحقیقهای اخیر اشاره شده است.