بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی برق

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

بررسی مسایل زمین کردن در اتصال ژنراتور ۴۰۰ولت به شبکه ۲۰کیلوولت

استاد راهنما:

آقای دکتر مجتبی پیشوایی

آقای دکتر فرزاد رضوی

استاد مشاور:

آقای دکتر کیهان شش‌یکانی

دانشجو:

علی اصغر پاک‌نعمت

۱۳۸۹

تقدیم به پدر، مادر عزیزم که با یاری و حمایت بی‌دریغشان، فراز و نشیب دوران تحصیل را هموار ساختند.

بر خود می‌دانم که از زحمات اساتید ارجمند خود در مقطع کارشناسی ارشد جناب آقای دکتر پیشوایی، دکتر مشگین‌کلک و دکتر رضوی، تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از دوستان بسیار عزیزم، مهندس حسینی، نصیری‌زرندی، کریمی و حاجی‌زاده که مرا یاری رساندند، کمال تشکر را دارم.

چکیده

یکی از مباحث مهم در ارتباط با تولید، انتقال، توزیع و مصرف انرژی الکتریکی، زمین کرن تجهیزات الکتریکی (و حتی غیر الکتریکی فلزی) است. حفاظت در برابر شوک‌های الکتریکی ، اضافه ولتاژهای پرخطر و تثبیت ولتاژ نقطه صفر خنثی مدارهای الکتریکی مهم‌ترین اهداف زمین‌کردن تجهیزات الکتریکی است. تاکنون در این زمینه استانداردها، آیین نامه‌ها و سیستم‌های پیشنهادی متعددی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این پروژه سعی بر آن بوده که این استانداردها و روش‌های تعریف‌شده در آن مطالعه شود و با شبیه‌سازی برای مسئله اصلی خود یعنی اتصال ژنراتور ۴۰۰ولت به شبکه توزیع ۲۰کیلوولت دانشگاه تفرش، این روش‌ها ارزیابی و مورد آزمون قرار گیرند و در نهایت یک سیستم زمین مناسب که ایمنی شبکه را درهنگام وقوع خطا فراهم آورد، ارائه گردد.

کلمات کلیدی : سیستم زمین، گروندینگ، ارتینگ، زمین کردن، شبکه۲۰کیلوولت

.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱.سیستم زمین ۲

۱-۱) مقدمه ۲

۱-۲) فلسفه و تاریخچه ارت ۳

فلسفه ارت کردن ۳

۱-۳) جریان های بدن ناشی از ولتاژهای تماس و گام ۵

۱-۴) ارزیابی ایمنی سیستم زمین ۸

۱-۴-۱) شوک الکتریکی افراد ۹

۱-۴-۲) تعیین ایمنی ۱۰

۱-۵) انواع زمین کردن ۱۱

۱-۵-۱) زمین کردن الکتریکی ۱۲

۱-۵-۲) ترانس زمین ۱۴

۱-۵-۳) گروندینگ بار ۱۴

۱-۵-۴) زمین کردن حفاظتی ۱۵

۱-۶) اندازه گیری مقاومت ویژه خاک ۱۶

۱-۶-۱) روش ونر ۱۶

۱-۶-۲) روش جعبه تست ۱۸

۱-۷) اندازه گیری مقاومت شبکه زمین ۱۸

۱-۷-۱) روش ۶۲٪ ۱۹

۲.سیستم زمین فشار ضعیف ۲۱

۲-۱) تماس مستقیم و غیر مستقیم ۲۱

۲-۱-۱) تماس مستقیم و واحدهای حفاظتی ۲۱

۲-۱-۲) تماس غیر مستقیم، مقیاس های حفاظت و پیشگیری ۲۲

هم پتانسیل کردن همزمان بدنه های دسترس پذیر ۲۲

مدیریت خطر الکتریکی ۲۳

۲-۲) تقسیم بندی سیستم های فشار ضعیف از نظر روش زمین کردن ۲۴

۲-۳) سیستم TN ۲۷

۲-۳-۱) بررسی تغییرات ولتاژ هادی حفاظتی/خنثی (PEN) در صورت پارگی ۲۹

فهرست مطالب

۲-۳-۲) نحوه تقسیم ولتاژ درصورت بروز اتصال کوتاه بین هادی های فاز و حفاظتی در سیستم TN ۳۰

۲-۳-۳) پیاده سازی ۳۱

۲-۴) سیستم TT ۳۱

۲-۴-۱) پیاده سازی ۳۳

۲-۵) سیستم IT ۳۳

۲-۵-۱) عملکرد سیستم ۳۴

۲-۵-۲) محاسبه جریان های خطا و ولتاژ تماسی در اولین خطای عایقی ۳۴

وضعیت کلی (خطای مقاومتی) ۳۴

اثر خازن های توزیع شده بر روی شبکه ۳۷

نمودار برداری در حالت وجود خطای عایقی کامل ۳۷

۲-۵-۳) خطای عایقی دوم در سیستم ارتینگ IT ۳۸

آنالیز خطای عایقی مضاعف ۳۹

ولتاژ تماسی و جریان خطای مضاعف، هنگامی که بدنه ها اتصال داخلی باشند ۳۹

ولتاژ تماسی و جریان خطای مضاعف، هنگامی که بدنه ها اتصال داخلی نداشته باشند ۴۰

رفع خطای عایقی مضاعف ۴۱

نمونه بدنه های به هم پیوسته ۴۱

نمونه بدنه های کاربردی با اتصالات زمین مجزا ۴۲

۲-۶) تکامل سیستم های زمین ۴۳

۲-۶-۱) تکامل سیستم TN ۴۳

۲-۶-۲) تکامل سیستم IT ۴۴

۲-۶-۳) تکامل سیستم TT ۴۵

۲-۷) انتخاب سیستم زمین ۴۷

۲-۷-۱) برای کاربران و متصدیان ۴۷

۲-۷-۲) برای طراحان تأسیسات ۴۹

۲-۷-۳) انتخاب صحیح ۵۰

۳.شبیه سازی شبکه توزیع برق دانشگاه تفرش ۵۱

۳-۱) مقدمه ۵۱

۳-۲) شبکه توزیع برق دانشگاه ۵۱

۳-۳) شبیه سازی ترانسفورماتورهای شبکه ۵۲

فهرست مطالب

۳-۴) دیزل ژنراتور ۵۴

۳-۵) نتایج شبیه سازی ۵۵

۳-۶) پیاده سازی حالت های مختلف سیستم زمین روی شبکه دانشگاه تفرش ۵۸

۳-۶-۱) روش TT ۵۹

خطای فاز به بدنه ژنراتور ۵۹

اضافه ولتاژ ناشی از اعمال صاعقه ۶۰

۳-۶-۲) روش TN ۶۲

خطای فاز به بدنه ژنراتور ۶۲

اضافه ولتاژ ناشی از اعمال صاعقه ۶۳

۳-۶-۳) روش IT ۶۵

خطای فاز به بدنه ژنراتور ۶۵

اضافه ولتاژ ناشی از اعمال صاعقه ۶۶

٤.نتیجه‌گیری و پیشنهاد ٦٨

نتیجه گیری ۶۸

پیشنهاد ۶۹

۵.پیوست ۷۰

۵-۱) بررسی سیستم های زمین ساده ۷۰

۵-۱-۱) الکترود نیمکره ای در سطح ۷۰

۵-۱-۲) سیستم های دیگر زمین ساده ۷۱

۵-۲) منابع ازدیاد ولتاژ ۷۳

۵-۳) نمایش هوایی شبکه توزیع برق دانشگاه تفرش ۷۴

۵-۴) اطلاعات فنی ژنراتور ۷۵

۵-۵) جدول استاندارد مشخصات خطوط ۷۷

٦.مراجع ۷۸

فهرست شکل‌ها

شکل صفحه

شکل ۱-۱ اولین خطا بدون رخداد حادثه ای ۳
شکل ۱-۲ خطای مضاعف و روشن شدن فیوز ٤
شکل ۱-۳ زمین کردن بدنه های بار ٤
شکل ۱-۴ عدم نصب ارت مناسب ٥
شکل ۱-۵ مدار معادل برای محاسبه جریان های بدن ناشی از ولتاژ گام ٦
شکل ۱-۶ مدار معادل برای محاسبه جریان های بدن ناشی از ولتاژ تماسی ۷
شکل ۱-۷ نواحی جریان/ زمان اثرات ac بر اشخاص بر اساس استاندارد IEC 60479-1..... ۹
شکل ۱-۸ مدار خنثی سیستم و دیاگرام های معادل برای سیستم های زمین شده و زمین نشده ۱۳
شکل ۱-۹ گراند تجهیزات ۱۵
شکل ۱-۱۰ اندازه گیری مقاومت ویژه خاک به روش ونر ۱۷
شکل ۱-۱۱ اندازه گیری مقاومت ویژه خاک به روش جعبه تست ۱۸
شکل ۱-۱۲ اندازه گیری مقاومت شبکه زمین به روش افت ولتاژ ۱۹
شکل ۱-۱۳ اندازه گیری مقاومت شبکه زمین به روش ۶۲٪ ۱۹
شکل ۱-۱۴ منحنی R بر حسب P ۲۰
شکل ۲-۱ تماس مستقیم ۲۱
شکل ۲-۲ تماس غیر مستقیم ۲۲
شکل ۲-۳ هم پتانسیلی در یک ساختمان ۲۳
شکل ۲-۴ نحوه اتصال خنثی به مبدأ تأسیسات ۲٤
شکل ۲-۵ نحوه اتصال بدنه های بارهای الکتریکی ۲٤
شکل ۲-۶ نحوه بکارگیری هادی های حفاظتی و خنثی ۲۵
شکل ۲-۷ سیستم های زمین بر اساس استاندارد IEC 60364 ..... ۲٦
شکل ۲-۸ نمونه ای از سیستم های ارتینگ متفاوت در یک تأسیسات ۲۷
شکل ۲-۹ ولتاژ و جریان خطا در سیستم TN ۲۷
شکل ۲-۱۰ مکان هندسی نقطه N بدون وجود اتصال زمین بعد از پارگی هادی PEN ۲۹
شکل ۲-۱۱ مکان هندسی نقطه N با وجود اتصال زمین بعد از پارگی هادی PEN ۳۰

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱۲ نحوه پخش ولتاژ در حالت وجود اتصال زمین سیستم فقط در محل منبع نیرو و اتصالی بین فاز و هادی حفاظتی در نقطه A ۳۱

شکل ۲-۱۳ ولتاژ و جریان خطا در سیستم TT ۳۲

شکل ۲-۱۴ اساس کار کلیدهای RCD ۳۳

شکل ۲-۱۵ خطای عایقی اول(الف) و دوگانه (ب وج) در سیستم IT ۳۵

شکل ۲-۱۶ ولتاژ تماسی در خطای عایقی اول ۳۷

شکل ۲-۱۷ نقطه خنثی مصنوعی ناشی از خازن های توزیع شده شبکه ۳۷

شکل ۲-۱۸ نمودار برداری در سیستم IT ۳۸

شکل ۲-۱۹ تکامل سیستم TN ٤٤

شکل ۲-۲۰ تکامل سیستم IT ٤٥

شکل ۲-۲۱ تکامل سیستم TT ٤٦

شکل ۲-۲۲ چندین سیستم زمین دربردارنده تأسیسات LV یکسان ٥٠

شکل ۳-۱ شبکه توزیع برق دانشگاه تفرش ٥٢

شکل ۳-۲ نحوه سیم بندی گروه برداری Yzn5 ..... ٥٣

شکل ۳-۳ نحوه سیم بندی گروه برداری Dyn5 ..... ٥٣

شکل ۳-۴ نمونه ای از مدلسازی خطوط انتقال ٥٦

شکل ۳-۵ مدلسازی دیزل ژنراتور ٥٦

شکل ۳-۶ نقشه شبیه سازی شده شبکه توزیع برق دانشگاه تفرش در نرم افزار MATLAB ٥٧

شکل ۳-۷ ولتاژ ترمینال ژنراتور ٥٨

شکل ۳-۸ مقایسه بین ولتاژ اولیه و ثانویه ترانسفورماتورها ٥٨

شکل ۳-۹ روش TT ٥٩

شکل ۳-۱۰ ولتاژ بدنه ژنراتور نسبت به زمین در اثر خطای فاز به بدنه در روش TT ٥٩

شکل ۳-۱۱ ولتاژ نول نسبت به زمین در اثر خطای فاز به بدنه در روش TT ٦٠

شکل ۳-۱۲ جریان عبوری از بدنه در اثر خطای فاز به بدنه در روش TT ٦٠

شکل ۳-۱۳ ولتاژ بدنه ژنراتور نسبت به زمین در اثر اعمال اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه در روش TT ٦١

شکل ۳-۱۴ ولتاژ نول نسبت به زمین در اثر اعمال اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه در روش TT ٦١

شکل ۳-۱۵ جریان عبوری از بدنه در اثر اعمال اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه در روش TT ٦١

فهرست شکل‌ها

شکل ۳-۱۶ روش TN ٦٢

شکل ۳-۱۷ ولتاژ بدنه ژنراتور نسبت به زمین در اثر خطای فاز به بدنه در روش TN ٦٢

شکل ۳-۱۸ ولتاژ نول نسبت به زمین در اثر خطای فاز به بدنه در روش TN ٦٣

شکل ۳-۱۹ جریان عبوری از بدنه در اثر خطای فاز به بدنه در روش TN ٦٣

شکل ۳-۲۰ جریان عبوری از فاز به نول در اثر خطای فاز به بدنه در روش TN ٦٣

شکل ۳-۲۱ ولتاژ بدنه ژنراتور نسبت به زمین در اثر اعمال اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه در روش TN ٦٤

شکل ۳-۲۲ ولتاژ نول نسبت به زمین در اثر اعمال اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه در روش TN ٦٤

شکل ۳-۲۳ جریان عبوری از بدنه در اثر اعمال اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه در روش TN ٦٤

شکل ۳-۲۴ روش IT ٦٥

شکل ۳-۲۵ ولتاژ بدنه ژنراتور نسبت به زمین در اثر خطای فاز به بدنه در روش IT ٦٥

شکل ۳-۲۶ ولتاژ نول نسبت به زمین در اثر خطای فاز به بدنه در روش IT ٦٦

شکل ۳-۲۷ جریان عبوری از بدنه در اثر خطای فاز به بدنه در روش IT ٦٦

شکل ۳-۲۸ ولتاژ بدنه ژنراتور نسبت به زمین در اثر اعمال اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه در روش IT ٦٧

شکل ۳-۲۹ ولتاژ نول نسبت به زمین در اثر اعمال اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه در روش IT ٦٧

شکل ۳-۳۰ جریان عبوری از بدنه در اثر اعمال اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه در روش IT ٦٧

شکل ۵-۱ الکترود نیمکره ای مدفون در زمین ٧١

شکل ۵-۲ توزیع پتانسیل در سطح زمین که بوسیله نیمکره ایجاد می شود ٧١

شکل ۵-۳ سیستم های زمین ساده ٧٢

شکل ۵-۴ نمایش هوایی شبکه توزیع برق دانشگاه تفرش ٧٤

فهرست جداول

جدول صفحه

جدول ۱-۱: اثرات جریان برق ۹

جدول ۱-۲: ماکزیمم زمان برای ابقاء ولتاژ تماسی بر اساس استاندارد IEC 60364 ..... ۱۰

جدول ۱-۳: مشخصات روش های گروندینگ ۱٤

جدول ۱-۴: مقاومت ویژه خاک ۱٦

جدول ۱-۵: مقاومت ویژه خاک ۱۷

جدول ۲-۱: زمان قطع شدگی در سیستم TN بر اساس استاندارد IEC 60364 ..... ۲۸

جدول ۲-۲: حد بالای مقاومت اتصال به زمین بدنه ۳۲

جدول ۲-۳: مقایسه جریان های خطا و ولتاژهای تماسی در خطای اول ۳٦

جدول ۲-۴: ولتاژ تماسی در خطای عایقی مضاعف برای شبکه ۲۳۰/۴۰۰ در سیستم IT ٤۰

جدول ۲-۵: جریان های خطا و ولتاژ تماسی در خطای مضاعف بر دو بدنه با اتصال زمین مجزا.. ٤۰

جدول ۲-۶: ماکزیمم زمان قطع مشخص شده در سیستم IT بر طبق استاندارد IEC 60364 ..... ٤۱

جدول ۲-۷: مقایسه ای بین سیستم های زمین ٤۸

جدول ۲-۸: جریان های اتصال کوتاه در سیستم های ارتینگ ٤۹

جدول ۳-۱: توان نامی ترانس های استفاده شده در شبکه ۵۳

جدول ۳-۲: مشخصات فنی ترانسفورماتورهای شرکت ایران تراسفو ۵٤

جدول ۳-۳: مشخصات پلاک روی ژنراتور ۵۵

جدول ۴-۱: مقایسه روش های زمین کردن در خطای فاز به بدنه ٦۹

جدول ۴-۲: مقایسه روش های زمین کردن در خطای صاعقه ٦۹

جدول ۵-۱: اطلاعات فنی ژنراتور ۷۵

جدول ۵-۲: مشخصات الکتریکی هادی های آلومینیومی تقویت شده با فولاد (ACSR) ۷۷

فهرست روابط

رابطه		صفحه
(۱-۱)	$R=\frac{\rho}{4b}$	۶
(۲-۱)	$b=\sqrt{\frac{A}{\pi}}$	۶
(۳-۱)	$b\cong 0.08m$	۷
(۴-۱)	$R=\frac{\rho}{(4)(0.08)}=3\rho\ \ \Omega$	۷
(۵-۱)	$r_{eq}=3\rho+3\rho=6\rho$	۷
(۶-۱)	$r_{eq}=\frac{(3\rho)(3\rho)}{3\rho+3\rho}=1.5\rho$	۷
(۷-۱)	$i_b=\frac{V_{eq}}{r_{eq}+r_b}$	۷
(۸-۱)	$i_b=\frac{0.116}{\sqrt{t}}(A)$	۱۰
(۹-۱)	$i_b=\frac{V_{eq}}{r_{eq}+r_b}$	۱۰
(۱۰-۱)	$V_{eq}=(r_{eq}+r_b)\frac{0.116}{\sqrt{t}}$	۱۰
(۱۱-۱)	$V_{Touch}=(1.5+1000)\frac{0.116}{\sqrt{t}}$ (v)	۱۱
(۱۲-۱)	$V_{Step}=(6\rho+1000)\frac{0.116}{\sqrt{t}}$ (v)	۱۱
(۱۳-۱)	$\rho=2\times\pi\times a\times R$	۱۲
(۱-۲)	$I_d=\frac{U_0}{R_{ph1}+R_d+R_{PE}}$	۲۷
(۲-۲)	$I_d=\frac{0.8U_0}{R_{ph1}+R_{PE}}$	۲۷
(۳-۲)	$U_d=R_{PE}I_d$	۲۷
(۴-۲)	$U_d=0.8U_0\frac{R_{PE}}{R_{ph1}+R_{PE}}$	۲۸

فهرست روابط

۳۲ ..... $I_d \approx \frac{U_0}{R_a + R_b}$ (۵-۲)

۳۲ ..... $U_d = R_a I_d \quad \rightarrow \quad U_d = \frac{R_a U_0}{R_a + R_b}$ (۶-۲)

۳۳ ..... $I_d = \frac{U_L}{R_a}$ (۷-۲)

۳۴ ..... $I_d = U_0 \frac{1 + 3jC\omega Z_N}{R_d + Z_N + 3jC\omega Z_N R_d}$ (۸-۲)

۳۴ ..... $I_C = U_0 \frac{3jC\omega Z_N}{R_d + Z_N + 3jC\omega Z_N R_d}$ (۹-۲)

۳۴ ..... $I_N = \frac{U_0}{R_d + Z_N + 3jC\omega Z_N R_d}$ (۱۰-۲)

۳۴ ..... $U_d = R_A I_d$ (۱۱-۲)

۳۶ ..... $I_d = \frac{U_0}{Z_N + 3jC\omega}$ (۱۲-۲)

۳۶ ..... $U_d = R_A \frac{U_0}{Z_N + 3jC\omega}$ (۱۳-۲)

۳۶ ..... $I_C = +3jC\omega U_0$ (۱۴-۲)

۳۶ ..... $I_N = \frac{U_0}{Z_N}$ (۱۵-۲)

۳۹ ..... $I_d = \frac{0.8U_0}{2(R_a + R_{PE})} \quad \rightarrow \quad I_d = 0.8U_0 \frac{S_a}{2\rho(1+m)L}$ (۱۶-۲)

۳۹ ..... $I_d = 0.8U_0\sqrt{3} \frac{S_a}{2\rho(1+m)L}$ (۱۷-۲)

۳۹ ..... $U_C = R_{PE} I_d$ (۱۸-۲)

۴۰ ..... $U_C = 0.8U_0 \frac{m}{2(1+m)}$ (۱۹-۲)

۴۰ ..... $U_C = 0.8U_0\sqrt{3} \frac{m}{2(1+m)}$ (۲۰-۲)

۴۲ ..... $L_{\max} = 0.8U_0 \frac{S_a}{2\rho(1+m)I_m}$ (۲۱-۲)

فهرست روابط

$L_{\max} = 0.8U_0\sqrt{3}\frac{S_a}{2\rho(1+m)I_m}$ ۴۲ (۲۲-۲)

$I_{\Delta n} < \frac{U_L}{R_A}$ ۴۲ (۲۳-۲)

$\underline{J}(r) = \frac{2I}{4\pi r^2}\underline{r}$ ۷۰ (۱-۵)

$\underline{E}(r) = \rho\,\underline{J}(r) \qquad r \geq a$ ۷۰ (۲-۵)

$V(r_1) = \int_{r=a}^{r_1} J(r)\rho dr$ ۷۰ (۳-۵)

$V(r_1) = \frac{\rho I}{2\pi}(\frac{1}{a} - \frac{1}{r_1})$ ۷۱ (۴-۵)

$V_\infty = \frac{\rho I}{2\pi a}$ ۷۱ (۵-۵)

$R = \frac{V}{I} = \frac{\rho}{2\pi a}$ ۷۱ (۶-۵)

$R = \frac{\rho}{2\pi L}\ln\frac{2L}{a}$ ۷۲ (۷-۵)

$R = \frac{\rho}{2\pi L}(\ln\frac{\rho}{a} + \ln\frac{L}{2z}) \qquad z \geq 6a$ ۷۲ (۸-۵)

$R = \frac{\rho}{2\pi L}(\ln\frac{2L}{w} + \ln\frac{L}{2z}) \qquad z \geq 3w$ ۷۲ (۹-۵)

$R = \frac{\rho}{8b}$ ۷۲ (۱۰-۵)

$R = \frac{\rho}{4b}$ ۷۳ (۱۱-۵)

$R = \frac{\rho}{4\pi^2 b}\ln\frac{8b}{a}$ ۷۳ (۱۲-۵)

پیشگفتار:

انتخاب و ارائه یک سیستم زمین مناسب برای شبکه توزیع دانشگاه تفرش که در هنگام خطا، ایمنی لازم را تأمین نماید، در این پروژه مد نظر قرار دارد. برای این منظور در فصل اول ابتدا تعاریف مرتبط با سیستم زمین و به دنبال آن فلسفه زمین کردن ارائه می‌شود. سپس مفاهیم مربوط به ولتاژ تماس و ولتاژ گام مطرح خواهد شد. در ادامه نیز زمین کردن الکتریکی و حفاظتی تقسیم می‌شود.

فصل دوم به معرفی سیستم‌های زمین فشار ضعیف اختصاص داده شده است. در این فصل انواع سیستم‌های زمین و تحلیل‌های مرتبط با آن در هنگام وقوع خطا و همچنین پیاده‌سازی آن تشریح شده است. هم‌چنین تکامل این سیستم‌ها و انتخاب صحیح آن‌ها نیز مطرح گردیده است. مطالب این فصل در راستای استاندارد IEC 60364 می‌باشد.

در نهایت فصل سوم به معرفی شبکه توزیع دانشگاه تفرش، مدلسازی آن در نرم‌افزار MATLAB و به کار بردن روش‌های مطرح شده در بخش‌های قبلی می‌پردازد. با ارائه نتایج این شبیه‌سازی یک سیستم زمین مناسب برای شبکه دانشگاه پیشنهاد می‌شود.

۱

سیستم زمین

۱-۱) مقدمه

در حالت کلی یک سازه وقتی زمین شده نامیده می‌شود که از نظر الکتریکی به سازه‌های فلزی مدفون در زمین وصل شده باشد. این سازه‌های فلزی مدفون در زمین، سیستم زمین نامیده خواهند شد. مسیر هدایت جریان الکتریکی به زمین را تهیه می-کند. سیستم زمین نوعی پست برق از شبکه زمین، میله‌های زمین و سایر سازه‌های فلزی دفن شده تشکیل شده است. سیستم زمین نوعی دکل‌های انتقال برق از حلقه‌ها[1]، سیم‌های متعادل کننده، میله‌های زمین و غیره تشکیل شده است. سیستم زمین نمونه تیرهای برق از میله‌های زمین، تسمه اتصال، سیم‌های متعادل کننده و وسایل اضافی دیگر تشکیل شده است. یک سیستم اتصال زمین نمونه خانگی از یک یا چند میله زمین تشکیل شده است.سیستم‌های قدرت الکتریکی به چند دلیل به وسیله الکترودهایی که در خاک دفن شده‌اند به زمین متصل می‌شوند :

- برای کسب اطمینان از کار صحیح وسایل الکتریکی
- برای فراهم ساختن ایمنی در زمان عادی و یا حالت‌های اتصال کوتاه
- برای تثبیت ولتاژ در حالت‌های گذرا و بنابراین کاهش احتمال اضافه ولتاژ حالت‌های گذرا
- برای ازبین بردن اثر ضربه رعد و برق

وغیره... [3],[1]

هدف سیستم زمین ایجاد امپدانس کم در تماس الکتریکی بین نول یک سیستم الکتریکی و زمین می‌باشد. به طور ایده‌آل، ولتاژ نقطه نول یک سیستم سه فاز باید برابر با پتانسیلی باشد که زمین دارد. در این حالت، انسان و حیوانات وقتی که با بدنه‌های فلزی متصل شده به سیم نول تماس پیدا کنند، در امان هستند. متاسفانه امپدانس سیستم زمین نسبت به زمین همیشه یک عدد محدودی می‌باشد. بنابراین پتانسیل سازه‌هایی که زمین شده‌اند، ممکن است از پتانسیل نقاط مختلف زمین در زمین کار غیر عادی متفاوت می‌شود. کار غیر عادی حالت‌های خیلی نامتعادل یا حالت‌های اتصال کوتاه را شامل می‌شود. [5],[4]

[1] counterpoises

سه ویژگی مهم یک سیستم زمین عبارت است از : [6]

- امپدانس الکتریکی پایین (Low Electrical Impedance)
- مقاومت مکانیکی بسیار بالا (High Mechanical Resistance)
- مقاومت بالا در برابر خوردگی (High Corrosion Resistance) .

۱-۲) فلسفه و تاریخچه ارت

بین سال‌های ۱۸۸۰ تا ۱۸۹۲ خطوط انتقال و توزیع برق بدون اینکه نقطه نوترال یا نول زمین‌شده داشته باشند احداث می‌شدند و هیچ نقطه‌ای از شبکه و تجهیزات ارت نمی‌شدند و اساسا مفهومی به نام ارت وجود نداشت. مشکلات برق‌گرفتگی و آتش سوزی در منازل و اماکن عمومی و صنعتی وجود داشت بدون اینکه فیوزهای حفاظتی نصب‌شده در شبکه عیوب را تشخیص بدهند. مشکلات ادارات بیمه جهت جبران خسارت بیشتر و بیشتر می‌شد و به طور موازی تحقیقاتی جهت کاهش این خطرات به عمل می‌آمد.

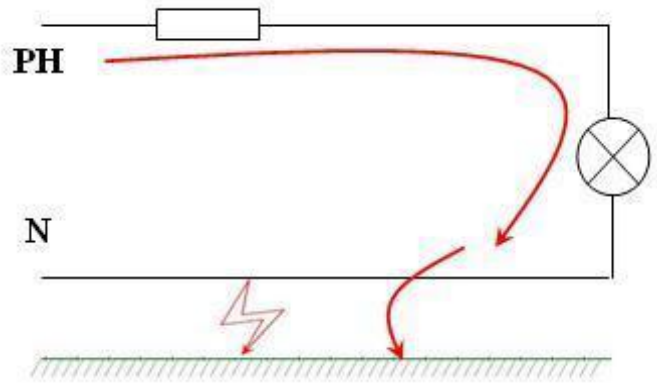
در سال ۱۹۲۳ فرانسه در استانداردهای ملی کشورش ارت‌کردن بدنه تجهیزات برقی را الزامی نمود. در سال ۱۹۲۴ انجمن مهندسان برق IEE انگلستان اتصال بدنه فلزی وسایل برقی به زمین یا همان ارت کردن را اجباری نمود. هر چند این کار ساده نبود و مشکلات فراوانی داشت. در سال ۱۹۲۷ فرانسه بحث ارت‌کردن نقطه نول ترانسفورماتورها را نیز تصویب نمود. در سال ۱۹۳۵ استانداردهای جامع حفاظت اشخاص و تجهیزات تدوین و اجرائی شد و از آن سال‌ها به بعد ارتینگ همگانی شد.[7]

فلسفه ارت کردن

با دقت در شکل‌های ساده زیر می‌توان به فلسفه ارت پی برد :

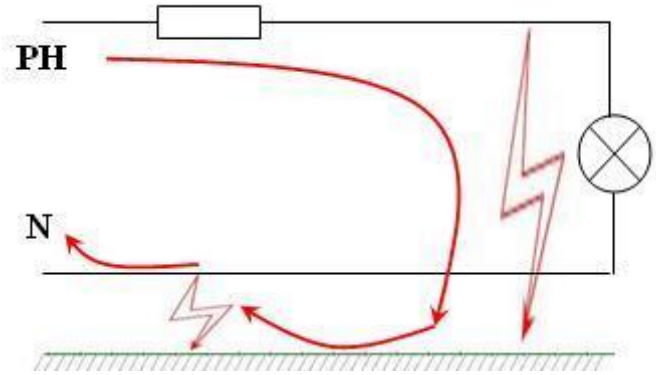
در مدار ساده تکفاز نشان داده شده در شکل ۱-۱ که نول عمدا به زمین متصل نشده صرفا وقوع اتصالی مستقیم فاز به نول می‌تواند فیوز را بسوزاند و جلوی خطرات بعدی را بگیرد. در صورت اتصالی فاز به زمین و نول به زمین (هر یک به تنهائی) فیوز نخواهد سوخت و عیب ممکن است روزها وجود داشته باشد که منجر به آسیب به تجهیزات به خاطر تغییر در ولتاژ تغذیه آن‌ها و یا آسیب به شبکه برق گردد. در این حالت اگر دست انسان به یک فاز یا نول بخورد خطری نخواهد داشت و فقط اتصال همزمان به فاز و نول باعث برق‌گرفتگی خواهد شد. خلاصه :

- خطرات انسانی کمتر
- آسیب زیاد به تجهیزات و شبکه برق



شکل ۱-۱ اولین خطا بدون رخداد حادثه‌ای

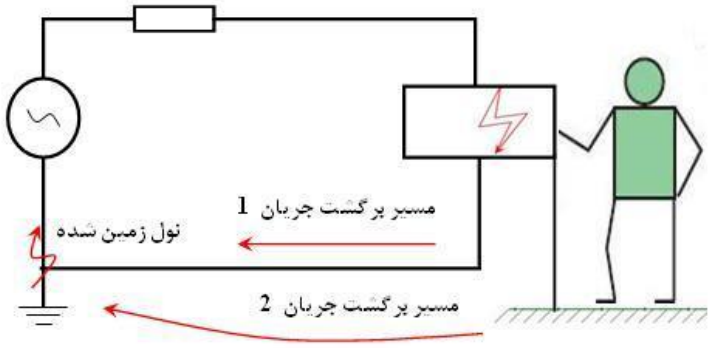
در شکل ۱-۲ هر دو سیم فاز و نول اتصال به زمین شده‌اند و جریان اتصالی در حلقه نشان داده شده بدون اینکه لامپ را روشن کند می‌چرخد و بسته به ماهیت و مقاومت محل اتصالی شاید نتواند فیوز را بسوزاند. شاید هم محل دو اتصالی طوری باشد که مقاومت آن‌ها کم بوده و فیوز را بسوزاند.



شکل ۱-۲ خطای مضاعف و روشن شدن فیوز

همانطور که در تاریخچه نیز اشاره شد به خاطر حفظ پایداری شبکه برق و مسائل دیگر که در ادامه خواهد آمد در سال ۱۹۲۷ به بعد اتصال نول به زمین اجباری شد که در این حالت وضعیت به صورت زیر قابل بیان است: در این حالت اتصال فاز به زمین می‌تواند فیوز را سوزانده و مدار و تجهیزات را محافظت کند. اتصال نول به زمین خطری برای شبکه و تجهیزات ندارد. اتصال بدن انسان به یک فاز (تنها) بسیار خطرناک است. این وضعیت دو حالت دارد:

- اگر بدنه دستگاه به زمین که همان نول است وصل شده باشد (یعنی همان سیستم زمین حفاظتی) که در این حالت فیوز سریعا سوخته و ازعبور طولانی جریان به بدن جلوگیری می‌کند.(شکل ۱-۳)

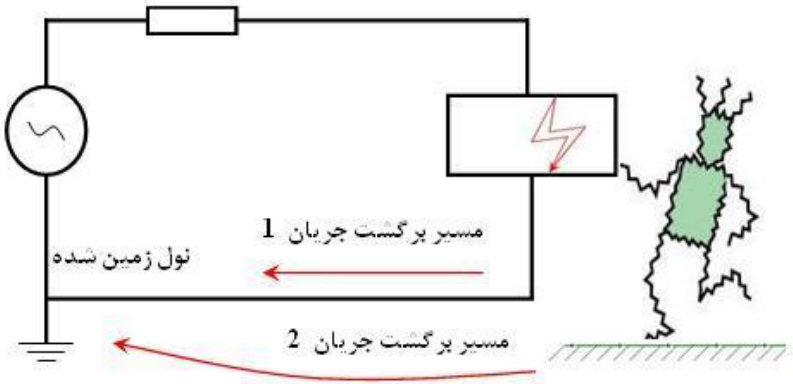


شکل ۱-۳ زمین کردن بدنه‌های بار

بنابراین در صورت نصب ارت مناسب :

- ✓ خطرات انسانی کمتر
- ✓ آسیب به تجهیزات و شبکه برق : کمتر

- اگر بدنه دستگاه به زمین که همان نول است وصل نشده باشد، یعنی سیستم ارت نداشته باشد که در این حالت بعید است فیوز بسوزد. لذا جریان برق تا زمانیکه شخص به خود آمده و خود را رها کند و یا کسی که به کمک او بیاید از بدن عبور خواهد کرد و این فاجعه است.(شکل ۱-۴)



شکل ۱-۴ عدم نصب ارت مناسب

بنابراین در صورت عدم نصب ارت مناسب :

- ✓ خطرات انسانی : بسیار زیاد
- ✓ آسیب به تجهیزات و شبکه برق : زیاد

به عبارتی در حالتی که سیستم ارت نصب شده باشد جریان خطا سه مسیر جهت عبور جریان خطا و برگشت به منبع دارد و سهم کمی از جریان خطا ممکن است از بدن شخصی که با دست دستگاه را لمس می‌کند عبور کند، خصوصا اگر مقاومت زمین دستگاه نیز خیلی کم باشد. [8]

۱-۳) جریان‌های بدن ناشی از ولتاژهای تماس و گام

حالت خطرناکی که ممکن است برای انسان ایجاد شود به اندازه اختلاف پتانسیل بین نقاط زمین و سازه‌های زمین شده بستگی دارد. این حالت ممکن است از دو احتمال مشخص زیر حاصل شود :

- اگر شخص با سازه‌های زمین شده با پتانسیل متفاوت از پتانسیل زمینی که شخص درآن ایستاده است، تماس پیدا کند، در این حالت شخص در معرض یک ولتاژی قرار می‌گیرد یک جریان الکتریکی در بدن وی ایجاد خواهد کرد. ولتاژی که بدن انسان در معرض آن قرار می‌گیرد، ولتاژ تماس نامیده می‌شود.
- شخصی که در روی سطح زمین قدم می‌زند در بین دوپای خود ولتاژی را دریافت خواهد کرد. این ولتاژ جریان‌های الکتریکی در بدن به وجود می‌آورد. در این حالت، ولتاژی که شخص در معرض آن قرار می‌گیرد، ولتاژ گام نامیده می‌شود.

عبور جریان برق از بدن انسان منشأ خطر است. استانداردها حدود جریان‌های زیان‌آور بدن را که از تماس سازه‌های زمین شده می‌تواند عارض شود، تعریف می‌کنند. بنابراین سیستم‌های زمین باید به نحوی طراحی شوند که در هر شرایط زیان‌آور قابل پیش‌بینی، جریانی که از بدن یک اپراتور در حال کار عبور می‌کند، از این حد تجاوز نکند. در این قسمت یک روش ساده شده را برای تعیین جریان الکتریکی بدن انسان که از ولتاژ تماس یا گام ناشی می‌گردد، بحث می‌نماییم.[9] برای این منظور شکل-های۱-۵الف و ۱-۶الف را در نظر بگیرید. این شکل‌ها بدن انسان را در روی شبکه زمین پست برق نشان می‌دهند که به ترتیب در معرض ولتاژ گام و ولتاژ تماس قرار گرفته است. روش محاسباتی جریان‌های بدن از مدار معادل تونن متصل شده به نقاط