بسم الله الرحمن الرحيم

٤٦٧٣٣

دانشگاه تهران
پردیس دانشکده‌های فنی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

عنوان:

بهبود وصل مجدد تکفاز با استفاده از راکتور نوترال

نگارش:
ابوذر فلاح

استاد راهنما:
دکتر حسین محسنی

۱۳۸۷/۲/۱۱

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی برق-قدرت

بهمن ۱۳۸۶

۷۲۳۳

دانشگاه تهران
پردیس دانشکده‌های فنی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق-قدرت

عنوان: بهبود وصل مجدد تکفاز با استفاده از راکتور نوترال

نگارش: ابوذر فلاح

این پایان نامه در تاریخ ۱۳۸٦/۱۱/۲٤ در مقابل هیأت داوران دفاع گردید و مورد تصویب قرار گرفت.

معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی پردیس دانشکده‌های فنی: دکتر جواد فیض

رئیس دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر: دکتر پرویز جبه‌دار مارالانی

معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر: دکتر سعید نادر اصفهانی

استاد راهنما: دکتر حسین محسنی

عضو هیأت داوران: دکتر حمید لسانی

عضو هیأت داوران: دکتر سید حسین حسینیان

عضو هیأت داوران: دکتر کاوه نیایش

گواهی اصل اثر

نام و نام خانوادگی: ابوذر فلاح

عنوان پایان نامه: بهبود وصل مجدد تکفاز با استفاده از راکتور نوترال

استاد راهنما: دکتر حسین محسنی

اینجانب ابوذر فلاح مولف پایان نامه کارشناسی ارشد در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، گرایش قدرت، بدین‌وسیله اعلام می‌نمایم که توسط اساتید راهنما و سمینار در جریان قوانین کپی‌رایت و روش درست اقتباس و نقل مطلب از سایر مراجع و مآخذ قرار گرفته‌ام و متعهد به حفظ امانت‌داری و قدردانی از زحمات سایر محققین و نویسندگان می‌باشم. بدین‌وسیله اعلام می‌نمایم که مسئولیت کلیه مطالب درج شده با اینجانب می‌باشد و در صورت استفاده از اشکال، جداول و مطالب از سایر منابع، بلافاصله مرجع آن ذکر شده است و سایر مطالب از کار تحقیقاتی اینجانب استخراج شده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تهران است.

ابوذر فلاح

امضاء و تاریخ

۸۶/۱۱/۱۰

تقدیر و تشکر

خداوند متعال را شاکرم که بار دیگر مرا مورد لطف خود قرار داد تا گامی دیگر در زندگی را با موفقیت طی کنم.

از مادر و پدر عزیزم که با حمایتهای بی‌دریغ خود مرا پشتیبانی نمودند و با صبر و تحمل بی‌دریغ، این فرصت را برای اینجانب ایجاد نمودند تا بتوانم به تحقیق و تالیف پروژه حاضر مبادرت ورزم بسیار سپاسگزارم.

برخود واجب می‌دانم از راهنمائی‌ها و مساعدت بسیار ارزنده جناب آقای دکتر حسین محسنی، استاد محترم راهنمای اینجانب، بسیار تشکر و قدردانی نمایم.

ابوذر فلاح

بهمن ۱۳۸٦

" بهبود باز-بست تکفاز در خطوط جبران شده با راکتور نوترال"

نام و نام خانوادگی: ابوذر فلاح
شماره دانشجویی: ۸۱۰۱۸٤۱۵۸
رشته تحصیلی و گرایش: مهندسی برق- قدرت
دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد
تاریخ دفاع: ۱۳۸٦/۱۱/۲٤
استاد راهنما: آقای دکتر حسین محسنی

چکیده پایان نامه کارشناسی ارشد:

خطاهای تکفاز سهم عمده‌ای از عیوب خطوط انتقال ولتاژ بالا را به خود اختصاص می‌دهند. این نوع خطاها به صورت گذرا بوده و به سرعت برطرف می‌شوند. خطاهای گذرا به شکل قوس خود را نشان می‌دهند و در صورت قطع موقت خط از منبع تغذیه، خود به خود خاموش می‌شوند. جهت حفظ پایداری شبکه و استمرار برقرسانی، از کلیدهایی با قابلیت باز-بست تکفاز استفاده می‌شود تا فقط فاز سانحه دیده از شبکه جدا شود. در این حالت دو فاز دیگر خط، برقدار بوده و باعث القاء ولتاژ در فاز باز شده می‌شود. بسته به سطح ولتاژ خط، آرایش هادی‌ها در برج، طول خط، محل خطا و میزان بار شبکه، اندازه ولتاژ القائی تا اندازه‌ای می‌تواند بزرگ باشد که مانع از خاموشی و قطع قوس در فاز معیوب شده، محل خطا را تا وصل مجدد کلید همچنان تغذیه خواهد کرد. لذا وصل مجدد کلید ناموفق بوده و می‌تواند خسارات زیادی به پایداری شبکه و تجهیزات آن وارد سازد.

اگر چه در این زمینه تحقیقات گوناگونی صورت گرفته است و روشهای تشخیص خاموشی قوس مبتنی بر اندازه‌گیری ولتاژ القائی خازنی ارائه شده است اما این در حالی است که اکثر خطوط ولتاژ بالا دارای راکتورهای شنت و نوترال می‌باشد. راکتور نوترال باعث از بین رفتن ولتاژ القائی خازنی می‌شود و لذا روشهای پیشنهادی کارائی خود را از دست خواهند داد.

در این پایان نامه ضمن تشریح دقیق انواع ولتاژهای القائی در فاز باز شده، نحوه تغییرات همزمان ولتاژ خازنی و مغناطیسی با توجه به محل بروز خطا بررسی شده و روشهای دقیق و کارآمد جهت تشخیص زمان خاموشی قوس ارائه شده است. این روشها برای خطوط بدون راکتور و با راکتور متفاوت بوده، از دقت بسیار بالای برخوردار است. الگوریتم ارائه شده قادر به تعیین دقیق حد آستانه ولتاژ القائی در لحظه برطرف شدن قوس می‌باشد.

فهرست مطالب

فصل اول: القاء ولتاژ در خطوط انتقال

۱-۱- مقدمه ۵

۱-۲- پایداری شبکه ٦

۱-۳- کلیدها ۸

۱-۳-۱- باز-بست ۹

۱-٤ – آمار باز-بست موفق در خطوط انتقال ایران ۱۰

۱-۵- انواع ولتاژ القائی در خط باز شده ۱۱

۱-۵-۱- ولتاژ خازنی ۱۲

۱-۵-۲- جریان قوس ۱۵

۱-۵-۳- ولتاژ مغناطیسی ۱٦

۱-۵-٤- برآیند ولتاژها ۱۷

۱-٦- ولتاژهای القائی در خلال قوس ۱۸

۱-٦-۱- ولتاژ خازنی ۱۸

۱-٦-۲- ولتاژ مغناطیسی ۱۹

۱-۷- تعیین خاموشی قوس ۲۰

فصل دوم: مدل و روابط خط انتقال

۲-۱- مقدمه ۲۳

۲-۲- پارامترهای خط انتقال ۲٤

۲-۲-۱- خازن خط ۲٤

۲-۲-۲- سلف‌های خط ۲۵

۲-۳- افت ولتاژ-جریان در طول خط ۲٦

۲-۳-۱- کاهش جریان خط ۲٦

۲-۳-۲- افت ولتاژ در خط ۲۷

۲-٤- ولتاژهای القائی در فاز باز شده ۲۹

۲-٤-۲- مدارهای ترتیبی خط انتقال ۳٤

۲-٤-۳- ولتاژ القائی خازنی در مدل توالی فاز قطع شده ۳۸

۲-٤-٤- ولتاژ القائی مغناطیسی ٤٠
۲-٥- خط انتقال جبران شده ٤۲
۲-٥-۱- خط جبران شده فقط با راکتور شنت ٤۲
۲-٥-۲- مدار معادل توالی فاز قطع شده ٤٥
۲-٥-۳- راکتور نوترال ٤٦
۲-٥-٤- تاثیر زمین نمودن خنثی راکتور شنت در عایقبندی ٥۱

فصل سوم: مدل قوس

۳-۱- مقدمه ٥۳
۳-۲- قوس اولیه ٥٥
۳-۳- قوس ثانویه ٥٦
۳-٤- مدل بکار رفته در این پایان نامه ٥۷
۳-٤-۱- قوس اولیه ٥۸
۳-٤-۲- قوس ثانویه ٥۹
۳-٥- معیار خاموشی قوس ثانویه ٦۱
۳-۷- شرایط اولیه قوس ثانویه ٦۲

فصل چهارم: پیش بینی و تشخیص خاموشی قوس در خطوط بدون راکتور

٤-۲- ولتاژ قوس ٦٦
٤-۳- مولفه‌های قوس ٦۸
٤-٤- پیش بینی و تعیین خاموشی قوس ۷۱
٤-٥- ملاک خاموشی ۷٥
٤-٦- برگشت مجدد قوس ۷٥
٤-۷- خاموشی قوس و زاویه فاز ولتاژ ۷٦
٤-۸- اندازه و فاز ولتاژ مغناطیسی ۷۸

فصل پنجم: پیش بینی و تشخیص خاموشی قوس در خطوط جبران شده

٥-۱- مقدمه ۸۳
٥-۲- ولتاژ القائی در خطوط جبران شده ۸٦
٥-۳- ولتاژ فاز باز شده در خطوط جبران شده ۸۷
٥-٤- نوسان ولتاژ در خطوط جبران شده ۹۲

۵-۵- نوسان ولتاژ بعد از خاموشی قوس ۹۵
۵-۶- فرکانس نوسانات مولفه DC ۹۸
فصل ششم: نتیجه‌گیری و ادامه‌کار ۹۹
پیوست یک: مدل خط ۱۰۷
پیوست دو: انتخاب راکتور نوترال ۱۱۱
پیوست سه: توان راکتیو در خطوط انتقال ۱۱۵

فهرست شکلها

شکل(۱-۱): حد پایداری شبکه به‌ازای باز-بست سه فاز و تکفاز ۸
شکل(۱-۲): توالی زمانی عملکرد کلید ۸
شکل (۱-۳): تزویج بین خطوط انتقال ۱۲
شکل (۱-٤): معادل فاز باز شده ۱۲
شکل(۱-۵): فاز ولتاژ القائی خازنی ۱۳
شکل (۱-٦): دیاگرام قطبی ولتاژ القاء شده در فاز A ۱۵
شکل (۱-۷): جریان کانال قوس در لحظات اولیه قوس ثانویه ۱۵
شکل(۱-۸): ولتاژ القائی مغناطیسی ۱٦
شکل (۱-۹): ولتاژ ابتدا و انتهای فاز قطع شده ۱۸
شکل(۱-۱۰): ولتاژ خازنی از لحظه شروع قوس ثانویه تا خاموشی ۱۸
شکل(۱-۱۱): افزایش ولتاژ مغناطیسی به‌ازای قوس در نیمه اول خط ۱۹
شکل (۱-۱۲): مسیر حرکت برآیند ولتاژهای القائی از لحظه بروز قوس تا خاموشی ۱۹
شکل (۱-۱۳): منحنی قطبی ولتاژ القائی به ازای قوس ثانویه در سه محل از خط ۲۰
شکل(۱-۱٤): نمونه‌ای از یک بازه جهت تعیین خاموشی قوس ثانویه ۲۱
شکل (۱-۱۵): قرارگیری فاز ولتاژ در محدوده خاموشی ۲۱
شکل (۲-۱): ظرفیت و سلفهای خط انتقال ۲٦
شکل (۲-۲): مدل خط با طول متوسط با چشم پوشی از امپدانس خط ۲٦
شکل (۲-۳): مدل امپدانس خط در حالت متقارن ۲۸
شکل (۲-٤): نیمه اول خط انتقال در توالی صفر ۲۹
شکل (۲-۵): خط انتقال در حالت فاز A باز ۳۲
شکل (۲-٦): ولتاژ القاء شده ناشی از منابع فاز B ۳۲
شکل (۲-۷): ولتاژ القائی ناشی از منابع فاز C ۳۲
شکل (۲-۸): معادل تونن سوسپتانس خط ۳۳
شکل(۲-۹): مدار معادل فاز A ۳۳
شکل(۲-۱۰): امپدانسهای خط انتقال ۳٤
شکل (۲-۱۱): امپدانسهای توالی صفر خط ۳٦

شکل (۲-۱۲): مدل توالی فاز باز شده ۳۹
شکل (۲-۱۳): برآیند ولتاژهای القائی در ابتدا و انتهای خط ٤۲
شکل(۲-۱٤): خط انتقال جبران شده با راکتور..... ٤۳
شکل (۲-۱۵): مدار توالی فاز قطع شده در حالت جبران شنت ٤۵
شکل (۲-۱٦): افزایش ولتاژ خازنی به‌ازای افزایش ضریب جبرانسازی ٤٦
شکل(۲-۱۷): جبران با راکتور شنت و نوترال..... ٤۷
شکل (۲-۱۸): معادل فاز قطع شده در حوزه توالی در خط جبران شده ٤۷
شکل (۲-۱۹): معادل راکتور شنت و نوترال مشابه خازن‌های خط ٤۹
شکل (۳-۱): مقاومت قوس اولیه ۵۸
شکل(۳-۲): مشخصه ولتاژ–جریان ستون قوس اولیه ۵۸
شکل(۳-۳): مقاومت قوس ثانویه ٦۰
شکل(۳-٤): مشخصه ولتاژ–جریان قوس ثانویه ٦۰
شکل (٤-۱): برآیند چندین موج متناوب با فرکانس اصلی ۵۰ هرتز ٦٦
شکل (٤-۲): پنج مولفه اول مقاومت قوس ٦٦
شکل (٤-۳): معادل فاز قطع شده در خلال بروز قوس ثانویه ٦۷
شکل (٤-٤): افزایش خطی ولتاژ با مقاومت قوس ٦۸
شکل (٤-۵): مقاومت قوس ثانویه ٦۹
شکل (٤-٦): مقایسه نرخ رشد مقاومت قوس در خطوط جبران نشده و جبران شده ٦۹
شکل (٤-۷): دامنه سه مولفه اصلی مقاومت قوس ۷۰
شکل(٤-۸): رفتار سه مولفه اصلی قوس در هنگام خاموشی..... ۷۱
شکل (٤-۹): مولفه DC ولتاژ قوس در زمان خاموشی ۷٤
شکل (٤-۱۰): هارمونیک دوم ولتاژ قوس در هنگام خاموشی ۷٤
شکل (٤-۱۱): خاموشی قوس به‌ازاء اعمال شرط (۳-۹) در فصل سوم ۷٦
شکل (٤-۱۲): سیر ناگهانی زاویه ولتاژ به سمت π در آستانه خاموشی قوس ۷۸
شکل (٤-۱۳):تغییر ولتاژ مغناطیسی با مقاومت قوس به‌ازای مکانهای مختلف خطا ۸۱
شکل(۵-۱): معادل توالی فاز قطع شده در خلال برقراری قوس..... ۸۸
شکل(۵-۲): همگرایی سریع ولتاژ توالی صفر به مقدار ثابت..... ۹۰
شکل (۵-۳): همگرایی سریع فاز ولتاژ به مقدار ۱۸۰- درجه ۹۰

شکل(۵-٤): نوسان ولتاژ به مجرد خاموشی قوس ثانویه ۹۲
شکل (۵-۵): معادل فاز قطع شده در خلال قوس ۹۲
شکل (۵-٦): مدار معادل فاز قطع شده بعد از خاموشی قوس ۹۵
شکل (۵-۷): نوسان ولتاژ بین سلف و خازن..... ۹۵
شکل (۵-۸): نوسان ولتاژ در فاز قطع شده به همراه مقاومت خط..... ۹٦
شکل (۵-۹): متوسط ولتاژ فاز قطع شده..... ۹۷
شکل (۵-۱۰): فرکانس مولفه DC ولتاژ به‌ازای ضرایب مختلف جبرانسازی خط ۹۸
شکل(۱): ولتاژ و جریان در هر نقطه از خط ۱۱۷

فهرست جداول

جدول(۱-۱) : آمار قطع خطوط ٤۰۰ کیلوولت ایران در پایان سالهای ۸٤ و ۸۵ ..... ۱۰
جدول(۱-۲): آمار قطع خطوط ۲۳۰ کیلوولت ایران در پایان سالهای ۸٤ و ۸۵ ..... ۱۱
جدول(۲-۱): سطوح عایقی سیم پیچهای راکتور و ولتاژهای آزمایش مربوطه ۵۰
جدول (۲-۲): سطوح عایقی بوشینگهای راکتور و ولتاژهای آزمایش مربوطه ۵۱
جدول (٤-۱): اندازه ولتاژ مغناطیسی در ابتدای خط به‌ازای مکانهای مختلف بروز خطا ۸۰
جدول(٤-۲): مقادیر ابتدایی و نهایی ولتاژ مغناطیسی به‌ازای خطا در مکانهای مختلف خط ۸۲
جدول(۵-۱): استفاده از راکتور در خطوط ٤۰۰ کیلوولت ۸۵

مقدمه

رشد جمعیت و گسترش همه‌جانبه صنایع، افزایش روزافزون تولید انرژی را می‌طلبد. انرژی الکتریکی به عنوان انرژی پاک، سهم عمده ای از مصرف را به خود اختصاص می‌دهد.

از آنجا که احداث نیروگاه در مناطق خاصی از کشور امکان پذیر است، لذا فاصله میان تولید و مصرف گاهی به بیش از صدها کیلومتر می‌رسد. همچنین ایجاد رینگ در سطح کشور، به منظور افزایش ضریب اطمینان از برقرسانی و همچنین تبادل برق با کشورهای همسایه، باعث شده است خطوط انتقال در سطح ولتاژ ۲۳۰ و ٤۰۰ کیلوولت در سراسر کشور کشیده شوند.

روشن است هر عاملی که مانع از کارکرد صحیح این خطوط شود، در انتقال انرژی خلل وارد کرده، خسارت هنگفت به تولید کننده و چندین برابر آن به مصرف کنندگان وارد می‌شود.

در خطوط انتقال، خطای گذرا بیش از ۸۵ درصد عیوب را به خود اختصاص داده است. خطای گذرا که خود را به صورت قوس الکتریکی نشان می‌دهد، غالباً موقتی بوده و خودبه خود برطرف می شود. در سطوح ولتاژ انتقال، حد پایداری شبکه اجازه نمی‌دهد که منتظر برطرف شدن خود به خودی قوس شویم. لذا می‌بایست روشهایی به کار بندیم تا قوس سریعتر خاموش شود.

استفاده از کلیدهای باز-وصل اتوماتیک[1]، باعث جدایی منابع شبکه از فاز معیوب شده، خاموشی سریعتر قوس را به همراه دارد. این کلیدها بعد از تشخیص خطا، فاز معیوب را از طرفین خط به مدت یک ثانیه از شبکه جدا می‌کند، سپس مجدداً آنرا وصل می‌کند. امیدوار هستیم در خلال این مدت قوس خاموش شود. اما حقیقت آن است که القاء دو نوع ولتاژ خازنی و مغناطیسی از فازهای سالم و برقدار محل قوس را همچنان تغذیه می‌کند. اندازه این ولتاژها، بسته به توپولوژی شبکه، آرایش هادی ها در برج انتقال، تعداد مدار موازی، طول خط، محل بروز قوس، سطح ولتاژ شبکه و ... می‌تواند به حدی باشد که مانع از خاموشی سریع و خودبهخودی قوس شود. در چنین شرایطی وصل مجدد کلیدهای خط، موفقیت آمیز نبوده، باعث عبور جریانهای بزرگ خطا از تجهیزات شبکه شده، خسارات فراوانی به آنها وارد می‌سازد.

نگرانی از عدم موفقیت در وصل مجدد، بهره‌برداران را در استفاده از این قابلیت کلیدها دچار تردید می کند. به عنوان مثال در ایران قابلیت باز-وصل اتوماتیک کلیدها در سطح ولتاژ ٤۰۰ کیلوولت که دارای سطح اتصال کوتاه ٤۰ کیلوآمپر می‌باشد، کاملاً غیرفعال است. در این صورت به هنگام وقوع

---

[1] Reclosing

قوس هر سه فاز به طور همزمان باز خواهند شد و تا زمان وصل مجدد به وسیله اپراتور، باز خواهند ماند. خسارات ناشی از عدم فروش برق در خلال این مدت بیش از ۱۰ میلیارد تومان در سال است.
برنامه‌های پنج ساله کشور، افزایش سالیانه، ۱۰ درصدی تولید برق را تکلیف می‌کند. طبق آمار منتشر شده از سوی سازمان توانیر، برای انتقال این مقدار توان، هر ساله می‌بایست سه درصد به خطوط در سطح ولتاژ انتقال اضافه گردد که این امکان رخداد حوادث و قطعی‌های بیشتر را به همراه دارد. چه‌بسا اگر روشی مطمئن و کارآمد جهت تشخیص خاموشی قوس وجود داشت، بهره‌برداران و برق‌های منطقه‌ای را مجاب به استفاده از ویژگی باز-وصل کلیدها می‌کرد.
این پایان‌نامه با علم به این نقصان در صنعت برق کشور و به منظور ارائه راهکارهای عملی و قابل اطمینان تدوین شده است.
در این پایان‌نامه ضمن بررسی کامل ولتاژهای القائی در فاز قطع شده، میزان اثر بخشی آنها در استمرار زمان قوس تشریح شده است. برآیند شناخت کامل این ولتاژها و رفتار سنجی قوس ثانویه، ارائه روش پیش‌بینی و تعیین خاموشی قوس به طور ساده و مطمئن برای اولین بار در دنیا می‌باشد. امتیاز مهم این روشها، قابلیت پیش‌بینی روند خاموشی قوس، دقت بالا، عملیاتی بودن آن به شیوه‌ای بسیار ساده و در عین حال عدم وابستگی آن به مدل قوس و قابلیت اعمال آن به خطوط جبران شده می‌باشد.
تاکنون روشی جهت تعیین خاموشی قوس در خطوط جبران شده با راکتورهای شنت و نوترال به طور مشخص ارائه نشده است. یکی از افتخارات این پایان‌نامه ارائه الگوریتم و روشی در این خصوص است.
این پایان نامه در پنج فصل تالیف شده است.
در فصل اول به بررسی انواع ولتاژهای القائی در خطوط انتقال پرداخته شده است. دو مولفه اصلی ولتاژهای القائی یعنی ولتاژ خازنی و مغناطیسی به همراه دیاگرامهای برداری به خوبی توضیح داده شده است.
در فصل دوم روابط الکتریکی بین خطوط تشریح شده، به حالت عدم تقارن خط بسط داده شده است. جبرانسازی خط توسط راکتور شنت مورد بررسی قرار گرفته، علت استفاده از راکتور نوترال به کمک روابط ریاضی توضیح داده می شود. مطالعه دو فصل اخیر خصوصاً به دانشجویان گرایش قدرت-سیستم پیشنهاد می شود.

در فصل سوم قوس اولیه و ثانویه و مدل ریاضی آنها جهت شبیه‌سازی و اعمال به خط بررسی شده است. دراین خصوص موارد قابل تاملی بیان شده است که می‌بایست محقق همواره آنها را مد نظر داشته باشد.

در فصل چهارم و پنجم به ارائه روشهای مبنی بر پیش‌بینی و تشخیص خاموشی قطعی قوس پرداخته شده است. کارشناسان و پروهشگران آشنا و فعال در این زمینه، دو فصل اخیر را بسیار جالب و مفید خواهند یافت و با روشهای عملی برای اطمینان از وصل مجدد کلید آشنا خواهند شد.

مزایای این پایان‌نامه را می توان به شرح زیر خلاصه کرد:

۱- تشریح کامل مولفه‌های ولتاژ القائی خازنی و مغناطیسی

۲- رفتار سنجی کامل اندازه ولتاژهای القائی با توجه به مقاومت لحظه‌ای قوس

۳- استفاده از زاویه ولتاژ القائی جهت تشخیص خاموشی قوس

٤- تشخیص محل عیب در لحظات اولیه بروز قوس

٥- ارائه روش پیش‌بینی و تشخیص خاموشی قوس در انواع خطوط با ویژگیهای:

٥-١- فارق از مدل قوس، محل خطا، طول خط و ... به درستی و دقت بالا عمل می کند.

٥-٢- در انواع خطوط جبران نشده و جبران شده با راکتور،کارآیی فوق العاده دارد.

٥-٣- روش عملیاتی شدن ساده‌ای دارد. بطوریکه می‌توان در کلیدهای صنعتی بکار برد.

٥-٤- برای اولین بار در دنیا است که ارائه می شوند.

امید است مطالب و و یافته‌های این پروژه از نظر کارشناسان مفید بوده و زمینه‌های عملیاتی شدن آن در کلیدها و رله‌های حفاظتی فراهم آید.

زمستان ٨٦

فصل اول

القاء ولتاژ در خطوط انتقال

۱-۱- مقدمه

خطاهای گذرا قسمت عمده خطاهای خط انتقال را به خود اختصاص داده است. طبق آمار در حدود ۸۵ درصد خطاهای تکفاز در خطوط انتقال گذرا بوده که به سرعت برطرف می‌شوند[۱]. خطای تکفاز گذرا به معنی یک اتصال کوتاه لحظه‌ای می‌باشد که آنرا به نام قوس می‌شناسیم.

علت بروز قوس می‌تواند اضافه ولتاژ ناشی از برخورد مستقیم صاعقه با فاز، برخورد صاعقه با سیم‌های گارد و القاء ولتاژ در فاز، آلودگی نمکی یا صنعتی مقره، رطوبت هوا، نزدیکی عامل خارجی به فازها مثل شاخ و برگ درختان یا بالهای پرندگان، و غیره باشد. در خطوط ولتاژ بالا به دلیل فاصله نسبتاً زیادی که بین فازها وجود دارد احتمال نزدیک شدن دو فاز بر اثر باد کمتر است. در هنگام بروز خطا، رله‌های حفاظتی ضمن تشخیص فاز دچار سانحه، همان فاز را توسط کلیدهای طرفین باز می‌کند.

۱-۲- پایداری شبکه

در صورت بروز عیوبی مانند اتصال کوتاه، باز شدن یک یا سه فاز خط بر اثر عملکرد کلیدها، مصرف توان اکتیو شبکه کاهش می‌یابد. این در حالی است که توان خروجی از بویلر که وارد ژنراتور می‌شود ثابت می‌ماند. اختلاف توان وردی با خروجی از ژنراتور باعث شتاب گرفتن شفت یا روتور گشته، اختلاف فاز بین ولتاژ داخلی ژنراتور و ولتاژ باس شبکه افزایش می‌یابد. در صورت برطرف نشدن عیب و برگشت شبکه به حالت عادی، افزایش زاویه به حدی خواهد بود که باعث بر هم خوردن سنکرونیسم بین نیروگاه و شبکه می‌شود. در چنین حالتی اگر به سرعت نیروگاه از مدار خارج نشود، هماهنگی کل شبکه به خطر می‌افتد و باعث خروج خطوط و نیروگاهای یک شبکه سراسری خواهد شد. در صورت جداسازی به موقع نیروگاه، بار شبکه به دیگر نیروگاههای شبکه منتقل شده و به حالت اضافه بار[1] خواهند رفت. در شبکه‌های ضعیف که توان عبوری از خطوط محدود می‌باشد چنین افزایش باری می‌تواند بار دیگر موجب خروج خط و نیروگاه شود. در هر صورت مشاهده می‌شود در صورت بروز عیب در خط، اگر سریعاً نسبت به برطرف کردن آن اقدام نشود می‌تواند پایدرای شبکه را تهدید کند. لذا می‌بایست عامل خطای رخ داده در حداقل زمان برطرف شده و خط وارد مدار گردد. در زمان طراحی خط،طراح خطاهای مختلف را در نظر می‌گیرد و توان شبکه در تحمل خطا را ارزیابی می‌کند. در صورت ضعف شبکه در حفظ پایداری در خلال بدترین خطای ممکن، طراح می‌بایست راهکارهایی جهت افزایش قابلیت اطمینان و پایداری شبکه بکار بندد.

همانگونه که ذکر شد اکثر عیوب در خطوط از نوع تکفاز و گذرا می‌باشند. در صورت بروز عیب می‌توان هر سه فاز خط را با هم از طرفین قطع کرد. در این حالت قوس بوجود آمده در خط، منبع تغذیه کننده خود را از دست داده و سریع خاموش می‌شود. این روش شاید در سطوح ولتاژ فوق توزیع (کمتر از ۱۳۲ کیلوولت) قابل استفاده باشد، اما با بالا رفتن سطح ولتاژ و به طبع آن توان عبوری از خط، نه تنها مفید نیست بلکه باعث کم شدن زمان پایداری شبکه می‌شود. رابطه (۱-۱) به طور تقریبی زمان پایداری شبکه در قطع همزمان سه فاز، به‌ازای ولتاژهای مختلف را نشان می‌دهد[۲]. در این رابطه V ولتاژ خط و t حداکثر زمان پایداری در واحد سیکل می‌باشد. این رابطه کاملاً تقریبی است و تنها جهت مقایسه آورده می‌شود. واضح است زمان پایداری را عوامل مختلفی درشبکه از جمله توپولوژی آن تعیین می‌کند.

[1] Overload

$$t = 10 + \frac{V(kV)}{34.5} \qquad (۱-۱)$$

طبق رابطه فوق، در صورت بروز عیب در خط تنها ۲۲ سیکل یا نیم ثانیه از زمان شروع عیب، جهت وصل مجدد کلید در شبکه ٤٠٠ کیلوولت فرصت وجود دارد و در صورتی که عملکرد کلید بیش از زمان فوق طول بکشد به معنی از دست دادن سنکرونیسم و پایداری خط است.

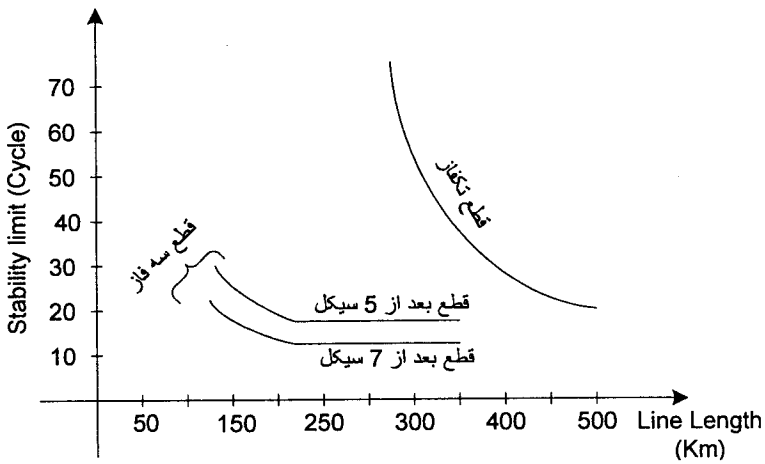
این در حالی است که در صورت بروز قوس، زمان خاموش شدن آن به مدت زمان لازم برای دیونیزاسیون هوای اطراف آن بستگی دارد و معمولاً بیش از نیم ثانیه طول می‌کشد. در صورت بسته شدن کلیدهای طرفین خط و باقی بودن قوس، بار دیگر قوس توسط منابع شبکه تغذیه شده و خطا پایدار باقی مانده، باعث عبور جریان زیاد از تجهیزاتی مانند CT و ترانسفورماتورهای شبکه و تنش منفی بزرگ بر محور ژنراتور می‌گردد. همچنین به دلیل اضافه ولتاژهای پیش آمده، مقاومت عایقی تجهیزات در معرض تهدید جدی قرار می‌گیرد. در صورت بروز عیب در ادواتی مانند ترانسفورماتورها، راکتورها و خازنهای جبران کننده خط، برقگیر و VT نه تنها عملکرد و برقرسانی به‌آن قسمت از شبکه مختل خواهد شد، علاوه بر خسارت مالی قابل توجه، زمان زیادی صرف تعمیر یا تعویض آنها خواهد نمود. بنابراین در هنگام وصل مجدد کلید از برطرف شدن خطا اطمینان داشته باشیم.

زمان نسبتاً زیاد، جهت دیونیزه شدن هوای اطراف قوس و خاموشی کامل آن و همچنین زمان لازم آماده شدن کلید جهت وصل مجدد (زمان مرده کلید) باعث می‌شود نتوان از باز-وصل سه فاز در خط استفاده کرد.

با توجه به‌اینکه قوس در یک فاز رخ داده است بهتر می‌باشد که همان فاز به طور موقت از شبکه جدا شود و بعد از برطرف شدن خطا و خاموشی کامل قوس بار دیگر وارد مدار شود. در اینصورت علاوه بر آنکه بیش از ٥٠ درصد توان توسط فازهای سالم عبور داده می‌شود، به دلیل حفظ ارتباط بین دو باس سمت فرستنده و گیرنده، سنکرونیسم خط حفظ شده، ورود مجدد خط بدون نیاز به سنکرون کردن امکان می‌یابد. اما مهمتر از این دو مورد فوق افزایش حد پایداری شبکه در حالت قطع یک فاز نسبت به سه فاز می‌باشد. در حالت قطع یک فاز به دلیل استمرار گذر توان به مصرف کننده، نیروگاه با مشکل حذف ناگهانی بار مواجه نمی‌شود و زاویه توان روتور، رشدی بسیار آرام خواهد داشت. در این حالت زمان کافی جهت خاموشی قوس وجود خواهد داشت. لذا استفاده از کلیدهایی با قابلیت باز-بست تکفاز در خطوط انتقال (۲۳۰ و ٤٠٠ کیلوولت) مفید ومتداول می‌باشد.

لازم به ذکر است که زمان رفع خطا عامل مهم و تعیین کننده در حد پایداری می‌باشد. هر چه خطا دیرتر حذف شود زاویه توان یا δ بیشتر شده، زمان کمتری جهت حذف خطا و برگشت به

حالت عادی وجود خواهد داشت. شکل (۱-۱) حد پایداری شبکه در قطع سه فاز و تکفاز به‌ازای طول خط را نشان می‌دهد [۱]. در حالت قطع سه فاز، مقایسه‌ای بین برطرف شدن خطا در دو زمان مختلف و پایداری ما به‌ازای آن صورت گرفته است.



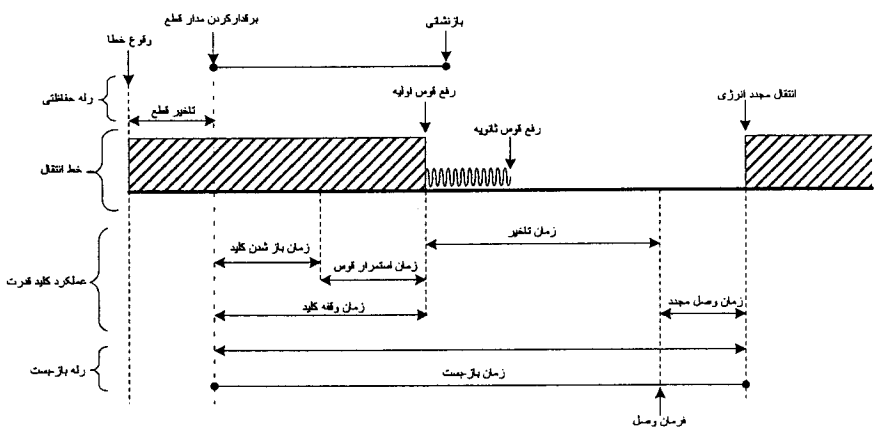
شکل(۱-۱): حد پایداری شبکه به‌ازای باز-بست سه فاز و تکفاز

همانگونه که ملاحظه می‌شود فقط با قطع فاز دچار سانحه شده (قطع تکفاز)، می‌توان زمان پایداری را به مقدار زیاد بالا برد و فرصت کافی جهت خاموشی قوس و عملکرد رله‌ها و کلید داشت.

اگرچه چنین روشی نیازمند استفاده از کلیدهایی با سه مکانیزم جداگانه قطع و وصل می‌باشد و به عبارتی هزینه‌ای سه برابر باید نسبت به کلیدهایی با قطع همزمان سه فاز داد اما همانطور که می‌دانیم اهمیت پایدار باقی ماندن شبکه به مراتب بالاتر می‌باشد و صرف چنین هزینه‌هایی را کاملاً توجیه می‌کند.

۱-۳- کلیدها

شکل (۱-۲) منحنی زمان عملکرد کلید را نشان می‌دهد [۲].



شکل(۱-۲): توالی زمانی عملکرد کلید