بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق-قدرت

عنوان پایان نامه :

تحلیل خطوط انتقال متصل به برقگیر در حضور صاعقه در حوزه فرکانس بر پایه مفاهیم کیفی جدید در الکترومغناطیس

پژوهشگر:

سید مهدیار تقوی عراقی

(۹۰۱۳۳۴۱۲۰۱)

استاد راهنما:

دکتر سعیدرضا استادزاده

زمستان ۹۲

بسم ا... الرحمن الرحیم

تحلیل خطوط انتقال متصل به برقگیر در حضور صاعقه در حوزه فرکانس بر پایه مفاهیم کیفی جدید در الکترومغناطیس

توسط:

سید مهدیار تقوی عراقی

پایان نامه

ارائه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق-قدرت

از

دانشگاه اراک

اراک-ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: .....

دکتر سعیدرضا استادزاده (استاد راهنما و رئیس کمیته). . . . . .استادیار

دکتر امیرحسین ایوالمعصومی(مدیر گروه برق). . . . . استادیار

دکتر علی اصغر قدیمی(داور داخلی) . . . . . .استادیار

دکتر سالمی(داور خارجی) . . . . . .استادیار

زمستان ۹۲

تقدیم به :

پدر:

ای خورشید روشنایی بخش زندگی ام، دل دریایی تو آموزگار چگونه زیستنم است و حضورت افتخار زندگی ام و دعای خیرت همواره بدرقه راهم. در لحظه های فراز زندگی صدای تو اعتبارم بخشد و در لحظه های نشیب اعتمادت بزرگترین پشتوانه ام است. حال که از دعا، یاری و صبوریت این دوره از زندگی را پشت سر گذاشتم بر دستان پر مهرت بوسه زده و نتیجه تلاشهایم را به تو تقدیم می کنم.

مادر:

ای روح مهربان هستی ام، ای شوق زیبایی نفس کشیدن، ای نور دیده دلها، روشنی بخش شادی ها و دور کننده غم ها. نیمی از وجودت ایثار و گذشت است و نیمی دیگر عشق و محبت. چشمان پر امید تو معنابخش زندگیم است و سپیده سجاده سحرگاهانت سبب سعادتم. اکنون که حاصل دستان خسته ات رمز موفقیتم شد، بر دستانت بوسه زده و نتیجه تلاشهایم را به تو تقدیم می کنم.

سپاسگذاری :

با سپاس فراوان از استاد راهنمای فرهیخته، جناب آقای دکتر استادزاده که در طول مدت انجام این پایان نامه از رهنمودهای علمی و اخلاقی ایشان بهره مند شدم. و نیز از اساتید محترم گروه برق دانشگاه اراک که در طول مدت تحصیل از دانش و راهنمایی های آنها استفاده نمودم سپاسگذاری می نمایم.

همچنین به عنوان اولین گروه از فارغ التحصیلان کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق–قدرت دانشگاه اراک، بر خود لازم می دانم از زحمات جناب آقای دکتر قدیمی به پاس تلاش هایی که جهت راه اندازی کارشناسی ارشد برق–قدرت در شهر اراک داشتند تشکر نمایم.

این پایان نامه با حمایت و پشتیبانی شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت ایران اجرا شده است.

چکیده :

مسئله اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه بر روی خطوط انتقال قدرت بالای سطح زمین موضوع بسیاری از تحقیقات می باشد. این مسئله از آن جهت حائز اهمیت می باشد که این اضافه ولتاژ می تواند باعث بروز آسیب به ادوات و نیز اختلال در برقرسانی به مشترکین شود.

در ارزیابی اضافه ولتاژ صاعقه پارامترهای مختلفی دخیل هستند، که احتساب همه آنها باعث پیچیدگی زیاد مسئله می شود. لذا در روشهای ارائه شده بوسیله محققان، فرضیات مختلفی لحاظ شده و با ساده سازی های صورت گرفته مسئله حل شده است. ضمن آنکه روشهای تحلیلی و حل مستقیم بسیار سخت و زمانبر بوده و روش های عدی نیز به به نوبه خود با مشکلات زیادی روبرو می باشند.

ارزیابی دقیق اضافه ولتاژ صاعقه مستلزم محاسبه میدان های الکترومغناطیسی صاعقه در طول خط می باشد. همچنین عکس العمل خط انتقال و رفتار برقگیر و سیستم زمین نیز باید به درستی تحلیل شود. که در این پایان نامه رفتار خط انتقال در حوزه فرکانس بررسی و مدلسازی شده است. بدین صورت که ادمیتانس ورودی خط انتقال تک سیمه که در حوزه فرکانس در مختصات قطبی دارای یک حرکت دایروی می باشد با استفاده از تئوری فازی مدلسازی شده است. ضمن آنکه بدون استفاده از تقریب های نادرست و با استفاده از دیتای اولیه دقیق اثر پارامترهای مختلف نیز لحاظ شده است. همچنین با حفظ دقت زمان شبیه سازی نیز کاهش یافته و با استفاده از قابلیت های منطق فازی تحلیل ها و تفسیرهای مهمی نیز از پارامترهای موثر بدست آمده است.

علاوه بر ادمیتانس ورودی خط انتقال، جریان القایی روی خط و همینطور ادمیتانس هارمونیکی سیستم زمین متشکل از راد نیز به طور اجمالی بررسی شده است. در پایان نیز نشان داده شده است که با استفاده از این روش می توان برای خطوط انتقال متشکل از چند هادی هم اثر کوپلینگ بین هادی های یک خط را نیز مدلسازی نموده و به مدل کاملتری دست یافت.

فهرست

از ۳

۱- فصل اول: مقدمه ۱۲

۱,۱) منطق فازی در مهندسی ۱۳

۱,۲) منطق فازی در حل عددی مسائل الکترومغناطیسی ۱۴

۱,۳) خلاصه ۱۵

۲- فصل دوم: مروری بر بیشینه تحقیق ۱۶

۲,۱) مقدمه ۱۶

۲,۲) میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی افقی ناشی از صاعقه ۱۷

۲,۲,۱) اثر زمین بر جزء افقی میدان الکتریکی ۱۹

۲,۳) اثر رسانایی کامل زمین بر پارامترهای خط انتقال ۲۵

۲,۳,۱) امپدانس سیم ۲۷

۲,۳,۲) امپدانس زمین ۲۸

۲,۳,۳) روابط تقریبی برای محاسبه امپدانس زمین ۳۱

۲,۳,۴) مقایسه روشهای گفته شده ۳۲

۲,۳,۵) نکات نسبی برای پارامترهای خط ۳۴

۲,۴) مدلهای کوپلینگ میدان به خط انتقال ۳۶

۲,۴,۱) روابط کوپلینگ خط و میدان ۳۷

۲,۴,۲) تئوری خط انتقال ۳۹

۲,۵) مهمترین مدل های کوپلینگ خط و میدان ۳۹

۲,۵,۱) مدل آگراوال ۳۹

۲,۵,۲) مدل تیلور ۴۱

۲,۵,۳) مدل رشیدی ۴۲

۲,۵,۴) تفسیر ۳ مدل مطرح شده ۴۳

۲,۵,۵) خط با چند هادی ۴۴

۲,۵,۶) کوپلینگ به یک شبکه ۴۶

۲,۶) حل روابط کوپلینگ میدان به خط ۴۶

۲,۶,۱) حل روابط کوپلینگ میدان به خط در حوزه فرکانس ۴۶
۲,۶,۲) حل روابط کولینگ میدان به خط در حوزه زمان ۴۸
۲,۷) تاثیر پارامترهای مختلف بر اضافه ولتاژ صاعقه..... ۵۰
۲,۷,۱) تاثیر تلفات زمین بر اضافه ولتاژ صاعقه در انتهای خط ۵۰
۲,۷,۲) اثرات تلفات زمین براضافه ولتاژ صاعقه مستقیم در طول خط ۵۴
۲,۷,۳) اثر تلفات زمین بر اضافه ولتاژ القایی روی خط در طول خط ۵۶
۲,۸) اثر جریان القایی بر اضافه ولتاژ صاعقه..... ۶۰
۲,۹) سایر پارامترهای موثر بر اضافه ولتاژ صاعقه..... ۶۲
۲,۹,۱) وابستگی پارامترهای زمین به فرکانس ۶۲
۲,۹,۲) اثر ارتفاع خط انتقال ۶۳
۲,۹,۳) اثر برقگیر و بارهای دوسر خط ۶۳
۲,۹,۴) اثر نوع صاعقه ۶۳
۲,۱۰) خلاصه..... ۶۳
۳- فصل سوم: روش تحقیق..... ۶۶
۳,۱) مقدمه..... ۶۶
۳,۲) مفاهیم تناوب، تلفات و مکان هندسی جزئی..... ۶۶
۳,۳) فاز جزئی..... ۷۰
۳,۳,۱) توابع عضویت فضایی ۷۳
۳,۳,۲) خلاصه ۷۵
۴- فصل چهارم: استفاده از منطق فازی در مدلسازی..... ۷۶
۴,۱) مقدمه..... ۷۶
۴,۲) مدل خط انتقال در مجاورت صاعقه..... ۷۷
۴,۳) ادمیتانس ورودی خط انتقال..... ۷۹
۴,۳,۱) فیت کردن دوایر ۸۰
۴,۳,۲) تشکیل توابع عضویت فازی برای مکان هندسی جزئی ۸۱
۴,۳,۳) مکان هندسی جزئی ۸۲
۴,۳,۴) منحنی فاز جزئی ۸۳
۴,۳,۵) رسم خروجی ۸۴
۴,۴) ادمیتانس ورودی با تغییر ارتفاع خط از سطح زمین..... ۸۶
۴,۵) ادمیتانس ورودی با تغییر همزمان ارتفاع و رسانایی زمین..... ۹۲

۴,۶) مدلسازی جریان القایی صاعقه ۱۰۶
۴,۷) مدلسازی امپدانس میله زمین ۱۱۲
۴,۷,۱) مدلسازی یک نمونه راد ۱۱۵
۴,۸) ادمیتانس متقابل خط انتقال با هادی های چندتایی ۱۱۹
۴,۹) خلاصه ۱۲۲
۵- فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۲۳
۵,۱) نتیجه گیری ۱۲۳
۵,۱,۱) عدم نیاز به حل معادلات ۱۲۳
۵,۱,۲) استخراج اطلاعات ثانویه از دیتای مبهم اولیه ۱۲۳
۵,۱,۳) تشخیص رفتار سیستم ۱۲۴
۵,۱,۴) پیش بینی اثرات تغییر پارامترها ۱۲۴
۵,۱,۵) قابل فهم بودن بوسیله انسان ۱۲۶
۵,۱,۶) عدم استفاده از تقریب های نادرست ۱۲۷
۵,۱,۷) تحلیل سیستم های چند ورودی چند خروجی ۱۲۷
۵,۲) پیشنهادات ۱۲۷
۵,۲,۱) در نظر گرفتن وابستگی پارامترهای محیط به فرکانس ۱۲۷
۵,۲,۲) مدلسازی سایر سیستم های زمین ۱۲۸
5.2.3) استفاده از *Modified AoM* بجای *AoM* ۱۲۸
۵,۲,۴) تحلیل مسئله اصابت غیرمستقیم صاعقه ۱۲۸
۵,۲,۵) استفاده از این روش در سایر مسائل مهندسی ۱۲۸
۶- فصل ششم : مراجع ۱۲۹

فهرست شکل ها

شکل ۱-۱-روشهای سنتی حل مسائل الکترومغناطیسی..... ۱۲

شکل ۲-۱-میدان الکترومغناطیسی صاعقه..... ۱۷

شکل ۲-۲-نتایج محاسبه میدان الکتریکی افقی در فاصله $۲۰۰m$..... ۲۳

شکل ۲-۳- نتایج محاسبه میدان الکتریکی افقی در فاصله $۵۰۰m$..... ۲۳

شکل ۲-۴- نتایج محاسبه میدان الکتریکی افقی در فاصله $۱۵۰۰m$..... ۲۳

شکل ۲-۵- اثر ارتفاع بر ۳ مدل $r=۱۰۰m$ و $z=۰m$ (a). $r=۱۰۰m$ و $z=۱۰m$ (b)..... ۲۴

شکل ۲-۶-نمایش شکل کوپلینگ میدان به خط انتقال..... ۲۵

شکل ۲-۷-اثر رسانایی و پرمابیلیته زمین بر اندازه و فاز امپدانس زمین..... ۲۹

شکل ۲-۸-اثر ارتفاع بر اندازه و فاز ارتفاع زمین..... ۳۰

شکل ۲-۹-مقایسه روش های حل دقیق، ونس و ساندی برای محاسبه اندازه و فاز امپدانس زمین ۳۳

شکل ۲-۱۰-مقایسه بین روش دقیق، صفحه مختلط و روش ونس بر اندازه و فاز زمین..... ۳۳

شکل ۲-۱۱- مقایسه بین مقادیر امپدانس سیم و امپدانس زمین..... ۳۴

شکل ۲-۱۲- مقادیر $\mathbf{Z}\omega'/j\omega L'$ و $\mathbf{Z}g'/j\omega L'$ برای یک خط انتقال..... ۳۵

شکل ۲-۱۳-میله رسانا در مجاورت میدان الکترومغناطیسی خارجی..... ۳۷

شکل ۲-۱۴- مدار معادل رابطه(۲-۴۲) و رابطه(۲-۴۳)..... ۳۸

شکل ۲-۱۵- شرایط مرزی برای مدار معادل آگراوال..... ۴۰

شکل ۲-۱۶- مدار معادل آگراوال..... ۴۱

شکل ۲-۱۷-مدار معادل مدل خط و میدان تیلور..... ۴۲

شکل ۲-۱۸-مدار معادل مدل خط و میدان رشیدی..... ۴۳

شکل ۲-۱۹-اضافه ولتاژ محاسبه شده در انتهای خط در دو حالت رسانایی و عدم رسانایی کامل زمین..... ۵۱

شکل ۲-۲۰-محاسبه اضافه ولتاژ در ۳ حالت گفته شده در بالا..... ۵۲

شکل ۲-۲۱-مقدار معکوس ثابت تضعیف خط برای دو حالت رسانایی زمین..... ۵۳

شکل ۲-۲۲- محاسبه اضافه ولتاژ در ۳ حالت گفته شده در شکل ۲-۲۰ با فرض طول خط $5km$ ۵۳
شکل ۲-۲۳- اضافه ولتاژ ناشی از موج رونده صاعقه در نقاط مختلف خط ۵۵
شکل ۲-۲۴- اضافه ولتاژ صاعقه با درنظر گرفتن اثر کرونا و صرفنظر از اثر تلفات زمین ۵۶
شکل ۲-۲۵- اضافه ولتاژ موج برگشتی صاعقه تا فاصله $2/8\ km$ از انتهای سمت چپ ۵۷
شکل ۲-۲۶-اضافه ولتاژ صاعقه در طول خط ۵۸
شکل ۲-۲۷-نتایج آزمایش عملی صاعقه در مقیاس کوچک ۵۹
شکل ۲-۲۸-اضافه ولتاژ القایی ناشی از صاعقه غیر مستقیم ۶۰
شکل ۲-۲۹-شکل خط انتقال متصل به برقگیر و تحریک شده بوسیله صاعقه مستقیم ۶۱
شکل ۲-۳۰-موج رونده جریان در خط و پارامترهای خط در حوزه فرکانس ۶۱
شکل ۳-۱-چند نمونه از شکل های با حرکت دایوری در مختصات قطبی ۶۷
شکل ۳-۲-شکل یک مسئله کلی در محتصات قطبی و کارتزین ۶۸
شکل ۳-۳-دایره فیت شده روی منحنی اصلی ۶۸
شکل ۳-۴-نمونه توابع عضویت برای محاسبه مکان هندسی جزئی ۶۹
شکل ۳-۵-مکان هندسی جزئی برای مسئله شکل ۳-۲ ..... ۷۰
شکل ۳-۶- منحنی فاز جزئی به همراه توابع عضویت و خطوط فیت شده روی آن ۷۱
شکل ۳-۷- یک نمونه تابع عضویت فضایی برای ترکیب دو متغیر مستقل X1 و X2 ..... ۷۳
شکل ۴-۱-شکل خط انتقال منتهی به برقگیر و تحریک شده با صاعقه ۷۷
شکل ۴-۲- موج رونده جریان و پارامترهای وابسته به فرکانس خط انتقال ۷۷
شکل ۴-۳- مدار معادل شکل ۴-۱ و شکل ۴-۲ ..... ۷۸
شکل ۴-۴-منحنی ادمیتانس ورودی مسئله مورد بحث در حوزه فرکانس در مختصات کارتزین ۷۹
شکل ۴-۵- منحنی ادمیتانس ورودی خط در مختصات قطبی (شکل ۴-۴ در مختصات قطبی) ۸۰
شکل ۴-۶-دوایر فیت شده روی منحنی با انتخاب ۳فرکانس برای هر دایره ۸۱
شکل ۴-۷-توابع عضویت برای تشکیل منحنی مکان هندسی جزئی ۸۲
شکل ۴-۸-مکان هندسی جزئی ۸۳
شکل ۴-۹-منحنی فاز جرئی به همراه خطوط اصلی ۸۴

شکل ۴-۱۰- توابع عضویت بهینه شده *(a)*مربوط به مکان هندسی جزئی. *(b)* مربوط به منحنی فاز جزئی..۸۵
شکل ۴-۱۱-مقایسه شکل اصلی و خروجی حاصله از روش فازی در مختصات کارتزین.....۸۵
شکل ۴-۱۲- مقایسه شکل اصلی و خروجی شبیه سازی در مختصات قطبی.....۸۶
شکل ۴-۱۳-ادمیتانس ورودی خط انتقال به ازای ارتفاع های مختلف(از روش *MoM*).....۸۸
شکل ۴-۱۴-فیت کردن دوایر روی منحنی ها با استفاده از فرکانس های مشابه.....۸۹
شکل ۴-۱۵-مختصات مرکز و شعاع دوایر فیت شده به ازای تغییرات ارتفاع خط از سطح زمین.....۹۰
شکل ۴-۱۶- خطوط فیت شده روی نقاط شکل ۴-۱۵.....۹۰
شکل ۴-۱۷-خروجی شبیه سازی شده با استفاده از اطلاعات شکل ۴-۱۸.....۹۱
شکل ۴-۱۹-ادمیتانس ورودی خط انتقال در مختصات قطبی به ازای رسانایی های مختلف زمین ۹۳
شکل ۴-۲۰-دوایر فیت شده روی منحنی های شکل ۴-۱۹.....۹۵
شکل ۴-۲۱-مختصات مرکز و شعاع دوایر فیت شده بر حسب تغییرات رسانایی زمین.....۹۶
شکل ۴-۲۲-خطوط فیت شده روی شکل ۴-۲۱ جهت ردیابی اثر تغییرات رسانایی زمین.....۹۶
شکل ۴-۲۳-خطوط فیت شده جهت ردیابی مختصات مرکز و شعاع دوایر به ازای تغییرات ارتفاع.....۹۷
شکل ۴-۲۴- توابع عضویت فضایی جهت ترکیب اثر دو متغیر مستقل.....۹۸
شکل ۴-۲۵-توابع عضویت فضایی بهینه شده برای ترکیب اثر ارتفاع خط و رسانایی زمین.....۹۹
شکل ۴-۲۶-استفاده از توابع عضویت فضایی جهت خط انتقال با ارتفاع *۱۹m* و رسانایی زمین *۰۰۴S/m*./ ۱۰۰
شکل ۴-۲۷-مقایسه خروجی حاصله با استفاده از توابع عضویت فضایی با روش *MoM*.....۱۰۱
شکل ۴-۲۸-منحنی طول از مبدا مرکز دایره اول.....۱۰۲
شکل ۴-۲۹-منحنی عرض از مبدا مرکز دایره اول.....۱۰۲
شکل ۴-۳۰-منحنی شعاع دایره اول ۱۰۳
شکل ۴-۳۱ - منحنی طول از مبدا مرکز دایره دوم ۱۰۳
شکل ۴-۳۲-منحنی عرض از مبدا مرکز دایره دوم.....۱۰۴
شکل ۴-۳۳-منحنی شعاع دایره دوم.....۱۰۴
شکل ۴-۳۴- منحنی طول از مبدا مرکز دایره سوم.....۱۰۵
شکل ۴-۳۵-منحنی عرض از مبدا مرکز دایره سوم.....۱۰۵

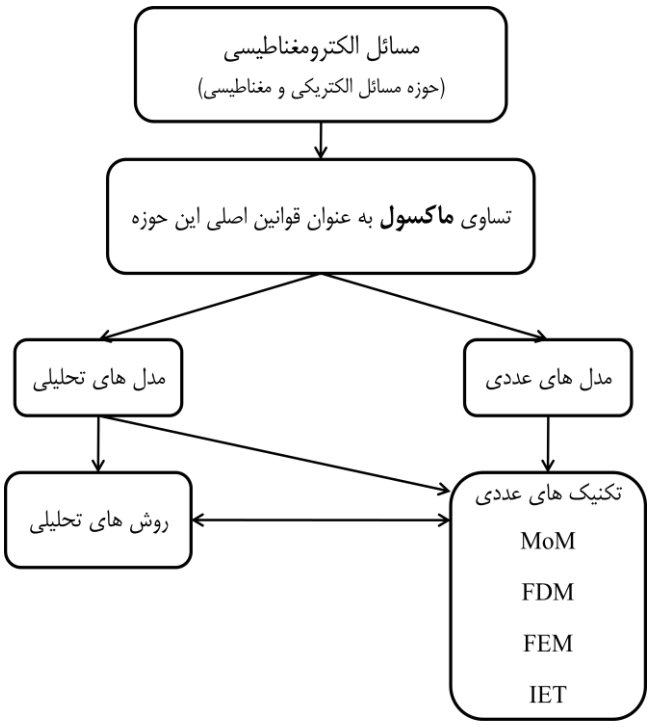
شکل ۴-۳۶-منحنی شعاع دایره سوم.....۱۰۶
شکل ۴-۳۷-شکل کلی خط انتقال بالای سطح زمین منتهی به برقگیر و تحریک شده بوسیله صاعقه.....۱۰۷
شکل ۴-۳۸-موج رونده جریان در طول خط.....۱۰۷
شکل ۴-۳۹-مدار معادل نورتن شکل ۴-۳۷ شکل ۴-۳۸.....۱۰۸
شکل ۴-۴۰-جریان القایی در مختصات قطبی به ازای مقادیر مختلفXs.....۱۰۹
شکل ۴-۴۱-دوایر فیت شده روی منحنی جریان القایی.....۱۱۰
شکل ۴-۴۲-مختصات مرکز و شعاع دوایر فیت شده به ازای Xsهای مختلف.....۱۱۰
شکل ۴-۴۳-منحنی درجه دوم فیت شده روی نقاط.....۱۱۱
شکل ۴-۴۴-خروجی حاصله با استفاده از خطوط شکل ۴-۴۳.....۱۱۲
شکل ۴-۴۵- مدل ها مختلف نمایش راد در حوزه فرکانس.....۱۱۳
شکل ۴-۴۶-مدل ها مختلف نمایش راد در حوزه فرکانس.....۱۱۴
شکل ۴-۴۷-امپدانس هارمونیکی راد در مختصات قطبی.....۱۱۵
شکل ۴-۴۸- بزرگنمایی شده شکل قبل.....۱۱۶
شکل ۴-۴۹- فیت کردن ۳ دایره روی امپدانس راد در مختصات قطبی.....۱۱۶
شکل ۴-۵۰- توابع عضویت بهینه شده برای مکان هندسی جزئی و فاز جزئی.....۱۱۷
شکل ۴-۵۱- مکان هندسی جزئی برای راد در بازه فرکانسی.....۱۱۷
شکل ۴-۵۲- منحنی فاز جزئی و خطوط اصلی روی آن.....۱۱۸
شکل ۴-۵۳-قسمت حقیقی و موهومی امپدانس هارمونیکی راد.....۱۱۸
شکل ۴-۵۴-شکل کلی مسئله در حالت خط انتقال با دو هادی.....۱۱۹
شکل ۴-۵۵-مدار معادل شکل قبل.....۱۱۹
شکل ۴-۵۶-ادمیتانس متقابل دو هادی خط (بر حسب μS).....۱۲۰
شکل ۴-۵۷- توابع عضویت بهینه شده.....۱۲۱
شکل ۴-۵۸-مدلسازی ادمیتانس متقابل دو هادی.....۱۲۱
شکل ۵-۱- ادمیتانس ورودی در اثر تغییرات ارتفاع.....۱۲۵
شکل ۵-۲- مختصات مرکز و شعاع دوایر فیت شده با تغییرات ارتفاع.....۱۲۵

شکل ۵-۳- مختصات مرکز و شعاع دوایر فیت شده با تغییرات رسانایی زمین.....۱۲۶

۱- فصل اول: مقدمه

در سالهای اخیر با توجه به افزایش تقاضای انرژی الکتریکی با کیفیت توان مطلوب بوسیله مصرف کننده های شبکه قدرت، مسئله اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه بر روی خطوط انتقال بالای سطح زمین و یا زیرزمین مورد توجه قرار گرفته است[۱].

ارزیابی مناسب اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه نیاز به فهم دقیق میدان الکترومغناطیسی در طول خط دارد[۱]. روش های مختلفی برای حل این نوع مسائل الکترومغناطیسی وجود دارند. روابط ماکسول به عنوان مدل اصلی و قانون کلی حاکم بر مسائل الکترومغناطیس بوده و بسیاری دیگر از روش ها از این روابط شروع شده و یا از آنها استخراج شده اند. به عنوان مثال به موازات روشهای متداول حل مسائل الکترومغناطیسی، روشهای عددی نیز به عنوان ابزاری ارزشمند در حل اینگونه مسائل مورد توجه قرار گرفته و در سال های اخیر توسعه یافته و کاربردهای گسترده ای نیز پیدا کرده اند. فلوچارت پیش رو نمایشی ساده از روشهای حل مسائل الکترومغناطیسی کلاسیک را نشان می دهد[۲]:



شکل ۱-۱-روشهای سنتی حل مسائل الکترومغناطیسی

اما روشهای عددی و تحلیلی نیز به نوبه خود مشکلاتی به همراه داشته و در برخورد با مسائل عملی محدودیت هایی به همراه دارند. در ذیل به برخی از مهمترین مشکلات روشهای عددی حل مسائل الکترومغناطیسی اشاره شده است:

- زمانبر بودن آنالیزهای عددی
- روابط تحلیلی پیچیده
- سخت بودن مدل کردن پارازیت ها
- عدم توانایی در درک و تفسیر صحیح اطلاعات صرفا با روشهای حل فیزیکی

از آنجا که سرعت حل این گونه مسائل از اهمیت بالایی در نظر مهندسین برخوردار است، لذا تلاش های بسیاری برای یافتن روشهای بهینه، سریع و دقیق صورت گرفته است. از اینرو یافتن راه حل های جدید همواره مدنظر محققین این عرصه بوده است.[۲]

۱,۱) منطق فازی در مهندسی

با معرفی تئوری فازی بوسیله زاده و سپس منطق فازی بوسیله ممدانی، این روشها به عنوان واسطه در حل بسیاری از مسائل مورد استفاده قرار گرفت.

از مهمترین مزایای منطق فازی در مسائل مهندسی می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- استخراج نتایج دقیق از داده های غیر دقیق
- سرعت بالای محاسبات
- مدل سازی ساده سیستم های پیچیده
- شناسایی الگوها

- تحلیل سیستم های MIMO

از اینرو استمداد از اینگونه روشها در حل عددی مسائل الکترومغناطیسی نیز میتواند راهگشا باشد[۲].

۱,۲) منطق فازی در حل عددی مسائل الکترومغناطیسی

آنچه که انسان از مسائل الکترومغناطیسی استنباط می کند در حالت عادی فقط بوسیله پارامترها و قوانین معمول است. از اینرو شناسایی و فرمول بندی پارامترهای موثر در حل مسئله در روشهای رایج حل مسائل الکترومغناطیسی هنوز چالشی اساسی است. این بدان علت است که در بسیاری از موارد ممکن است اطلاعات اولیه مسئله گنگ و مبهم بوده، بوسیله مغز انسان قابل درک نبوده، تعداد متغیرها زیاد باشد و ... . اما اگر بتوان پارامترهای ثانویه ای– که تفسیر جدیدی از اطلاعات به ما ارائه می دهند و بوسیله انسان قابل درک تر هستند– را از اطلاعات اولیه استخراج نمود و با این اطلاعات ثانویه به حل مسئله پرداخت آنگاه ممکن است گشایشی قابل توجه در حل مسئله حاصل می شود[۲].

در حقیقت یکی از مهمترین نقش های منطق فازی در حل عددی مسائل الکترومغناطیسی، استخراج پارامترهای ثانویه از اطلاعات اولیه و سپس ارائه راه حل مناسب می باشد. علاوه بر متغیرهای زبانی نیز در تبیین و حل مسئله مورد اشاره موثر است. همچنین تحلیل مسائل چند ورودی –چند خروجی با ترکیب چند سیستم تک ورودی از دیگر مزایای این روش می باشد. [۲]

در ذیل به چند ویژگی منطق فازی که می تواند در حل عددی مسائل الکترومغناطیس موثر واقع شود اشاره شده است[۲]:

- ✓ امکان کار با تعداد زیاد متغیرها و ورودی ها
- ✓ استخراج نتایج دقیق از داده های غیر دقیق
- ✓ سرعت بالای محاسبات
- ✓ مدلسازی ساده سیستم های پیچیده
- ✓ شناسایی الگوها و در نتیجه توانایی مدل کردن پارازیت ها

✓ تحلیل ساده سیستم های *MIMO*

در این پایان نامه از یک روش فازی که برای حل برخی مسائل الکترومغناطیسی پیشنهاد شده است استفاده شده و بوسیله آن طیفی از مسائل الکترومغناطیسی در حوزه روابط کوپلینگ خط و میدان، ادمیتانس ورودی و سایر پارامترهای موثر در حل مسئله اضافه ولتاژ تحلیل شده است.

۱,۳) خلاصه

- روشهای حل مستقیم روابط ماکسول و نیز روشهای تحلیلی بسیار سخت و زمانبر بوده و روشهای عددی نیز به پروسسور قوی و حافظه جانبی زیاد نیاز دارد.

- استخراج پارامترهای ثانویه از اطلاعات اولیه مسئله و تحلیل و مدلسازی آنها با منطق فازی علاوه بر تسهیل حل مسئله، باعث درک عمیق تر انسان از پارامترهای موثر در حل مسئله شده و عدم نیاز به پارامترهای اضافی دیگر را در پی دارد. ضمن آنکه با حفظ دقت ، سرعت بیشتری نیز در فرآیند محاسبات حاصل می شود.

- با استفاده از منطق فازی می توان زمان انجام محاسبات را به طرز چشمگیری کاهش و داد. ضمن آنکه نیاز به پروسسور قوی و حافظه جانبی نیز مرتفع می شود.

- در تحلیل مسائل چند ورودی- چند خروجی با استفاده از منطق فازی می توان ابتدا سیستم را به صورت چند سیستم تک ورودی-چند خروجی تحلیل نمود و سپس آنرا به سیستم چند ورودی- چند خروجی تعمیم داد.

۲- فصل دوم: مروری بر بیشینه تحقیق

۲,۱) مقدمه

اضافه ولتاژ صاعقه بر روی خطوط انتقال قدرت روی زمین، موضوع بسیاری از تحقیقات تئوری و عملی بوده است. در سالهای اخیر نیز با توجه به افزایش تقاضای انرژی الکتریکی با کیفیت توان خوب بوسیله مصرف کننده های شبکه قدرت، مسئله اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه بر روی خطوط انتقال بالای سطح زمین و یا زیرزمین مورد توجه قرار گرفته است[۱].

در مطالعات صورت گرفته بر روی اضافه ولتاژهای صاعقه پارامترهای مختلفی دخیل هستند. و به همین سبب نویسندگان فرضیات مختلفی را در مورد این پارامترها لحاظ کرده اند. مثلا در برخی موارد زمین رسانای کامل یا اینکه طول خط انتقال بینهایت فرض شده است[۳]. یکی از مهمترین مواردی که در این فصل در مورد آن بحث خواهیم کرد مسئله رسانایی الکتریکی زمین خط انتقال می باشد. در حقیقت در بسیاری از مطالعات صورت گرفته در این حوزه به زمین به مثابه یک رسانای کامل نگریسته شده است. اهمیت رسانایی زمین از آنجا می باشد که هم در پارامترهای خط انتقال و هم در انعکاس میدان صاعقه تاثیر دارد. تحلیل میدان و پارامترهای خط بوسیله تئوری های دقیق مربوطه به زمان محاسباتی بالا نیاز دارد که یک مانع در نیل به این هدف می باشد.

در ادامه این فصل تئوری خط انتقال و کاربرد آن در مسئله اثر میدان الکترومغناطیسی صاعقه بر خط انتقال بحث خواهد شد. بدین منظور در ابتدا روابط کوپلینگ میدان و خط انتقال در حالت کلی که یک سیم در بالای زمین که رسانای کامل فرض شده است، استخراج می شود. در ذیل تئوری TL[۱]، روابط کلی کوپلینگ خط و میدان به مدل آگراوال[۲] تقریب زده می شوند. پس از بحثی کوتاه و تخمین های اصولی در تئوری خط انتقال، ۳ رهیافت مختلف اما معادل یکدیگر که برای توصیف کوپلینگ خط و میدان پیشنهاد شده اند ارائه شده است. سپس مدل های موجود به حالتیکه زمین رسانای کامل نیست و خط از هادی های چندتایی تشکیل شده تعمیم داده شده است[۱].

۱- *Transmission Line*

۲- *Agrawal*