دانشکده فنی مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه کارشناسی

گرایش: مخابرات

عنوان:

محاسبه پارامترهای خط مایکرواستریپ با استفاده از تبدیل همدیس

استاد راهنما:

دکترزلفخانی

نگارش:

مقداد خدایی

مهر ۸۷

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و معرفی خطوط انتقال در سیستم های مخابراتی ۱

۱-۱ تاریخچه و معرفی خطوط انتقال در سیستم های مخابراتی ۲

۱-۲ تفاوت انتقال دهنده انرژی با خط انتقال ۵

۱-۳ پارامترهای اساسی خط انتقال ٦

فصل دوم: تحلیل خط انتقال مایکرواستریپ و پارامترهای مربوط به آن ۸

۲-۱ مایکرو استریپ ۹

فصل سوم: استفاده از تبدیل همدیس در محاسبات خط انتقال ۲۱

۳-۱ اصول نگاشت ها ۲۲

۳-۲ خواص تابع تحلیلی ۲۳

۳-۳ نگاشت همدیس ۲۵

۳-٤ روش استفاده از نگاشت همدیس ۳۰

فصل چهارم: محاسبه پارامترهای خط انتقال مایکرواستریپ با استفاده از نگاشت همدیس ٤۲

٤-۱ فرمول هایی برای ثابت دی الکتریک موثر و امپدانس مشخصه ریزنوارک(مایکرواستریپ ٤۳

٤-۲ حل تقریبی الکترو استاتیکی ٤٦

٤-۳ تبدیل شوارتز-کریستوفل ۵۱

٤-٤ کاربرد شوارتز-کریستوفل برای محاسبه پارامترهای خط انتقال مایکرواستریپ ۵٤

نتیجه گیری وپیشنهادات ٦٦

منابع و مراجع ٦۷

فصل اول:

مقدمه و معرفی خطوط انتقال در سیستم های مخابراتی

مقدمه:

۱-۱: تاریخچه و معرفی خطوط انتقال در سیستم های مخابراتی

هر سیستم مخابراتی به طور معمول متشکل از اجزای فرستنده، گیرنده و محیط انتقال یا کانال می باشد(شکل ۱-۱) سیستم فرستنده شامل مدارات و زیرسیستم های مربوطه ومنبع سیگنال می باشد که هدف از استفاده ی آن ، ارسال سیگنال منبع تا ورودی کانال می باشد. کانال انتقال ، محیط رابط بین فرستنده و گیرنده می باشد که از طریق آن ، سیگنال منتقل می شود. معمول ترین محیط انتقال شامل خطوط انتقال می باشد. بخش گیرنده نیز شامل زیرسیستم های مشخصی است که هدف آنها پردازش لازم بر روی سیگنال دریافتی به منظور بازسازی سیگنال منبع می باشد.

شکل ۱-۱-شمای ساده ای از یک سیستم مخابراتی

کاربرد اولیه ی سیستم انتقال به اواخر قرن نوزدهم میلادی برمی گردد که اولین سیستم های انتقال مخابراتی مورد بهره برداری واقع شدند. خط دو سیمه ، اولین محیط انتقال مورد استفاده در صنعت مخابرات بوده است که با توجه به توسعه شگرف فناوری، خط دو سیمه در سال های اخیر کاربرد چندانی ندارد ولی هنوز از آن به عنوان مبنای مقایسه سایر خطوط استفاده می گردد.

در نیمه ی اول قرن بیستم میلادی ، کابل هم محور، به عنوان یک محیط انتقال برای فرکانس بالاتر و برای ظرفیت انتقال بالاتر مورد استفاده قرار گرفت و امروزه هم به عنوان مناسب ترین خط انتقال مخابراتی استفاده ی فراوانی دارد. این خط در سیستم های تلویزیونی و مایکروویو مورد استفاده قرار می گیرد.

در زمان جنگ جهانی دوم ، با مطرح شدن رادار، استفاده از موجبرهای تک هادی به عنوان محیط انتقال با تلف کم و قابلیت انتقال توان بالا آغاز شد. این خطوط نقش اساسی را در سیستم های انتقال پرتوان بر عهده دارند. اما با پیدایش خطوط و فناوری های جدید ، روند استفاده از موجبرها کندتر شده است.

برای افزایش ظرفیت انتقال و دسترسی به پهنای باند وسیع، حرکت از فرکانس پایین به فرکانس بالاتر ضروری می باشد. به این ترتیب ، امواج میلی متری در سال های اخیر کاربرد زیادی در مخابرات پیدا کرده اند. خطوط انتقال موج میلی متری نیز تنوع زیادی دارند

مایکرواستریپ و استریپ لاین از جمله مهم ترین خطوط مخابراتی در باند مایکروویو و موج میلی متری می باشند. این خطوط عمدتاً دارای ساختارهای دوخطه یا سه خطه می باشند. خطوط مسطح ،امروزه فراتر از یک محیط انتقال ، به عنوان اجزای مدار مورد استفاده ی وسیعی دارند. طراحی مدارات تطبیق امپدانسی توسط این خطوط یکی از قابلیت های مهم خطوط مسطح است که در خطوطی نظیر کابل هم محور و موجبر مستطیلی طراحی مدارات تطبیق، پیچیدگی و هزینه ی زیادی دارد.

آنتن های نواری نیز به دلیل سبکی، شرایط مناسب نصب بر روی سطوح صاف و ارزان بودن روزبه روز توسعه بیشتری می یابند. فیلترها و کوپلرهای مایکرواستریپ نیز به دلیل عدم نیاز به عناصر فشرده ونرم با شکل های متنوع در کارهای تحقیقاتی و صنعتی وارد شده اند. یکی از نقاط عطف استفاده از ساختارهای مسطح؛ پیدایش و توسعه مدارات مجتمع مایکروویو است. خطوطی نظیر کابل هم محور و موجبر مستطیلی به دلیل حجم بزرگ و ساختار سه بعدی، با فناوری مدارات مجتمع سازگاری ندارند و این مسأله سبب شده است فناوری مدارات مجتمع مایکروویو یکپارچه[1] همگام با خطوط مسطح توسعه یابد.

از آنجا که ماکسول در مطالعات خود بر روی امواج الکترومغناطیسی، نشان داد که نور به خانواده ی امواج الکتومغناطیسی تعلق دارد این مسأله باعث شد که از اوخر قرن نوزدهم میلادی، فکر استفاده ار سیستم های نوری به عنوان بستر انتقال، ذهن دانشمندان را معطوف خود نماید. ظرفیت انتقال یک فیبر

[1] MMIC=Monolithic Microwave Integrated Circuits

نوری، هزاران برابر ظرفیت کابل هم- محور می باشد و این مسئله به همراه مسائل دیگر باعث شده است که سیستم های نوری نقش اساسی در مخابرات مدرن امروزی ایفا نمایند.

توجه به خطوط عایقی نیز در دو دهه اخیر بخشی از تحقیقات مخابراتی را به خود معطوف نموده است و انتظار می رود که خطوط عایقی نسبت به خطوط دارای هادی، با گسترش بیشتری مورد استفاده قرار گیرند.

خطوط کابلی و موجبری دارای ساختاری حجیم و سه بعدی می باشند. اما دسته ای از خطوط انتقال وجود دارند که به دلیل کوچک بودن ارتفاع آن ها ، به عنوان ساختارهایی دوبعدی و یا به عبارت بهتر نواری [۲] شناخته می شوند و معمولاً در داخل مدارات از آن ها استفاده می شود و نقش قطعات مختلف پسیو را ایفا می کنند. چهار نوع مهم از این خطوط نواری مایکرواستریپ(ریزنوار)، استریپ لاین(خط نواری)،اسلات لاین [۳] (خط شکاف دار) و موجبر هم صفحه [۴] می باشند. مایکرواستریپ که معمولا در مدارات مایکروویوی مورد استفاده قرار می گیرد از دو هادی تخت جدا شده توسط عایق تشکیل شده است. این خط دارای مزایایی مانند سبکی، وزن کم و دوبعدی بودن ساختار می باشد. با توجه به اهمیت مسائل اقتصادی در طرح های مهندسی، به کارگیری مدارات الکترونیکی ارزان ، یک اولویت مهم می باشد. یکی از روش هایی که سبب ارزان شدن یک سیستم مایکروویوی می شود طراحی یکپارچه ی قطعات و مدارات مایکروویوی می باشد. با توجه به اینکه خوط غیرمسطح به صورت ذاتی با فناوری مدارات مجتمع، سازگاری چندانی ندارند استفاده از خطوط و مدارات مسطح در سیستم های مایکروویو افزایش چشمگیری یافته است . خطوط مسطح بسته به شکل هندسی(تعداد هادی، ارتفاع عایق،...) و مشخصات فیزیکی(جنس هادی، جنس عایق،...) تنوع زیادی یافته اند.

[۲] Strip
[۳] Slot Line
[۴] Coplanar waveguide

۱-۲:تفاوت انتقال دهنده ی انرژی با خط انتقال

یکی از مسائل مهمی که در مبحث خط انتقال مطرح می شود این است که چه ضرورتی برای تحلیل خط انتقال انرژی الکتریکی وجود دارد. درواقع نوعاً تصور این است که ولتاژ و جریان در تمام نقاط یک خط ثابت است. این فرض حتی در خطوط ایده آل نیز صحیح نمی باشد. برای تفهیم امر، کابلی به طول ۳ متر را در نظر بگیرید که سیگنال سینوسی با دامنه ی یک ولت و با فرکانس ۲۵MHZ به ابتدای آن اعمال شده است. با توجه با اینکه سرعت سیر موج در خط، با اغماض از ثابت عایقی خط، برابر سرعت نور می باشد بنابراین ۱۰نانوثانیه طول می کشد تا موج به انتهای خط برسد. با توجه به اینکه دوره ی تناوب سیگنال ۴۰ نانوثانیه است زمان انتشار موج در کابل یک چهارم دوره ی تناوب خواهد بود. به این ترتیب وقتی سیگنال ورودی در حداکثر دامنه است دامنه ی سیگنال در انتهای کابل صفر است و این امر در ظاهر، نقض قانون KVLمی باشد. درواقع فرض مرسوم برابری سیگنال ها در تمام نقاط یک کابل ، به وضوح نقض شده است. اگر طول خط ۱۰ سانتی متر باشد در شرایط فوق تقریباً دامنه سیگنال در تمام نقاط یکسان خواهد بود. علت عدم برابری ولتاژها در تمام نقاط خط در کابل ۳ متری و برابری تقریبی آن ها در کابل ۱۰ سانتی متری این است که مدار در حالت اول گسترده و در حالت دوم فشرده بوده است. به این ترتیب تفاوت یک کابل ساده ی رابط بین دو نقطه با یک خط انتقال مخابراتی ، تفاوت در نسبت ابعاد به طول موج است. نوعاً ایده ی خط انتقال برای مدارات گسترده به کار می رود اگر چه برای حالت فشرده نیز معتبر می باشد. در یک بیان ساده، خطی که طول آن بسیار کمتر از طول موج باشد و یا به طور تقریبی خطی که طول آن کمتر از یک دهم طول موج باشد فشرده می باشد و در غیر این صورت گسترده می باشد. به طور خلاصه، مفاهیم بالا این امر را نشان می دهند که اگر فرکانس سیستم و یا طول خط، آنقدر زیاد باشد که وقتی موج به انتهای خط می رسد ورودی تغییر کرده باشد استفاده از معادلات و مفاهیم خط انتقال برای بررسی آن ضروری است.

۱-۳:پارامترهای اساسی خط انتقال

با توجه به اینکه خط انتقال، مداری گسترده می باشد و با عطف به یکنواختی خطوط انتقال مخابراتی ، برای تحلیل خط، مشخصات یک تکه ی کوچک از خط انتقال مورد بررسی قرار می گیرد. در این صورت مشکلی در استفاده از قوانین کیرشهف پیش نمی آید.

پارامترهای اولیه خط انتقال عبارتند از:

R: مقاومت الکتریکی سری در واحد خط است. واحد آن Ω/m بوده و دلیل وجود این پارامتر در خط انتقال، تلفات اهمی هادی خط انتقال می باشد. اگر هادی خط، ایده آل باشد مقدار این پارامتر، صفر خواهد بود. در مقایسه ی بین دو خط در صورتی که سایر پارامترهای آن ها یکسان باشد خطی که مقدار مقاومت الکتریکی سری واحد طول آن بیشتر است، تلفات بیشتری دارد. انتظار می رود که برای طول های کوچک ، مقدار مقاومت سری برای کابل های واقعی، بسیار کوچک باشد.

L: اندوکتانس سری در واحد طول خط است و واحد آن H/m می باشد و دلیل وجود این پارامتر در خط انتقال ، امکان ذخیره ی انرژی مغناطیسی در خط انتقال می باشد. به عبارت بهتر وقتی یک سیم دارای جریان الکتریکی است در اطراف آن ، میدان مغناطیسی به وجود می آید که مدل سازی مداری آن با یک سلف سری صورت می گیرد.

G:رسانایی الکتریکی موازی در واحد طول خط است که واحد آن در سیستم بین المللی واحدها Ω/m و یا S/m می باشد و دلیل وجود این پارامتر در خط انتقال ، تلفات اهمی عایق خط انتقال می باشد. اگر عایق خط، ایده آل باشد مقدار این پارامتر ، صفر خواهد بود. معمولاً در خطوط رایج مخابراتی سهم این پارامتر در تلفات کلی خط کمتر از سهم مقاومت سری خط می باشد چرا که دسترسی به عایق های تقریباً ایده آل ، ساده تر از پیاده سازی هادی های ایده آل می باشد.

C: ظرفیت الکتریکی(موازی) در واحد طول خط می باشد که واحد آن F/m است . دلیل وجود این پارامتر در مدل، امکان ذخیره ی انرژی الکتریکی در خط انتقال می باشد. درواقع همواره دو خط یا صفحه هادی که عایقی میان آن ها وجود دارد تداعی کننده ی یک خازن الکتریکی می باشد . این عنصر به نوعی دوگان سلف سری واحد طول خط می باشد.

چهار پارامتر R،L،C وG را پارامترها یا ثابت های اولیه ی[5] خط انتقال می نامند. دلیل این نامگذاری این است که این پارامترها براساس مفاهیم فیزیکی خط به دست می آیند و سایر کمیات از روی این مفاهیم اولیه تعریف می شوند. البته باید توجه کرد این پارامترها به معنای مطلق ، ثابت نمی باشند و معمولاً تابع فرکانس می باشند.

باید توجه داشت که اگر خط انتقال یکنواخت نباشد پارامترهای فوق تابع Z خواهند بود یعنی در نقاط مختلف خط، مقادیر مختلفی به خود می گیرند.

تبدیلات همدیس یک آنالیز ریاضی مفید برای حل مسائل مرزی گوناگون در مهندسی است.

می توان گفت زیباترین ویژگی این تبدیلات سادگی و توانایی آن ها در به دست اوردن فرمول هایی برای شکل هایی است که دارای ابعاد محدود هستند.

درواقع تبدیلات همدیس راه حل هایی برای مسائل الکترومغناطیس به دست می آورد. به ویژه این شیوه ی آنالیز ، در تحلیل خطوط انتقال مخابراتی از جمله RF و مدارات مجتمع کاربرد دارد. در این پروژه اساس و پایه ی این روش شرح داده شده و محاسبه ی ثابت های اولیه ی خط مایکرواستریپ با تأکید بر تبدیل همدیس انجام می گیرد. با استفاده از این تبدیل می توان برای بسیاری از خطوط دیگر محاسبات مربوطه را انجام داد.

ضمناً محاسبه ی کمیات ثانویه ی خط نیز به صورت سرراست از روی کمیات اولیه به دست می آید.

در عمل برای به دست اوردن تبدیل مناسب از روش های مختلفی استفاده می شود که مهم ترین آن روش شوارتر- کریستوفل[6] است که در فصل های بعد در مورد آن بحث خواهد شد.

---

[5] **primary parameters or constants**

[6] **schwart-chritoffel**

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

نتیجه گیری وپیشنهادات :

- با توجه به مباحث مطرح شده در فصول گذشته آشنایی نسبی با تبدیلات همدیس و کاربرد آنها در خطوط انتقال مخابراتی پیدا کردیم در واقع این تبدیلات با ساده سازی شکل مسئله و تبدیل مسئله به یک مسئله با تقارن خاص این امکان را به ما می دهد که بااستفاده از روابط حاکم بر یک سری از نگاشتهای خاص پارامتر های یک خط را به راحتی محاسبه کنیم و از ورود به روابط پیچیده جلوگیری می نماید .
- البته در محاسبات پارامترها با استفاده از این روش به یک سری از انتگرالها و معادلاتی بر می خوریم که برای محاسبه ی این معادلات با ید از روشهای عددی خاص استفاده کنیم در نتیجه اختلاف ناچیز با روابط دقیق مربوط به این پارامترها اجتناب ناپذیر است با استفاده از نرم افزار مطلب برنامه ای نوشته شده است که نمودارها وجداول مربوط به این پارامترها به ازای w/d مختلف برای روابط به دست آمده از این روش محاسبه شده است که در فصل چهارم ین نمودارها وجداول ارائه شده اند و مقایسه بین این مقادیر ونمودارها با مقادیر به دست آمده از روابط دقیق مربوطه این اختلاف ناچیز را نمایان می سازد.
- خطوط انتقال مخابراتی در شکل های هندسی متفاوتی موجود می باشد و همانطور که مشاهده کردیم استفاده از موارد کاربردی در ریاضیات تا چه اندازه مسائل را در تحلیل و طراحی خطوط انتقال و سیستم های مخابراتی راحت تر می کند بنابراین می توان خطوط مخابراتی دیگری را که دارای تقارن ویژه هستند با استفاده از تبدیلات همدیس تحلیل کرد البته در تحلیل هر خط انتقال باید از نگاشت ویژه ای بسته به نوع تقارن خط استفاده نمود و در تحقیقات و پروژه های آینده می توان خطوط دیگر مخابراتی را با استفاده از این روش تحلیل نموده وکاربرد آن را بیش از پیش نمایان ساخت .

منابع ومراجع

۱- عبدالعلی عبدی پور ،غلامرضا مرادی"خطوط انتقال مخابراتی"نشر نهر دانش،دانشگاه صنعتی امیر کبیر ۱۳۸۵.

۲- روئل و.چرچیل،جیمزو.براون،راجرف.ورهی،(ترجمه ی امیر خسروی)"متغیر های مختلط وکاربرد ان" چاپ سوم،مرکز نشر دانشگاهی،۱۳۶۹.

3-John Wiley "analysis methods RF,microwave and millimeter-wave for planner transmission line structures" New York 1985.

4- David m. pozar"microwave engineering "third edition 2005.