دانشگاه تهران

دانشکده فنی

گروه مهندسی برق و کامپیوتر

۱۳۷۸/۷/۱۲

عنوان پایان نامه:

تحلیل آرایه های موجبری شکافدار مسطح

به منظور طراحی با سطح گلبرگ فرعی بسیار پایین

Analysis of Planar Slotted-Waveguide Arrays for Very Low Sidelobe Level (VLSL) Design

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر جلیل راشد محصل

دانشجو:

علی باستانی

تابستان ۱۳۷۸

۲۶۷۴۷

موضوع:

تحلیل آرایه‌های موجبری شکاف‌دار مسطح به منظور طراحی با سطح گلبرگ فرعی بسیار پایین

توسط: علی باستانی

پایان‌نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد

رشته مهندسی برق - مخابرات

از این پایان‌نامه در تاریخ ۷۸/۶/۳۰ در مقابل هیأت داوران دفاع به عمل آمد و مورد تصویب قرار گرفت.

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده فنی: دکتر محمدعلی بنی‌هاشمی

مدیر گروه آموزشی: دکتر محمود کمره‌ای

سرپرست تحصیلات تکمیلی گروه: دکتر محمود کمره‌ای

استاد راهنما: دکتر جلیل راشدمحصل

عضو هیأت داوران: دکتر محمود کمره‌ای

عضو هیأت داوران: دکتر فرخ آرزم

۲۶۷۴۷

سپاس و امتنان

اینک، که به یاری خدای مهربان و بزرگ و توانا، تدوین این رساله پایان یافته است؛ گفتگو از چگونگی انجام کار و مراحل و کیفیات آن و تب و تاب و نا آرامی برای پیدا کردن مطالب از مأخذها، پروراندن هر مطلب، نظم و سامان دادن به آن، در آوردن همه موضوعات و مسائل در یک رشته به هم پیوسته منطقی و رساندن سراسر اینها به نتیجه ای معقول و مقبول که مستلزم کار توانفرسای شبانروزی بود، به فرصت و هنگام دیگری موکول می گردد؛ اما از گفتن یک نکته گزیری نیست :

به عنوان یک اصل، هر انسانی که گام در راه فراگیری دانش می گذارد، پیش از هر کاری، سرنوشت او از این رهگذر تعیین می شود که چه کسی آموزش و راهنمایی او را بعهده گیرد و در این مرحله، او با چه کسانی و با چه ویژگی های علمی و اخلاقی روزگار بگذراند.

سخن دل است اینکه می گویم: استادان و مقامات گروه نه بر پایه رفتار من، که بر بنیاد منش والای علمی و اخلاق اسلامی خود برخورد کردند، که اگر چنین "همرهان سخت عناصر" و بزرگوار در کار نمی بودند، این راه با کامیابی پیموده نمی گردید.

ولی در کار تحقیق و نگارش این رساله، به خصوص، جناب استاد دکترجلیل راشد- محصل حقی گران به گردن من دارند. ایشان که در نظر من اسوه شکوهمند سعه صدر، نادیده گرفتن کاستی های علمی و اخلاقی، ادب آموزی پدرانه مهر آمیز هستند؛ با قبول راهنمایی این بنده در سراسر مراحل کار، مرا همراهی نمودند. ایشان از ابتدا، پیوسته دست نوشته های مرا قبول می کردند و از نظر می گذرانیدند، که نظر صائب شان را در همه موارد به کار بستم.

***

یاد باد آنکه مرا یاد آموخت — یاد باد آنچه مرا گفت استاد

هرچه می دانست آموخت مرا — غیر یک اصل که ناگفته نهاد:

قدر استاد نکو دانستن — حیف استاد به ما یاد نداد

چکیده

یک شکاف باریک در دیواره پهن موجبر مستطیلی به کمک روش ممان تحلیل شده است. در این روش اثر القای مجدد روی دیواره ها و ضخامت دیواره موجبر لحاظ شده است. در واقع روش ممان برای حل یک جفت معادله انتگرالی- حاصل از شرایط مرزی و بکمک توابع گرین- بکار رفته است. در نتیجه حل این دو معادله، مولفه مماسی میدان الکتریکی روی سطوح بالایی و پایینی شکاف بدست آمده است. این میدان ها با یک سری تابع سینوسی بسط شده است و و نشان داده شده است که تنها چند جمله برای همگرایی پاسخ ها کافی است. در نتیجه ابعاد ماتریس حاصل کاهش یافته است. سپس نتایج تحلیل پارامتر های مختلف شکاف با نتایج اندازه گیری ها مقایسه شده است.

این روش عددی برای تحلیل تابش از آرایه موجبری شکافدار مسطح توسعه داده شده است. این مساله ابتدا به صورت معادلات انتگرالی و بکمک اصل تعادل تدوین شده است. سپس این معادلات به روش ممان حل شده است. برای این منظور از توابع پایه سینوسی فراگیر و روش گِلرکین استفاده شده است. روش ممان به محاسبه ماتریس های ادمیتانس نیاز دارد که در آنها توابع دایادی گرین مختلفی بکار رفته است. تکینی یکی از انتگرال های ماتریس ادمیتانس نیم فضا به روشی مناسب رفع شده است. نهایتاً نتایج تحلیل مشخصات آرایه های خطی و مسطح با نتایج اندازه گیری ها مقایسه شده است.

کلید واژه ها: آرایه های موجبری شکافدار مسطح، روش ممان، تابش الکترومغناطیسی

فهرست

پیشگفتار ۱

فصل اول : معرفی موجبر تک شکاف ۵

۱-۱. مقدمه ۶

۱-۲. تک شکاف روی موجبر مستطیلی ۷

۱-۳. روش های تحلیل تک شکاف ۱۰

فصل دوم : معرفی آرایه موجبری شکافدار ۱۵

۲-۱. مقدمه ۱۶

۲-۲. آرایه های تشدیدی ۱۷

۲-۳. آرایه های غیر تشدیدی ۱۹

۲-۴. روش های تحلیل آرایه موجبری شکافدار ۱۹

۲-۵. روش های طراحی آرایه موجبری شکافدار ۲۰

فصل سوم : تحلیل موجبر تک شکاف ۲۲

۳-۱. مقدمه ۲۳

۳-۲. فرمولبندی روش ممان ۲۵

۳-۳. اثر نیم فضا ۳۲

۳-۴. اثر حفره ۴۳

۳-۵. اثر موجبر ۴۵

۳-۶. اثر موج تابشی ۴۹

۳-۷. محاسبه ضرایب انعکاس و انتقال ۵۰

فصل چهارم : موجبر تک شکاف، نتایج عددی ۵۱

۴-۱. مقدمه ۵۲

۴-۲. نتایج عددی برای شکاف مستطیلی ۵۳

۴-۳. نتایج عددی برای شکاف با گوشه های گرد ۶۰

۴-۴. نتیجه گیری ۶۴

فصل پنجم : تحلیل آرایه موجبری شکافدار ۶۸

۵-۱. مقدمه ۶۹

۵-۲. معادلات انتگرالی و روش ممان ۷۲

۵-۳. درایه های ماتریس ادمیتانس برای ناحیه موجبر ۷۷

۵-۴. درایه های ماتریس ادمیتانس برای ناحیه نیم فضا ۸۱

۵-۵. درایه های ماتریس ادمیتانس برای ناحیه حفره ۸۲

۵-۶. درایه های بردار تحریک ۸۳

فصل ششم : آرایه موجبری شکافدار، نتایج تحلیل ۸۴

۶-۱. مقدمه ۸۵

۶-۲. آرایه های یک بعدی (خطی) ۸۶

۶-۳. آرایه های دو بعدی (مسطح) ۹۴

۶-۴. نتیجه گیری ۹۷

فصل هفتم : نتیجه گیری و پیشنهادها ۹۸

۷-۱. نتیجه گیری ۹۹

۷-۲. پیشنهادها ۱۰۰

مراجع ۱۰۱

پ

پیشگفتار

پیشگفتار

سادگی ساختار هندسی، بازدهی زیاد، وزن سبک، قابلیت اطمینان بالا و قابلیت کار در توانهای بالا موجب شده اند که آنتن های آرایه ای شکافدار کاربرد وسیعی در مخابرات و سیستم های رادار پیدا کنند. آنتن های آرایه ای شکافدار چه از نوع تشدیدی و چه از نوع موج متحرک باشند؛ امکان تنظیم دقیق دامنه و فاز تحریک شکافها را فراهم می نمایند. به موازات کاربرد های رو به توسعه آرایه های شکافدار،که سطح گلبرگ فرعی کمتر و بازدهی زیادتری را طلب می کنند، نیاز به تعیین هرچه دقیق تر مشخصات شکاف، بهبود مدلهای آرایه، و دقت افزونتر در ساخت بیشتر شده است. با روشهای طراحی و ساخت امروزی می توان از یک آنتن آرایه ای شکافدار از نوع تشدیدی، سطح گلبرگ فرعی کمتر از 28 dB- روی چهار درصد پهنای باند فرکانسی را انتظار داشت. آنتن های آرایه ای شکافدار از نوع موج متحرک معمولا سطح گلبرگ فرعی کمتری نسبت به نوع تشدیدی دارند. در عوض بازدهی آنها کمتر است و بعلاوه پرتو آنها با تغییر فرکانس حرکت می کند [3] .

مشکل اساسی در طراحی آنتن های آرایه ای شکافدار ناکامل بودن روشهای تحلیل آنهاست. در واقع روشهای تحلیل موجود همگی از نوع نیمه تجربی هستند. از آنجا که دقت ابزارهای اندازه گیری همواره محدود است و در این روشها نتایج حاصل از اندازه گیری مبنای محاسبات عددی تحلیل قرار می گیرد؛ لذا دقت تحلیل بستگی به دقت ابزارهای اندازه گیری دارد. از سوی دیگر، در این روشها برای ساده شدن مساله بعضی از متغیرها ثابت فرض می شوند. در نتیجه به هنگام طراحی، تعداد متغیرها کاهش می یابد و به همین خاطر در طراحی بر مبنای چنین تحلیلی آزادی عمل کمتری خواهیم داشت.

خطای ذاتی روش نیمه تجربی و محدودیت تعداد متغیرها، در طراحی هایی با هدف سطح گلبرگ فرعی خیلی پایین اهمیت زیادی می یابد. زیرا در اینگونه طراحی ها دو نکته حائز اهمیت است:

- خطای روش تحلیل حداقل باشد.
- روش تحلیل به گونه ای باشد که در طراحی حداکثر آزادی عمل را داشته باشیم.

این نکات و به خصوص نکته دوم هنگامی اهمیت بیشتری می یابد که بخواهیم عواملی مثل نوع دی الکتریک برای پوشش سطح آرایه، نوع ماده داخل موجبرها، آلیاژ موجبرها، تولرانس ساخت، و... را نیز در طراحی داخل کنیم.

در این پایان نامه روشی را برای تحلیل آنتن های آرایه ای شکافدار ارائه خواهیم کرد که در آن هر دو نکته فوق لحاظ گردد. همان طور که گفته شد؛ بیشترین کاربرد چنین روشی، در طراحی آنتن های آرایه ای شکافدار با سطح گلبرگ فرعی بسیار پایین خواهد بود.

در فصل اول، موجبر تک شکاف را معرفی خواهیم کرد وسپس روشهای تحلیل آن را مرور خواهیم کرد.

در فصل دوم، آرایه های موجبری شکافدار را معرفی خواهیم نمود و روشهای تحلیل و طراحی آنها را بررسی خواهیم کرد. این فصل از لحاظ مقایسه با روش تحلیل ارائه شده در این پایان نامه اهمیت دارد.

در فصل سوم، روش مورد نظر خود را برای تک شکاف ارائه خواهیم داد.

پس از آن در فصل چهارم، با ذکر نمونه های عملی متعددی صحت روش ارائه شده در فصل قبل را ارزیابی خواهیم کرد.

آنگاه در فصل پنجم، روش ارائه شده در فصل سوم را برای آرایه ای از شکافها بسط خواهیم داد. در این فصل یکی از محاسن عمده روش این پایان نامه، یعنی "تعمیم پذیری" آشکار خواهد شد.

درستی تحلیل فصل پنجم را با ارائه چند نمونه عملی در فصل ششم نشان خواهیم داد.

نهایتاً، در فصل هفتم نتایج بحث های فصل های قبل را جمع بندی نموده برای روش طراحی پیشنهاد هایی را ارائه خواهیم کرد.

۱

معرفی

موجبرتک شکاف

۱-۱. مقدمه

برای اینکه شکافی به صورت یک عنصر فعال -که به فضای اطراف تابش داشته باشد- عمل کند؛ باید به روشی آنرا تحریک کرد. آنتنهای شکافدار بسته به نوع تحریک به چند دسته تقسیم می شوند. اگر شکاف روی صفحه هادی بزرگی ایجاد شده باشد، می توان آنرا بوسیله خط انتقال یا موجبر تحریک نمود. نوع خاصی از آنتنهای شکافدار با ایجاد شکاف روی بدنه موجبرهای دایره ای یا مستطیلی ساخته شده و بوسیله جریان سطحی موجبر تحریک می شود. البته کاربرد موجبر مستطیلی شکافدار بیش از کاربرد موجبر دایره ای شکافدار است. لذا در این فصل انواع شیارهایی که می توان روی بدنه موجبر مستطیلی ایجاد کرد، معرفی می شوند و برای سه نوع پر استفاده آنها روابطی ارائه می گردد.

۱-۲. تک شکاف روی موجبر مستطیلی

در دستگاه مختصات شکل ۱-۱ مولفه های نرمالیزه شده میدان منتشر شونده در جهت مثبت محور Z برای مُد TE_{10} به صورت زیر است [1] :

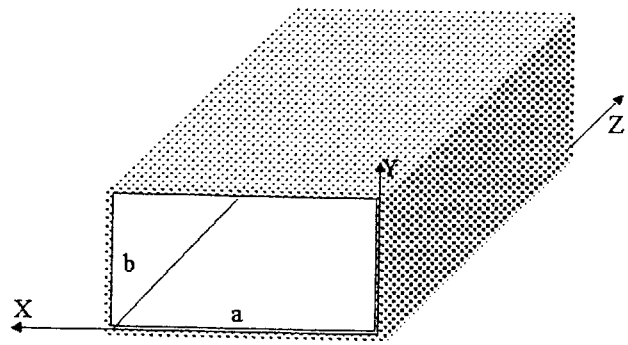
$$H_z(x,z) = j\cos\left(\frac{\pi x}{a}\right)e^{j(\omega t-\beta_{10}z)}$$

$$H_x(x,z) = \frac{-\beta_{10}}{\pi/a}\sin\left(\frac{\pi x}{a}\right)e^{j(\omega t-\beta_{10}z)} \qquad (۱-۱)$$

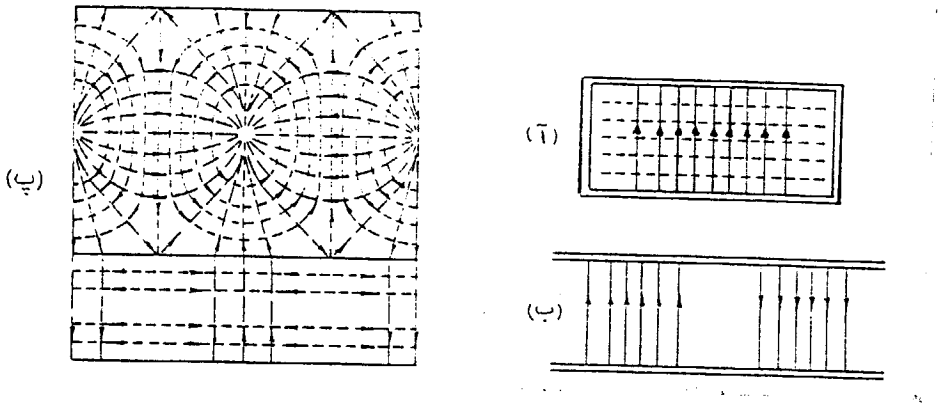
$$E_x(x,z) = \frac{\omega\mu}{\pi/a}\sin\left(\frac{\pi x}{a}\right)e^{j(\omega t-\beta_{10}z)}$$

در شکلهای ۱-۲-آ، ۱-۲-ب و ۱-۲-پ توزیع میدان های الکتریکی و مغناطیسی و جریان سطحی در داخل و روی سطح موجبر نشان داده شده است.

اگر یک شکاف باریک روی یکی از دیواره های موجبر طوری ایجاد شود که شکاف در امتداد خطوط جریان سطحی باشد، ایجاد آشفتگی جزئی در توزیع جریان نموده و در نتیجه تزویج ناچیزی با فضای خارج ایجاد می شود (شکل ۱-۳). مثلاًایجاد شکافی روی خط مرکزی موجبر باعث آشفتگی در توزیع جریان نخواهد شد (شکل ۱-۴).

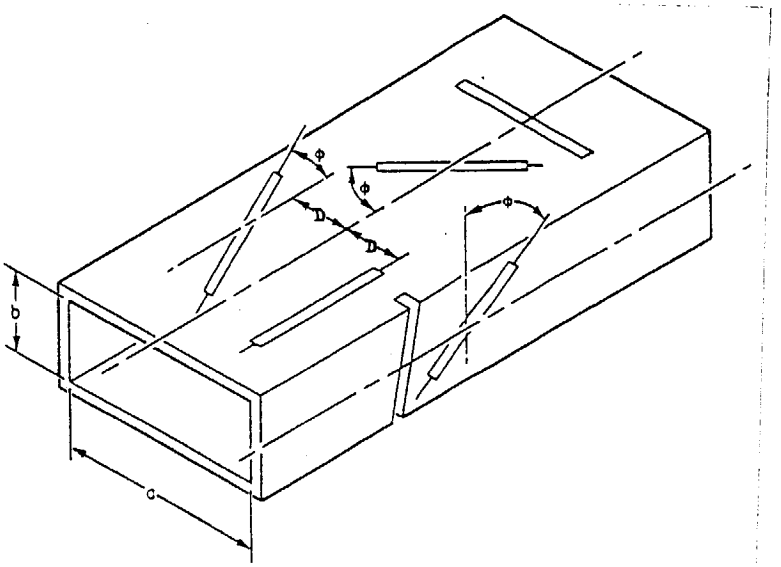


شکل ۱-۱. نمای موجبر مستطیلی و محورهای مختصات مورد استفاده.



شکل ۱-۲. توزیع جریان سطحی در موجبر مستطیلی برای مد TE10 [3] .
(آ) سطح مقطع طولی. (ب) سطح مقطع عرضی. (پ) سطح جانبی.
(میدان الکتریکی : ---- ، میدان مغناطیسی : - - - ، جریان سطحی : -- --)

چنین شکافی می تواند برای اندازه گیری میدان الکتریکی داخل موجبر با استفاده از یک پروب مفید باشد. از دیگر انواع شکافهایی که قادر به تابش هستند می توان به شکافهای C-شکل و I-شکل اشاره کرد (شکل ۱-۵).



شکل ۱-۳. شکافهایی که قادر به تابش هستند.