



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش مخابرات

عنوان: بررسی و تحلیل آنتن های مسطح معکوس (PIFA) F
چند بانده و کاربرد آن در گوشی های موبایل

استاد راهنما: دکتر حبیب ... زلفخانی

نگارش: احسان وثوق نیا

مهر ۱۳۸۷

فهرست مطالب

صفحه	مطالب
۱	پیش گفتار
۲	فصل اول - مفاهیم اولیه ی آنتن ها و مخابرات.....
۳	۱-۱- مقدمه.....
۴	۱-۲- اصول الکترومغناطیس و معادلات ماکسول.....
۵	۱-۳- پرتو تشعشی.....
۷	۱-۴- سمت گرایی.....
۹	۱-۵- بهره.....
۱۰	۱-۶- بیان هم پاسخی و اندازه گیری پرتو تشعشی.....
۱۱	۱-۷- امپدانس آنتن و کارایی تشعشی آن.....
۱۳	۱-۸- پلاریزاسیون آنتن.....
۱۵	۱-۹- مقدمه ای بر مخابرات سیار.....
۱۵	۱-۹-۱- اصول مشترک سیستم های رادیویی سیار.....
۱۶	۱-۹-۲- استفاده از شبکه های سلولی در مخابرات سیار.....
۱۷	۱-۹-۳- نسل های مخابرات سیار.....

۱۹	فصل دوم - چالش های طرح آنتن در گوشی های مدرن.....
۲۰	۲-۱- مقدمه.....
۲۱	۲-۲- مواردی که باید در طرح آنتن برای گوشی ها در نظر گرفت.....
۲۳	۲-۳- بررسی تست های اعمال بر روی آنتن گوشی.....
۲۶	۲-۳-۱- سنجش پسیو.....
۲۷	۲-۳-۲- سنجش اکتیو.....
۲۷	تست CTIA.....
۲۹	۲-۴- تست های دیگر آنتن.....
۳۰	۲-۵- سرعت جذب ویژه (SAR)
۳۳	فصل سوم - آنتن مسطح معکوس F.....
۳۴	۳-۱- آنتن معکوس F.....
۳۷	۳-۲- معرفی آنتن مسطح معکوس F.....
۴۰	۳-۳- بررسی آثار ناشی از تغییرات در لایه ی هوایی PIFA.....
۴۱	۳-۴- روش های کوچک سازی آنتن و کاربرد های آن در PIFA.....
۴۴	۳-۵- تأثیرات ابعاد PIFA بر فرکانس تشدید.....
۴۵	۳-۶- تکنیک هایی برای افزایش پهنای باند PIFA.....

۳-۷- بررسی پترن تشعشعی PIFA و اثر تغییرات ابعاد آنتن بر پترن تشعشعی..... ۴۹

۳-۷-۱- نرم افزار Ansoft HFSS..... ۴۹

۳-۷-۲- روش عنصر محدود..... ۵۰

۳-۷-۳- پترن تشعشعی..... ۵۲

۳-۷-۴- تأثیر محل تغذیه..... ۵۴

۳-۷-۵- تأثیر افزایش عرض صفحه ی فوقانی..... ۵۴

۳-۷-۶- اثر افزایش عرض انصال کوتاه..... ۵۵

۳-۷-۷- اثر فاصله از زمین..... ۵۶

۳-۸- امیدانس تطبیق در PIFA..... ۵۷

۳-۹- توزیع جریان در PIFA..... ۵۹

۳-۱۰- توزیع میدان الکتریکی در PIFA..... ۶۰

فصل چهارم - شبیه سازی PIFA پیشنهادی..... ۶۲

۴-۱- مقدمه..... ۶۳

۴-۲- معرفی PIFA پیشنهادی..... ۶۳

۴-۳- مراحل شبیه سازی آنتن پیشنهادی..... ۶۴

۴-۳-۱- کشیدن سازه ی PIFA مورد نظر در محیط HFSS..... ۶۵

۴-۳-۲- مشخص سازی Boundary تشعشعی..... ۶۵

۶۶ ۴-۳-۳- مشخص سازی نوع تحلیل و تحریک

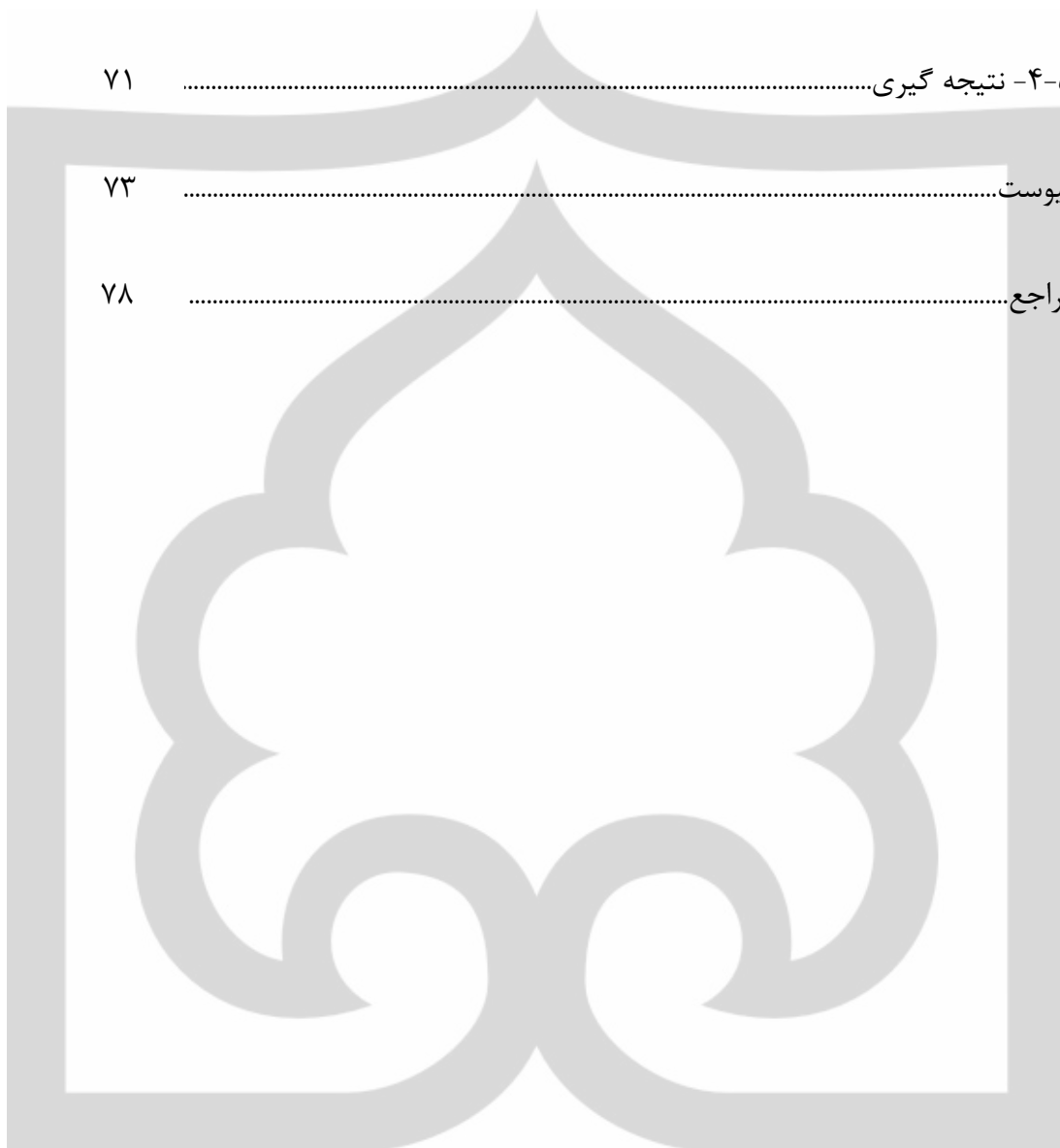
۶۶ ۴-۳-۴- مشخص سازی فرکانس تحلیل

۶۶ ۴-۴- نتایج حاصل از شبیه سازی

۷۱ ۴-۵- نتیجه گیری

۷۳ پیوست

۷۸ مراجع



پیش گفتار

منت خدای را عزوجل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت. هر نفسی که فرو می رود ممد حیات است و چون برمی آید مفرح ذات. پس در هر نفسی، دو نعمت موجود است و بر هر نعمت شکری واجب.

خداوند منان را سپاسگزارم که این توفیق را بر من ارزانی داشت تا بتوانم راهی که در پیش گرفتیم را به سرانجام برسانم. بی شک این پایان نامه دارای نقص هایی می باشد که تذکر این کاستی ها از سوی اهل نظر می تواند به مانند چراغی باشد که مرا به سر منزل مقصود خواهد رساند. در این رساله سعی شده است که آنتن مسطح معکوس F با زبانی ساده و رسا معرفی شود و از آنجا که این آنتن در مراجع فارسی، کمتر مورد توجه قرار گرفته شده است، سعی کرده ام که رعایت امانت در برگردان مفاهیم این آنتن از لاتین به فارسی را حفظ نمایم.

در کل، این رساله از چهار فصل تشکیل شده است. در فصل اول به بیان و یادآوری مفاهیم اولیه آنتن پرداخته شده است. در فصل دوم به بررسی خواص و چالش های پیش روی آنتن های استفاده شده در گوشی - های همراه امروزی و همچنین تست های مختلف برای آزمایش این نوع آنتن ها پرداخته شده است. با توجه به این پیش زمینه ی ذهنی، در فصل سوم به معرفی آنتن مورد بحث در این رساله، یعنی آنتن مسطح معکوس F پرداختیم. در این فصل پارامتر های مهم این نوع آنتن را مورد بررسی و تحلیل قرار دادیم و سرانجام در فصل چهارم به شبیه سازی یک آنتن مسطح معکوس F دو بانده ی پیشنهادی، پرداختیم که با توجه به مطالب مذکور در فصول قبل و همچنین با عنایت به محدودیت های شبیه سازی که در فصل چهارم ذکر شده است، دارای پاسخ قابل قبولی می باشد. امید است، این رساله هر چند به صورت ابتدایی و ناقص بتواند منبعی برای شناسایی بیشتر و کامل تر آنتن مسطح معکوس F برای سایر دانش پژوهان باشد.

در پایان لازم است که از زحمات پدر و مادرم و همچنین از تلاش های بی وقفه ی جناب آقای دکتر زلفخانی که به مانند پدری دلسوز یاری گر بنده و سایر دانشجویان در طول دوره بودند، کمال تشکر را داشته باشم.

فصل اول

مغایم اولیه آنتن ما و مخبرات سبار

۱-۱ مقدمه

از زمان های قدیم، بشر برای بیان افکار و احتیاجاتش به دیگران روش های مختلفی را ابداع نموده است. در دوران اولیه، که بشر در قبایل کوچک در مناطق پراکنده ی جغرافیایی زندگی می کرد، ارتباطات در میان قبیله از طریق صحبت، ایما و اشاره و سمبل های تصویری برقرار می شد. با گسترش قبایل و پیشرفت تمدنهای در مناطق بزرگ جغرافیایی، ضرورت ارتباط راه دور، روز افزون می گردید. تلاش های اولیه در مورد ارتباط راه دور شامل پیشرفت سیگنال های دودی، اشعه ی نورانی، کبوتر های نامه بر و مبادله ی نامه به طرق مختلف می شد. تنها در تاریخ اخیر بشر است که طیف الکترومغناطیسی خارج از ناحیه ی مرئی برای ارتباطات راه دور از طریق امواج رادیویی به کار برده شده است.

آنتن رادیویی یک قطعه ی اساسی در هر سیستم رادیویی می باشد. یک آنتن رادیویی، ابزاری است که امکان تشعشع یا دریافت امواج رادیویی را فراهم می سازد. به عبارت دیگر، یک آنتن یک موج هدایت شده روی یک خط انتقال را به یک موج فضای آزاد در حالت ارسال و بر عکس در حالت دریافت تبدیل می کند. بنابراین، اطلاعات می تواند بدون هیچ گونه ساختار و وسیله ی واسطه ای بین نقاط و محل های مختلف انتقال یابد. فرکانس های امواج الکترومغناطیسی حامل این اطلاعات طیف الکترومغناطیسی را تشکیل می دهد. باند فرکانس های رادیویی در پیوست ارائه شده اند. یکی از بزرگترین منابع انسان طیف الکترومغناطیسی است و آنتن ها در استفاده از این منبع طبیعی نقش اساسی را ایفا می کنند.

مبنای نظری آنتن ها بر معادلات ماکسول، استوار است. "جیمز کلارک ماکسول"^۱ در سال ۱۸۶۴ در

حضور انجمن سلطنتی انگلستان نظریه ی خود را ارائه داد مبنی بر اینکه نور و امواج الکترومغناطیسی پدیده های فیزیکی یکسانی هستند. بعدها فیزیک دان آلمانی "هاینریش هرتز"^۲ صدق ادعای ماکسول را اثبات کرد.

برای اطلاعات بیشتر در مورد معادلات ماکسول می توانید به بخش (۱-۲) مراجعه فرمایید.

1- James Clark Maxwell

2- Heinrich Hertz

حال، نظر خود را به کاربرد های آنتن ها معطوف می کنیم. انتقال انرژی الکترومغناطیسی می تواند توسط نوعی از ساختار های هدایت کننده امواج (مانند یک خط انتقال) صورت گیرد و یا می تواند از طریق آنتن های فرستنده و گیرنده بدون هیچ گونه ساختار هدایت کننده ی واسطه انجام گیرد. به طور کلی، خطوط انتقال در فرکانس های پایین و فواصل کوتاه عملی هستند. با افزایش فواصل و فرکانس ها تلفات سیگنال و هزینه های کاربرد خطوط انتقال بیشتر می شود و در نتیجه از استفاده از آنتن ها ارجحیت می یابد.

در ادامه به مرور مفاهیم اولیه آنتن خواهیم پرداخت. همچنین در پایان این فصل مروری خواهیم داشت بر مبانی مخابرات سیار و با مفاهیم اولیه ی آن به صورت مختصر، آشنا خواهیم شد.

۱-۲ اصول الکترومغناطیس و معادلات ماکسول

آنتن وسیله ای است که به عنوان گیرنده یا فرستنده امواج مورد استفاده قرار می گیرد. طرز عمل یک آنتن، به عنوان گیرنده، عکس عمل فرستندگی آن می باشد. بنابراین، یک آنتن خوب را می توان برای فرستادن یا دریافت امواج به کار برد، در حالی که یک آنتن ضعیف در هر دو جنبه بهره ی کمی خواهد داشت. گرچه ما آنتن ها را از نقطه نظر گیرندگی مورد مطالعه قرار می دهیم، ولی بهتر است در ابتدا به صورت یک فرستنده، آن را تجزیه و تحلیل نماییم.

یک موج رادیویی توسط نوسان قوی یک تقویت کننده قدرت فرستنده ایجاد می شود. نوسان مذکور، به وسیله ی آنتن به "اتر" تزویج می گردد. لازم به توضیح است که "اتر" کلمه ی مصطلحی است که کسی به طور دقیق، آن را نمی شناسد اما بعضی اوقات، به عنوان ماده ای که باعث انتشار امواج رادیویی می شود، در نظر می گیرند. طبیعت این ماده بر ما پوشیده است، اما این امر مسلم است که "اتر" دارای خاصیت هدایت در مقابل همه نوع انرژی الکترومغناطیسی می باشد.

امواج رادیویی دارای شدت فرکانس و جریان های فرستنده ی مختلفی می باشند که می توان آن را به صورت منحنی های موج سینوسی نشان داد، گرچه امواج سینوسی مزبور قابل رویت نیستند. لازم به توضیح است که امواج مزبور با سرعتی برابر با سرعت نور (3×10^8 متر بر ثانیه) در فضا منتشر می شوند. به بیان

دیگر امواج رادیویی، مجموعه ای از بردار های الکتریکی و مغناطیسی هستند که با یکدیگر زاویه ی نود درجه در فضا ایجاد می کنند. همچنین بردار های فوق عمود بر جهت انتشار هستند و نصف انرژی امواج، شامل انرژی الکتریکی و نصف دیگر آن انرژی مغناطیسی است.

معادلات اصلی الکترو مغناطیسی عبارتند از :

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \text{رابطه (۱-۱)}$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J} \quad \text{رابطه (۱-۲)}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho(t) \quad \text{رابطه (۱-۳)}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = 0 \quad \text{رابطه (۱-۴)}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{J}_T = \frac{-\partial \rho}{\partial t} \quad \text{رابطه (۱-۵)}$$

چهار معادله اول از این معادلات دیفرانسیل معروف به معادلات ماکسول هستند و آخرین معادله موسوم به معادله ی پیوستگی است. این معادلات پایه و اساس تشعشع انواع سازه های الکترومغناطیس از جمله آنتن، می باشند.

مسئله آنتن عمدتاً شامل تعیین میدان های الکترومغناطیسی ناشی از یک توزیع جریان اعمالی \mathbf{J} میباشد. نحوه ی تعیین این میدان ها از سوی معادلات ماکسول و پیوستگی، خود نیاز به بحثی مفصل دارد که در این مقال نمی گنجد.

۱-۳ پرتو تشعشی (Radiation Pattern)

قبل از آن که به بیان مفهوم پرتو تشعشی یک آنتن و پارامتر های آن بپردازیم لازم است مفهوم میدان

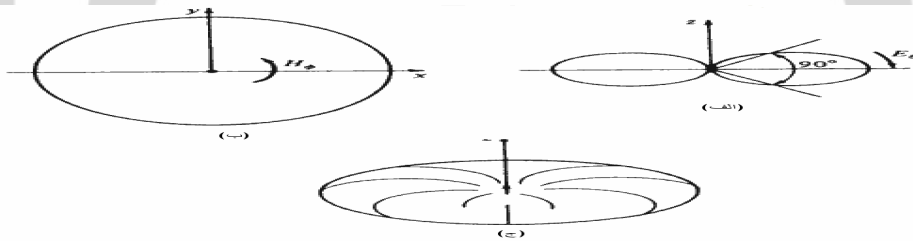
دور (Far Field) را در آنتن ها توضیح دهیم. ناحیه ای که در آن اندازه ی میدان های تشعشی نسبت به اندازه ی کلیه میدان های دیگر ناشی از آنتن بسیار بزرگ تر و ارزنده تر است، موسوم به ناحیه ی میدان دور می باشد. ناحیه میدان دور در فضا، در ناحیه ای قرار دارد که $r \gg r_{ff}$ باشد. r_{ff} در حالتی که طول منبع خطی D باشد.

از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$r_{ff} = \frac{2D^2}{\lambda} \quad \text{رابطه (۱-۶)}$$

لازم به ذکر است که رابطه ی (۱-۶) به راحتی قابل اثبات است.

یک پرتو تشعشی، یک نمودار خواص تشعشی میدان دور یک آنتن است. با حرکت یک آنتن کاونده^۱ در یک فاصله ثابت حول آنتن آزمون می توان پرتو تشعشی را به صورت یک تابع مختصات زاویه ای اندازه گیری کرد. آنتن کاونده معمولاً در یک جهت نگه داشته می شود. به عنوان مثال، یک دو قطبی ایده آل در راستای محور Z را در نظر بگیرید. میدان الکتریکی دور صرفاً در جهت θ است. بنابراین یک دو قطبی ایده آل دیگر را به عنوان آنتن کاونده در جهت θ قرار می دهیم تا به میدان E_{θ} پاسخ گوید. شکل (۱-۱) تشعشع از یک دو قطبی ایده آل برای صفحات میدان الکتریکی و میدان مغناطیسی و همچنین به صورت سه بعدی برای یک دو قطبی ایده آل نشان می دهد



شکل (۱-۱) تشعشع از یک دو قطبی ایده آل

الف) صفحه میدان الکتریکی ب) صفحه میدان مغناطیسی ج) سه بعدی

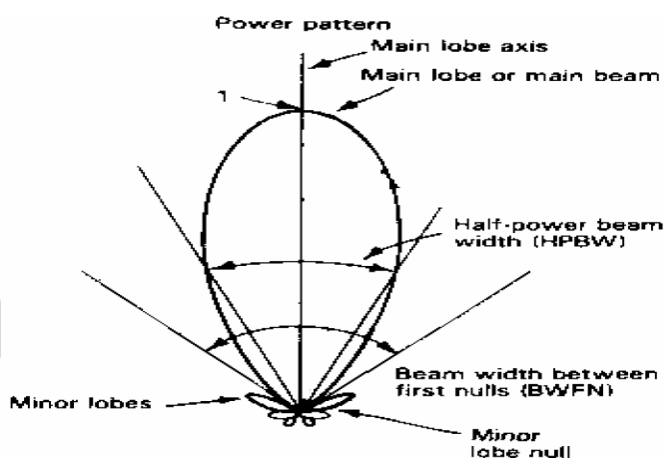
همانطور که در شکل (۱-۲) مشاهده می کنید یک نمونه پرتو توان یک آنتن به صورت یک نمودار قطبی بر

حسب مقیاس خطی، نشان داده شده است. گلبرگ اصلی^۲ شامل جهت حداکثر تشعشع می باشد. گلبرگ

های کوچکتر دیگر موسوم به گلبرگ های فرعی^۳ نیز در پرتو تشعشع وجود دارند. اگر یک گلبرگ کناری^۴ را

1 - Probe Antenna 2- Main Lobe 3 -Minor Lobe 4-Side Lobe

به عنوان یک گلبرگ تشعشع در هر جهت غیر از جهت گلبرگ مورد نظر تعریف کنیم، در مواردی که گلبرگ اصلی مورد نظر باشد، گلبرگ های فرعی به عنوان گلبرگ های کناری محسوب می شوند.



شکل (۱-۲) یک نمودار پرتو توان

یک معیار تمرکز توان در گلبرگ اصلی تراز گلبرگ کناری نسبی^۱ می باشد که به صورت نسبت حداکثر

اندازه ی پرتو گلبرگ کناری به حداکثر اندازه ی پرتو گلبرگ اصلی تعریف می شود.

$$SLL_{db} = 20 \log \left| \frac{F(SLL)}{F(max)} \right| \quad \text{رابطه (۱-۷)}$$

$|F(max)|$ حداکثر اندازه ی پرتو و $|F(SLL)|$ حداکثر اندازه ی بزرگ ترین گلبرگ کناری است.

پهنای تا به نیم توان (HPBW)^۲ به صورت فاصله ی زاویه ای بین دو نقطه روی تا به اصلی در پرتو توان

بوده که اندازه ی توان نصف حداکثر اندازه ی آن است. در شکل (۱-۲) می توانیم پهنای تا به نیم توان را

مشاهده کنیم.

$$HPBW = \left| \theta_{HP \text{ چپ}} - \theta_{HP \text{ راست}} \right| \quad \text{رابطه (۱-۸)}$$

۴-۱ سمت گرایی^۳

1- Relative Side Lobe Level

2- Half – Power Beam width

3- Directivity

یکی از مشخصات مهم یک آنتن توانایی تمرکز انرژی در یک جهت خاص نسبت به تشعشع آن در جهات دیگر است، که موسوم به سمتگرایی (راستاوری) می باشد. اگر کارایی تشعشعی آنتن در صد باشد، سمت گرایی برابر با بهره توان است. معمولاً بهره ی توان نسبت به یک مرجع مثل تشعشع کننده یکسانگرد^۱

بیان می شود. لازم به ذکر است که تشعشع کننده یکسانگرد تشعشع کننده ای است که دارای تشعشع یکنواخت در کلیه جهات می باشد.

قبل از بیان رابطه ی سمت گرایی برخی پارامتر ها را به صورت اجمالی بیان می کنیم. در ابتدا شدت تشعشع $U(\theta, \varphi)$ را تعریف کنیم. شدت تشعشع برابر توان تشعشع شده در یک جهت، در واحد زاویه ی فضایی می باشد که بر حسب وات بر مجذور رادیان (استرادیان) بیان می شود. برای یک منبع یکسانگرد داریم:

$$U_{ave} = \frac{P_r}{4\pi} \quad \text{رابطه (۹-۱)}$$

در رابطه ی بالا P_r توان تشعشع شده و U_{av} شدت تشعشع متوسط، می باشد. نکته ی جالب اینجاست که ما می توانیم U_{av} را برای تشعشع کننده های نا یکسانگرد نیز به شرح ذیل تعریف کنیم:

$$U_{ave} = \frac{Pr}{4\pi} = \int_s \frac{U(\theta, \varphi) d\Omega}{4\pi} \quad \text{رابطه (۱۰-۱)}$$

یک عنصر فضایی می باشد. $d\Omega = \sin \theta d\theta d\varphi$

بعد از این که U_{ave} را برای یک تشعشع کننده تعریف کردیم می توان پارامتری را با نام بهره ی جهتی $D(\theta, \varphi)$ به شرح ذیل معرفی کرد:

$$D(\theta, \varphi) = \frac{U(\theta, \varphi)}{U_{ave}} \quad \text{رابطه (۱۱-۱)}$$

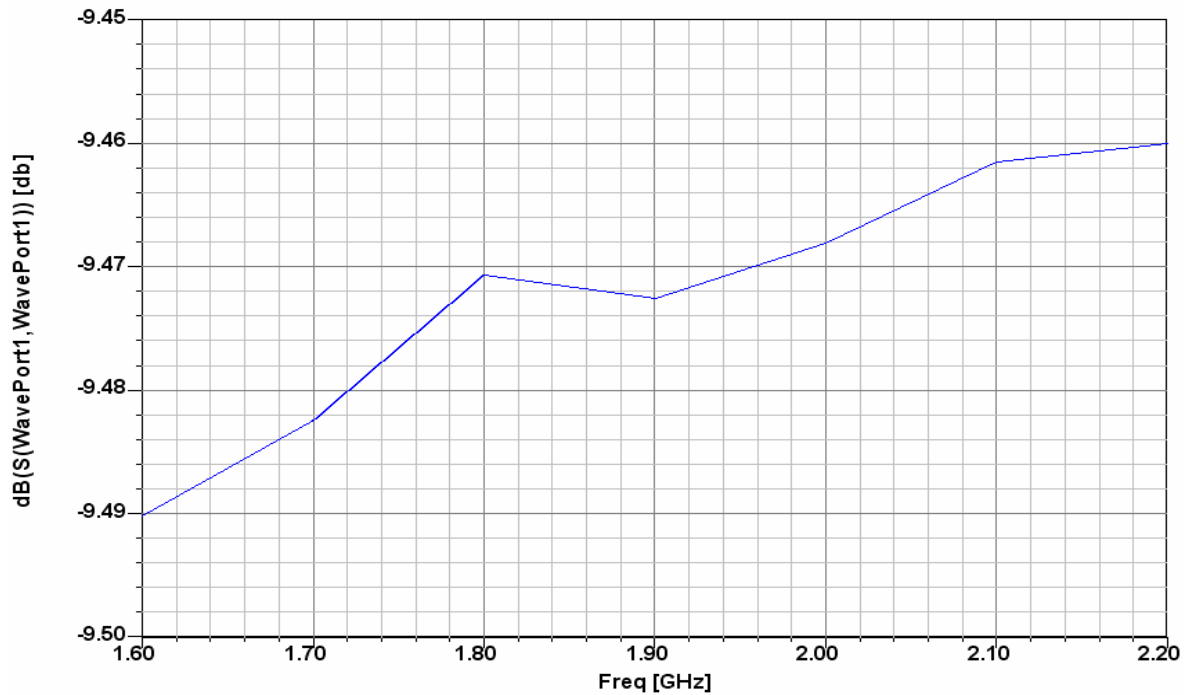
سمت گرایی به راحتی به عنوان حداکثر بهره ی جهتی تعریف می شود.

1- Isotropic Radiator

دانشجویان محترم:

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

در شکل (۴-۱۱) پارامتر S وقتی صفحه بالایی را به اندازه ۴ میلیمتر در راستای محور Y از مکان بهینه دور است را نشان می دهد، که باز هم مطلوب نیست.



شکل (۴-۱۱) پارامتر S، وقتی صفحه بالایی را به اندازه ۴ میلیمتر

در راستای محور Y از مکان بهینه دور شده است.

عدم بهینه بودن ابعاد صفحه زمین ، صفحه اتصال کوتاه و مکان تغذیه نیز باعث خراب شدن مؤلفه های

PIFA می گردد. برای جلوگیری از اطباب از بیان بقیه نتایج صرف نظر شده است.

۴-۵ نتیجه گیری

با توجه به توضیحات بیان شده؛ PIFA در مخابرات سیار کاربرد دارد. مزیت این آنتن حجم کم و اندازه

کوچک و امکانات چند بانده آن است و با بدنه دستگاه سازگاری دارد، بنابراین برای نصب روی وسایل متحرک

مناسب است. ساختار اصلی این آنتن برای کار در یک فرکانس طراحی می شود اما می توان این ساختار را

چنان تغییر داد که برای کار در دو فرکانس نیز کاربرد داشته باشد.

همان طور که در فصل سوم نشان داده شد آنتن PIFA شامل یک صفحه زمین، یک صفحه بالایی به

عنوان عنصر تشعشع کننده، یک تغذیه سیمی بین صفحه زمین و صفحه بالایی و یک نوار اتصال کوتاه بین

صفحه زمین و صفحه بالایی است. آنتن در محلی که سیستم تغذیه به زمین متصل می گردد تغذیه می شود. اثرات صفحه زمین (با جعبه دستگاه) و قسمت های مختلف آنتن در طراحی کلی آنتن باید منظور شوند. PIFA آنتنی مطلوب برای سیستم های همراه است چرا که حجم فضایی که اشغال می کند، محدود است. PIFA کارایی صفحه زمین و نیز حساسیت در پلاریزاسیون های افقی و عمودی را نیز ماکزیمم می کند.

عیبی که PIFA دارد، کمبود پهنای باند است که می توان با کمک تکنیک هایی که در فصل سوم به آنها اشاره شد، پهنای باند را تا حدودی افزایش داد. نا گفته نماند که با همه این تفاسیر، در حالت عادی پهنای باند PIFA از آنتن میکرواستریپ بیشتر است.

با توجه به مرجع [13] و مطالب فصل سوم به طرح PIFA دو بانده پرداختیم و با استفاده از نرم افزار ANSOFT HFSS 10 به بهینه سازی ابعاد پرداختیم تا جواب مطلوب را در دو باند فرکانسی مذکور به دست آوریم. پس از شبیه سازی های مختلف و تغییرات در ابعاد به آنتن پیشنهادی مذکور رسیدیم که نسبت به آنتن پیشنهادی در مرجع [13] ساده تر و در نتیجه ساخت آن بسیار آسانتر است.

ناگفته نماند نرم افزار HFSS یک نرم افزار فوق العاده قوی در زمینه ی محاسبات می باشد و نسبت به نرم افزار های مشابه دارای دقت بیشتری است. این نرم افزار به علت حجم بالای محاسبات دارای سرعت نسبتاً کمی می باشد و برای کار های بهینه سازی سازه های الکترو مغناطیسی چندان مطلوب نیست. به همین خاطر پیشنهاد می شود که برای بهینه سازی ابعاد، از نرم افزار های دیگر که در بازار موجود است و جواب های تقریبی می دهد ولی سرعت بالاتری دارد استفاده شود و در نهایت مدل بهینه شده توسط HFSS شبیه سازی شود.

در پایان به عنوان ادامه کار می توان مدل های دیگری را بررسی کرد، مثلاً استفاده از اسلات در پیچ

تشعشی PIFA، آرایه ای از آنتن های PIFA و....

مراجع

[۱] استتزن، وارن ال – تیل، گری آ ، ترجمه ی همایون عریضی، " تحلیل و طراحی آنتن "، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ، تهران ۱۳۸۰ .

[۲] بوتن، ریچارد سی ، ترجمه ی محمد سلیمانی، " روش های محاسبات الکترومغناطیس و میکروویو " ، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ، تهران ، دی ماه ۱۳۸۲ .

[۳] کینگ، گوردون جی ، ترجمه ی فرخ حجت کاشانی ، " طرح و نصب آنتن های عملی " ، انتشارات پرتو نگار ، مشهد ، مرداد ۱۳۸۲ .

[۴] فرسای، احمدرضا ، " راهنمای نرم افزار HFSS با مقدمه ای بر طرح آنتن " ، انتشارات ارکان دانش ، اصفهان ، ۱۳۸۲ .

[۵] رنجی، مهسا – کامیاب، منوچهر ، شبیه سازی آنتن PIFA در تلفن های همراه با استفاده از روش FDTD " ، نهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه صنعت آب و برق ۱۳۸۰ .

[6] Collin ,Robert E , " Antenna and Radio wave Propagation " , Mc Graw – Hill Book Company.

[7] Kraus,John D , " Antennas " , Mc Graw – Hill Offices ,Second Edition.

[8]U . S . Marine Corps , " Antenna hand book " , June 1992

[9]Milligan,Thomas A , " Modern Antenna design " , Mc Graw – Hill book company.

[10]Hoon,Park - Jae Hoon,Choi,"Design of planar inverted-f antenna with wide and multiband characteristic for mobile handset",IEICE TRANS.Commun, Vol E 89-B,No.9 September 2006.

[11]Haridas , "PIFA for mobile phones",Syracuse University, Fall 2004.

- [12] Anja K. Skrivervik - J.F. Zurcher; "Miniature Antenna Design At LEMA".
- [13] Fregoli, Lucia- Peixeiro, Custodio, "Small multiband planar inverted-F antenna for mobile communication systems and WLAN/WPAN Applications", URSI EMTS 2004.
- [14] P. Nepa, G. Manara, "A compact multiband PIFA for wireless LAN mobile terminals".
- [15] Hunt, John, "The challenge of handset antenna design", Roke Manor Research Ltd, Paper 10, 2005.
- [16] Wiles, Martin, "CTIA test requirements cover Over the air performance", Institute of physics publishing, October/November 2004.
- [17] Kulkarni, Shashank, "Development and validation of a method of moments approach for modeling planar antenna structures", April 2007.