



دانشکده مهندسی
گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش:
مخابرات

عنوان :
بررسی و شبیه سازی آنتن حلقوی بار گذاری شده با فراماده

استاد راهنما:
دکتر محمود رفائی بوکت

نگارش:
نوید لباف

تقدیم به :

محضر ارزشمند پدر و مادر عزیزم به خاطر همه‌ی تلاش‌های محبت‌آمیزی که در دوران مختلف زندگی‌ام

انجام داده‌اند و با مهربانی چگونه زیستن را به من آموخته‌اند.

همچنین به استادان فرزانه و فرهیخته‌ای که در راه کسب علم و معرفت مرا یاری نمودند.

قدردانی

با تقدیر و تشکر شایسته از استاد فرهیخته و عزیزم جناب آقای دکتر محمود رفائی بوکت

که با نکته‌های ارزشمند همواره راهنما و راه‌گشای نگارنده در اتمام و اکمال پایان نامه بوده است و بدون

راهنمایی‌های ایشان تهیه این پایان نامه بسیار مشکل می‌نمود.

چکیده

در این پژوهش، آنتنی طراحی و شبیه‌سازی شده است که تا حد امکان، کوچکترین ابعاد را داشته باشد. این آنتن در فرکانس کاری ۱/۳۳ GHz، با بهره ۲/۶۹ dB- با استفاده از زیرلایه عایق، Rogers RO4003C به ضخامت ۰/۷۸۷ mm در 22×20 mm² می‌باشد.

فهرست

فصل اول. مقدمه	۱
فصل دوم. معرفی مختصری از فراماده	۸
۲-۱ مقدمه	۹
۲-۲ معرفی ساختارهای فراماده	۱۰
۲-۳ اصطلاحات	۱۳
۲-۴ نمایش تجربی ساختارهای چپگرد	۱۴
فصل سوم. بررسی برخی آنتن‌های بارگذاری شده با فرامواد	۲۲
۳-۱ طراحی آنتن دوقطبی نصف طول موج	۲۳
۳-۲ حلقه موج کامل	۲۴
۳-۳ آنتن یک چهارم طول موج (تک قطبی)	۲۵
۳-۴ شبیه سازی چند آنتن در HFSS	۲۶
فصل چهارم. شبیه سازی آنتن حلقوی کوچک شده با بارگذاری فرامواد	۳۱
۴-۱ طرحی جدید	۳۶
فصل پنجم. نتیجه گیری و پیشنهادات	۴۶
مرجع ها	۴۸

فصل اول. مقدمه

یک سطح دو بعدی یا یک حجم سه بعدی، با استفاده از فرامواد، آنتن‌های الکتریکی کارآمدی به راحتی طراحی می‌شوند، بسیار ساده و ارزان ساخته می‌شوند، ساده آزمایش می‌شوند و همچنین بسیار ساده از آن‌ها می‌توان گزارش تهیه کرد. در اینجا آنتن‌های EZ مبتنی بر خاصیت‌های الکتریکی و مغناطیسی نشان داده شده، استوار بر طرحی دو بعدی پیشنهاد شده است که به طور طبیعی با منبع ۵۰ اهم، تطبیق می‌شود. بدون معرفی یک شبکه تطبیق، به طور عددی نشان داده شده است، که این آنتن EZ دارای راندمان بالا تابش با تطبیق امپدانس خیلی خوبی بین منبع و آنتن است. از این رو، به طور کلی بهره‌وری بالایی دارد. طرح‌های آنتن دو بعدی و سه بعدی EZ به صورت خطی برای طیف گسترده‌ای از فرکانس‌ها قابل مقیاس‌بندی هستند و هنوز ویژگی‌های آسان ساخت آن را حفظ می‌کنند. نمونه‌ای از این آنتن دو بعدی EZ ساخته و آزمایش شده است. نتایج اندازه‌گیری پیش‌بینی عملکرد را تایید می‌کند. سیستم‌های آنتن EZ ممکن است جایگزین جذاب برای آنتن‌های الکتریکی کوچک موجود باشد.

از آنجا که تاثیر بالقوه آن بسیار زیاد است، همیشه علاقه‌مند به فناوری‌های الکتریکی آنتن کوچک^۱ بوده ایم. بلافاصله چندین مورد از موارد را در توصیف هر آنتن با استفاده از تعاریف استاندارد مربوط به آنتن‌ها، از جمله فناوری‌های الکتریکی آنتن کوچک، از IEEE تعریف می‌کنیم. قدرت پذیرفته شده^۲ (AP) قدرت تحویل به ترمینال آنتن از منبع است. این شامل اطلاعاتی در مورد هرگونه عدم هماهنگی بین منبع، خطوط تغذیه و آنتن است. در اینجا P_{input} منبع ورودی، Z_0 امپدانس مشخصه هر دو خط تغذیه، Z_{input} امپدانس ورودی آنتن باشد. $\Gamma = \frac{Z_{input} - Z_0}{Z_{input} + Z_0}$ ضریب انعکاس در آنتن است و $AP = (1 - \Gamma^2)P_{input}$ قدرت پذیرفته شده، $AE = AP/P_{input}$ ، عدم انطباق و یا بهره‌وری قدرت پذیرفته شده است. بهره‌وری تابشی، نسبت کل انرژی تابشی به قدرت پذیرفته شده است، $RE = P_{rad}/AP$. این مقدار، قدرت یا به عبارت دیگر، توانی را که در محدوده دور از قدرت ارسال شده به پایانه‌های آنتن منتشر می‌شود، برابر با قدرت پذیرفته شده توسط آنتن منهای قدرت تخلیه شده در آنتن است. ما هم‌چنین یکی دیگر از اصطلاحات را معرفی می‌کنیم که تمام تلفات

^۱ Electrically Small Antenna (ESA)

^۲ Accepted Power (AP)

احتمالی را در یک سیستم آنتن داده شده، یعنی بهره‌وری کلی، را در نظر می‌گیرد. بهره‌وری کلی سیستم آنتن، نسبت قدرت کل به نیروی ورودی است، $OE = P_{rad}/P_{input}$ یعنی برای یک منبع W ، آن را توضیح می‌دهد، که چه مقدار از آن وات به میدان دور از سیستم آنتن تابش می‌شود. اگر جهتگیری^۳ یک آنتن D باشد، بهره حاصل شده آن $G_R = OE \times D$ است. اگر شعاع کوچک‌ترین میدان که کل سیستم آنتن را محاصره کرده است، باشد و اگر $k = 2\pi/\lambda_0$ عدد موج فضایی آزاد باشد، λ_0 طول موج فضای آزاد، f فرکانس منبع، C سرعت نور در فضای آزاد است. $\lambda_0 = C/f_0$. سپس سیستم آنتن به صورت الکتریکی کوچک، یعنی اگر $K_a \leq 1$ ، آنتن در ویلر رادنی شورش وجود دارد. اگر سیستم آنتن در حضور یک صفحه‌ی زمین بی‌نهایت الکتریکی (رسانای الکتریکی ایده‌آل^۴) طراحی شده باشد، تنها نیمی از رادیان‌ها در آن دخیل هستند و سیستم آنتن به طور کلی، آنتن الکتریکی کوچک گفته می‌شود. حتی اگر سطح زمین به رسانای الکتریکی ایده‌آل محدود باشد. این موارد در زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد، از معیار دوم به طور دقیق‌تر برای توصیف فناوری‌های الکتریکی آنتن کوچک استفاده می‌کنیم، نه از معیار اول.

پیشرفت‌های تکنولوژیکی اخیر در ارتباطات بی‌سیم و شبکه‌های حسگر، انتظارات طراحی‌های آنتن و عملکرد آن‌ها را تغییر داده است. آنتن‌هایی الکتریکی کارآمد هستند؛ به شرطی که پهنای باند قابل توجهی داشته باشند، ارزان و آسان برای ساخت باشند؛ اگر طراح آنتن بتواند به این اهداف دست یابد. به سادگی با سیستم‌های پیچیده‌تر ادغام می‌شوند. متأسفانه این الزامات زمانی که طرح‌های آنتن الکتریکی کوچک سنتی در نظر گرفته می‌شوند، متناقض هستند. به عنوان مثال، بدون یک شبکه تطبیق برای آنتن‌های الکتریکی کوچک، کارایی بسیار پایین است، زیرا دارای یک رئاکتانس ورودی و مقاومت است که بسیار نامتناسب با منبع ۵۰ اهم مشخص شده است. لذا آنتن، تطبیق نخواهد شد. طراحی شبکه‌های رئاکتانس و مقاومتی یک کار چالش برانگیز است که اغلب، محدودیت‌های اضافی در عملکرد کلی سیستم ایجاد می‌کند. یکی از رویکردهای مشترک شبکه تطبیق این است که امپدانس تطبیق طوری باشد که اختلاف مزدوج رئاکتانس ورودی و

^۳ directivity

^۴ perfect electrical conductor

سیستم صفر شود. آنگاه با یک ترانسفورماتور یک چهارم طول موج، برای تطبیق مقاومت استفاده می‌شود. بنابراین کل سیستم، عنصر پرتوی و مدار تطبیق الکتریکی کوچک نیست. مفهوم کارآمد آنتن الکتریکی کوچک^۵، که ما ارائه می‌دهیم، کل سیستم آنتن: عنصر تطبیق و عنصر پرتوکننده اصلاح شده در داخل محیط انتشار موجود است. شمار دیگری از روش‌های مطابق شبکه نیز برای آنتن کوچک الکتریکی مورد توجه قرار گرفته است (به عنوان مثال [۹] را ببینید). از آنجا که آنها بر ترکیبات مختلف (مدار و تابش) اجزای تکیه می‌کنند، همه آن‌ها دارای مزایا و معایب هستند. ما الگو دیگری را پیشنهاد می‌کنیم. ما یک جسم پارازیتیک الکتریکی کوچک را اساساً یک سلول واحد از نوع فراماده را در میدان نزدیک معرفی خواهیم کرد و ویژگی‌های آن را به کار خواهیم بست تا بهترین استفاده از حجم طراحی الکتریکی موجود برای دستیابی کامل به امیدانس ورودی سیستم آنتن حاصل می‌شود.

معرفی مواد به کار رفته، فراماده، مواد مصنوعی که پاسخ‌های الکترومغناطیسی را که در طبیعت به آسانی در دسترس نیستند، و خواص عجیب و غریب آنها یک رویکرد طراحی جایگزین را فراهم کرده‌اند که به بهبود ویژگی‌های عملکرد چندین سیستم پرتویی کمک می‌کنند [۱۱] - [۱۳]. تحقیقات تحلیلی اولیه در سیستم‌های آنتن الکتریکی کوچک مبتنی بر مواد متداول داده شده در [۱۴] - [۱۵] نشان داد که ممکن است یک سیستم آنتن الکتریکی کوچک کارآمد، توسط آنتن کوچک الکتریکی دو قطبی که در حضور همگن و دو عنصر ایزوتروپیک ایده‌آل پوسته کروی فراماده^۶ یا اپسیلون منفی^۷ نشان داده شده، تشکیل شده که چنین سیستم‌های آنتن می‌تواند با راندمان تابش نزدیک به واحد برای پوسته‌های کروی فراماده بدون افت ساخته شود. به عنوان مثال، ماهیت القایی پوسته کروی فراماده با اپسیلون منفی برای جبران ماهیت خازنی آنتن الکتریکی کوچک برای ایجاد تشدید این سیستم تابشی استفاده می‌شود.

^۵ EESA

^۶ DNG

^۷ ENG

این مطالعات اولیه منجر به معرفی [۱۶]-[۱۸] یک پارامتر مبتنی فرامواد برای دستیابی به آنتن الکتریکی کوچک کارآمد است. عملکرد یک عنصر تابشی الکتریکی (مغناطیسی) دوقطبی بیرون از آن با استفاده از یک لایه کروی فراماده (ENG یا DNG) (mu-negative (MNG) یا DNG) که پوسته کروی آن ایده آل همگن، ایزوتروپیک، بااتلاف، مواد پراکنده، است. در مقایسه با مسائل کانونی بی نهایت کمینه [۱۴]-[۱۵] که در آن عنصر تابشی با یک جریان ثابت تحریک می‌شود، امپدانس ورودی را می‌توان برای عناصر تابشی در این آنتن الکتریکی کوچک مبتنی بر فراماده، مانند یک دوقطبی یا تک قطبی، مجهز به کابل هم محور با هدایت‌پذیری محدود، هدایت شده و با استفاده از یک ولتاژ یا منبع جریان احاطه شده توسط پوسته کروی احاطه شده است. در نتیجه، قدرت پذیرفته شده (AP) و بهره‌وری کل این آنتن الکتریکی کوچک مبتنی بر فراماده، می‌تواند برای پوسته کروی پوشیده از مواد فلزی که توسط آنتن با رسانایی محدود هدایت می‌شود محاسبه شود. پوسته کروی فرایند مواد را می‌توان برای ایجاد یک سیستم آنتن تشدید هماهنگ طراحی کرد، یعنی مقاومت ورودی کل صفر است و مقاومت ورودی کل برابر با مقاومت منبع است. حتی زمانی که کل سیستم مبتنی بر فراماده، یعنی مقاومت تشعشعی با پوسته فراماده، الکتریکی کوچک است، کارایی کلی پیش بینی شده ۱۰۰٪ است. زمانی که مواد به صورت غیر قابل تصور بدون اتلاف هستند. در حالی که به لحاظ نظری به دلیل خواص عملکرد فرضی آن‌ها، پوسته‌های کروی فراماده موردنیاز برای این سیستم‌های آنتن بر اساس مواد متخلخل هستند که به صورت الکتریکی کوچک هستند و تاکنون از لحاظ فیزیکی به دست نیامده‌اند. با این وجود، پیشرفت در جهت دستیابی به این گونه پوسته‌های کروی امکان‌پذیر است. به عنوان مثال، اخیراً در [۱۹] یک تخته از مواد متشکل از DNG ساخته شده که بزرگ‌ترین ابعاد آن $(\lambda_0/75)$ ، 400 مگاهرتز گزارش شده است.

مطالعات نظری و عددی ما از رفتارهای تابش و تشدید این سیستم آنتن الکتریکی کوچک مبتنی بر فراماده و همچنین تلاش‌های ما برای مفهوم ساختن ساختارهایی که ممکن است برای ساخت آن‌ها استفاده شود، منجر به کشف چندین نوع دو بعدی و سه بعدی سیستم متشکل از استفاده آنتن الکتریکی کوچک. با

الگوریتم الهام گرفته از مواد، بدان معنی است که تطبیق رئاکتانس و مقاومت در برابر یک محیط فرامواد (پوسته کروی) به دست می‌آید، بلکه یک عنصر می‌تواند یا در یک طراحی سلول واحد فراماده برای تحقق ENG، MNG، یا محیط DNG. در حقیقت، اگر یکی از عناصر معرفی شده در هندسه پراکندگی سلول واحد یک تخته قرار گیرد و یک کد استخراج اموال مواد به پارامترهای S نتیجه می‌شود، عنصر الهام گرفته شده از فرامواد، خواص ENG، MNG یا DNG مورد نیاز را نمایش می‌دهد برای سیستم آنتن متناظر فراماده، یعنی یک عنصر ENG (MNG) باید با یک پرتوالکتریکی (مغناطیسی) دوقطبی، استفاده شود. این سیستم‌ها به راحتی طراحی می‌شوند. آسان و ارزان برای ساخت؛ تست آسان است و از این رو، سیستم آنتن EZ نامیده می‌شود. مشخصات طراحی و عملکرد هر دو آنتن دو بعدی و سه بعدی EZ بر اساس الکترومغناطیسی و مغناطیسی گزارش شده است. نشان داده شده است به طور طبیعی به یک منبع ۵۰ اهم تطبیق شده که به طور کلی بهره‌وری کلی بالاست. ابعاد نشان داده شده این سیستم آنتن EZ دو بعدی و سه بعدی به صورت خطی برای فرکانس وسیع و بدون محدودیت‌های ساختاری قابل توجهی مقیاس پذیر است. چندین نسخه از آنتن‌های دوبعدی EZ ساخته و آزمایش شده‌اند. همچنین نشان داده خواهد شد که نتایج قدرت پذیرفته شده و برانگیخته نسبت به ارزش‌های پیش‌بینی شده آن‌ها مطلوب‌تر است.

سیستم‌های آنتن EZ مبتنی بر ساختار الکتریکی دو بعدی، در فصل سوم ارائه شده‌اند و در چهارم در نظر گرفته شده‌اند. با ساختارهای الهام گرفته از المان ENG دو بعدی، که توسط یک آنتن حلقوی الکتریکی کوچک مجهز شده، تحریک می‌شوند. چندین آنتن EZ با الهام از مواد مغناطیسی و الکتریکی ساخته شده و مورد شبیه‌سازی قرار گرفتند. خلاصه‌ای از یافته‌های تحقیقاتی که در این پژوهش ایجاد شده است، ارائه شده است. جزئیات دقیق در مدل ^۸ ANSOFT HFSS و ^۹ CST Microwave Studio ارائه می‌دهد که برای پیش-بینی عملکرد سیستم‌های آنتن EZ استفاده می‌شود.

^۸ High Frequency Structure Simulator

^۹ Computer Simulatoion Technology

دانشجویان محترم:

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

از آن جایی که این آنتن تا حد امکان کوچک‌سازی شده است، بهره و پهنای باند کمی دارد. البته این را نیز باید در نظر داشت که در برخی از کاربردهای خاص، به خصوص به عنوان آنتن گیرنده، از مشخصات خوبی برخوردار است.

لذا توصیه می‌شود، با آرایه کردن آنتن در جهت بهبود بهره آنتن، اقداماتی انجام داد. همچنین، با تغییر دادن ساختار آنتن حلقوی، به یک ساختار با پهنای باند بیشتر، در جهت بهبود پهنای باند آنتن، اقداماتی انجام داد.

مرجع ها

- [1] L. J. Chu, "Physical limitations of omnidirectional antennas," *J. Appl. Phys.*, vol. 19, pp. 1163–1175, Dec. 1948.
- [2] H. A. Wheeler, "Fundamental limitations of small antennas," in *IRE Proc.*, vol. 35, pp. 1479–1484. Dec. 1947
- [3] H. A. Wheeler, "The radiansphere around a small antenna," *IRE Proc.*, vol. 47, pp. 1325–1331, Aug. 1959.
- [4] R. E. Collin and S. Rothschild, "Evaluation of antenna Q," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. AP-12, pp. 23–27, Jan. 1964.
- [5] R. C. Hansen, "Fundamental limitations in antennas," *Proc. IEEE*, vol. 69, pp. 170–181, Feb. 1981.
- [6] J. S. McLean, "A re-examination of the fundamental limits on the radiation Q of electrically small antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 44, pp. 672–676, May 1996.
- [7] A. D. Yaghjian and S. R. Best, "Impedance, bandwidth, and Q of antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, pp. 1298–1324, Apr. 2005.
- [8] R. P. Harrington, *Time Harmonic Electromagnetic Fields*. New York: McGraw-Hill, pp. 414–420, 1961.
- [9] C. A. Balanis, *Antenna Theory*, 3rd ed. New York: Wiley, pp. 637–641, 2005.
- [10] "IEEE standard definitions of terms for antennas," 145–1993, 1993.
- [11] N. Engheta and R. W. Ziolkowski, "A positive future for double negative metamaterials," *IEEE Microw. Theory Tech*, vol. 53, pp. 1535–1556, Apr. 2005.
- [12] N. Engheta and R. W. Ziolkowski, Eds., *Metamaterials: Physics and Engineering Explorations*. Hoboken, NJ: Wiley-IEEE Press, 2006.
- [13] A. Alù, N. Engheta, A. Erentok, and R. W. Ziolkowski, "Single-negative, double-negative and low-index metamaterials and their electromagnetic application," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 49, no. 1, pp. 23–36, Feb. 2007.

- [14] R. W. Ziolkowski and A. Kipple, "Application of double negative metamaterials to increase the power radiated by electrically small antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 51, pp. 2626–2640, Oct. 2003.
- [15] R. W. Ziolkowski and A. D. Kipple, "Reciprocity between the effects of resonant scattering and enhanced radiated power by electrically small antennas in the presence of nested metamaterial shells," *Phys. Rev. E.*, vol. 72, Sep. 2005, 036602.
- [16] R. W. Ziolkowski and A. Erentok, "Metamaterial-based efficient electrically small antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 54, pp. 2113–2130, Jul. 2006.
- [17] R. W. Ziolkowski and A. Erentok, "At and beyond the chu limit: Passive and active broad bandwidth metamaterial-based efficient electrically small antennas," *IET Microw., Antennas Propag.*, vol. 1, pp. 116–128, Feb. 2007.
- [18] A. Erentok and R. W. Ziolkowski, "A hybrid optimization method to analyze metamaterial-based electrically small antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, pp. 731–741, Mar. 2007.
- [19] A. Erentok, R. W. Ziolkowski, J. A. Nielsen, R. B. Gregor, C. G. Parazzoli, M. H. Tanielian, S. A. Cummer, B.-I. Popa, T. Hand, D. C. Vier, and S. Schultz, "Low frequency lumped element-based negative index metamaterial," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 91, p. 184104, Nov. 2007.
- [20] A. Erentok, P. Luljak, and R. W. Ziolkowski, "Antenna performance near a volumetric metamaterial realization of an artificial magnetic conductor," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 53, pp. 160–172, Jan 2005.
- [21] A. Erentok, D. Lee, and R. W. Ziolkowski, "Numerical analysis of a printed dipole antenna integrated with a 3D AMC block," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 6, pp. 134–136, 2007.
- [22] A. Erentok and R. W. Ziolkowski, "An efficient metamaterial-inspired electrically-small antenna," *Microw. Opt. Tech. Lett.*, vol. 49, no. 6, pp. 1287–1290, 2007.
- [23] A. Erentok and R. W. Ziolkowski, "Two-dimensional efficient metamaterial- inspired electrically-small antenna," *Microw. Opt. Tech. Lett.*, vol. 49, no. 7, pp. 1669–1673, 2007.
- [24] [Online]. Available: [http://www.murata.com/cap/index.html\(11/29/2006\)](http://www.murata.com/cap/index.html(11/29/2006))

- [25] [Online]. Available: [http://industrial.panasonic.com\(11/29/2006\)](http://industrial.panasonic.com(11/29/2006))
- [26] D. Pozar and B. Kaufman, "Comparison of three methods for the measurement of printed antenna efficiency," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 36, pp. 136–139, Jan. 1988.
- [27] D. A. Hill, "Electromagnetic theory of reverberation chambers," *NIST Technical Note 1506*, National Institute of Standards and Technology. Boulder, CO, 1998.
- [28] N. Serafimov, P.-S. Kildal, and T. Bolin, "Comparison between radiation efficiencies of phone antennas and radiated power of mobile phones measured in anechoic chambers and reverberation chambers," in *Proc. IEEE Antennas and Propagation Int. Symp.*, vol. 2, pp. 478–481, Jun. 2002.
- [29] K. Rosengren, P.-S. Kildal, C. Carlsson, and J. Carlsson, "Characterization of antennas for mobile and wireless terminals in reverberation chambers: Improved accuracy by platform stirring," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 30, no. 20, pp. 391–397, Sep. 2001.
- [30] C. L. Holloway, D. A. Hill, J. M. Ladbury, P. Wilson, G. Koepke, and J. Coder, "On the use of reverberation chambers to simulate a controllable Rician radio environment for the testing of wireless devices," *IEEE Trans. Antennas Propag., Special Issue on Wireless Communications*, vol. 54, no. 11, pp. 3167–3177, Nov. 2006.
- [31] J. Ladbury, G. Koepke, and D. Camell, "Evaluation of NASA Langley Research Center mode-stirred chamber facility," *NIST Tech. Note 1508*, p. 106, Jan. 1999
- [34] A. Erentok, W. Ziolkowski, "Metamaterial-Inspired Efficient Electrically Small Antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol., no. ,2008.