

## طراحی و ساخت یک آنتن پلاسمایی در باند VHF

پیام درویش<sup>۱\*</sup>، بیژن ذاکری<sup>۲</sup>، امین گرجی<sup>۳</sup>

۱-کارشناسی ارشد ۲-استادیار ۳-کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

(دریافت: ۹۳/۰۲/۲۹، پذیرش: ۹۳/۰۹/۱۲)

### چکیده

در سال‌های اخیر آنتن‌های پلاسمایی به‌عنوان یک تکنولوژی جدید و کارآمد برای جایگزینی آنتن‌های فلزی همراه با کارایی بیشتر، طراحی و ساخته شده‌اند. در حالت پایدار، آنتن‌های پلاسمایی با تقریب نزدیکی همان الگوی تشعشعی را خواهند داد که نمونه آنتن‌های فلزی مشابه آن‌ها با همان شکل در اختیار می‌گذارند. اما با این قابلیت ویژه که با تغییر پارامترهای ماده پلاسمایی می‌توان فرکانس کاری آن را بدون تغییر در طول آنتن تغییر داد. به‌دلیل پیچیده بودن محیط پلاسمایی، اکثر این طراحی‌ها تنها بر اساس آزمایشات عملی انجام می‌گیرد. در این مقاله برای اولین بار فرآیندی قدم به قدم برای طراحی آنتن پلاسمایی بیان و بر اساس آن محیط پلاسمایی و آنتن پلاسمایی شبیه‌سازی شده‌اند. همچنین طرح بهبود یافته‌ای برای کوپلر آنتن پلاسمایی آورده شده است که علاوه بر انتقال و دریافت سیگنال توسط کوپلر درونی، به علت وجود پوسته بیرونی آن هیچ گونه تداخل الکترومغناطیسی با بیرون نخواهد داشت. بر اساس روند طراحی بیان شده، شبیه‌سازی آنتن پلاسمایی صورت گرفته و با توجه به عملکرد اولیه قابل قبول آن در باند VHF، طرح ساخته و پیاده‌سازی عملی گشته و سپس در باند مربوطه تست گردیده است. اندازه‌گیری به‌دست‌آمده با نتایج شبیه‌سازی شده مطابقت نزدیکی داشته و به کاهش تلفات برگشتی آنتن در رزونانس‌های آن منجر شده است.

### واژگان کلیدی

آنتن پلاسمایی، کوپلر استوانه‌ای، فرکانس پلاسمایی، طراحی قدم به قدم آنتن پلاسمایی، باند VHF

الکترومغناطیسی گردند.

### ۱. مقدمه

ایجاد یک محیط پلاسمایی از راه‌های متعددی ممکن خواهد بود، اما دو روش در این زمینه بسیار مرسوم و کاربردی هستند. اولین و مرسوم‌ترین راه، تخلیه تابناک پلاسمای نام دارد. در این روش پلاسمای غیرحرارتی<sup>۲</sup> بوسیله‌ی اعمال ولتاژ DC یا اعمال میدان الکتریکی فرکانس پایین RF (کمتر از ۱۰۰KHz) به فضای خالی بین دو الکترود فلزی ایجاد می‌شود. معمول‌ترین کاربرد این روش در ایجاد پلاسمای در لامپ‌های فلورسنت است. روش دوم حرارت‌دهی با موج<sup>۳</sup> نام دارد. در این روش از امواج RF استفاده می‌شود اما بوسیله هر دو ابزار الکترواستاتیک و الکترومغناطیس حرارت‌دهی می‌شود. مثال‌هایی از این روش عبارتند از دشارژ مارپیچی<sup>۴</sup>، تشدید الکترونی سیکلوترون<sup>۵</sup> و تشدید یونی سیکلوترون<sup>۶</sup> [۱]. این روش معمولاً نیاز به

در سال ۱۸۷۹ فیزیکدان انگلیسی سرویلیام کروکس، هنگام بررسی ویژگی‌های ماده در تخلیه الکتریکی، پیشنهاد کرد که گازهای یونیزه حالت چهارم ماده هستند [۱]. پلاسمای گاز شبه خنثایی از ذرات باردار و خنثی است که رفتار جمعی از خود ارائه می‌دهد. به‌عبارت دیگر می‌توان گفت که واژه پلاسمای به گاز یونیزه شده‌ای اطلاق می‌شود که همه یا بخش قابل توجهی از اتم‌های آن یک یا چند الکترون از دست داده و به یون‌های مثبت تبدیل شده‌باشند. اغلب گفته می‌شود که ۹۹٪ ماده موجود در طبیعت در حالت پلاسماست، یعنی به شکل گاز الکتریسته داری که اتم‌هایش به یون‌های مثبت و الکترون منفی تجزیه شده‌باشد. گازهایی که تا حد زیادی یونیزه می‌شوند رساناهای خوبی برای الکتریسته هستند [۲]. علاوه بر آن حرکت ذرات باردار گازها هم به نوبه خود می‌توانند باعث تشعشع میدان

<sup>1</sup> Glow Discharge Plasma

<sup>2</sup> Non-Thermal

<sup>3</sup> Wave Heated Plasma

<sup>4</sup> Helicon Discharge

<sup>5</sup> Electron Cyclotron Resonance (ECR)

<sup>6</sup> Ion Cyclotron Resonance (ICR)

و تاییدی بر اساس شبیه سازی‌ها انجام نگرفته است. در این مقاله، برای اولین بار تئوری مدونی برای درک بهتر محیط پیچیده پلاسما و فرآیندی برای طراحی آنتن پلاسمایی بیان شده و بر اساس آن محیط پلاسما و آنتن پلاسمایی شبیه سازی شده‌اند. از طرفی بعد از یونیزه شدن لامپ، به یک کوپلر RF برای انتقال یا دریافت امواج الکترومغناطیسی نیاز داریم [۲۰۷]. ما در این مقاله طرح جدیدی برای کوپلر این آنتن‌ها ارائه دادیم که علاوه بر انتقال و دریافت سیگنال توسط کوپلر درونی، هیچ گونه تداخل الکترومغناطیسی (EMI) به علت وجود پوسته بیرونی نخواهد داشت.

در ادامه: در بخش ۲ با تئوری و پارامترهای پلاسما آشنا می‌شویم و با توجه به پیچیده بودن این محیط، باید روند مشخصی برای طراحی ماده پلاسمای درون آنتن پلاسمایی شکل داد که به این موضوع پرداخته شده است. در بخش ۳ طراحی مفهومی آنتن پلاسمایی، بخش ۴ طراحی قدم به قدم آنتن پلاسمایی و در بخش ۵ نتایج شبیه‌سازی آنتن پلاسمایی به همراه اثرات تغییر پارامترهای این ماده مورد بررسی قرار گرفته است. در بخش ۶ به طور مفصل پیاده‌سازی آنتن را به همراه نحوه ساخت کوپلر و پایه تشریح شده و در نهایت نتایج اندازه‌گیری‌ها آورده شده است.

## ۲. تئوری پایه و پارامترهای پلاسما

محیط پلاسما از لحاظ خواص الکترومغناطیسی غیرهمگن، غیرخطی و پاشنده<sup>۱۱</sup> به حساب می‌آید. پارامترهای  $\mu$ ،  $\sigma$  و  $\epsilon$  به ترتیب نفوذپذیری مغناطیسی، رسانایی الکتریکی و گذردهی محیط در آن بر حسب فرکانس و عوامل دیگر می‌توانند متغیر باشند و از پلاسما یک محیط ویژه بسازند. در نتیجه برای هر فرکانس از موج تابیده‌شده و در هر غلظت از یونیزاسیون یک واکنش خاص در پلاسما روی می‌دهد [۲۱].

امواج الکترومغناطیسی با تابش بر پلاسما؛ جذب، پراکنده و یا عبور داده می‌شوند. با تغییر پارامترهای اصلی در پلاسما مثل غلظت حامل الکترون و نرخ برخورد الکترون بخش قابل توجهی از موج می‌تواند در محیط جذب، پراکنده و یا عبور داده شود [۲۰۱۷]. از خاصیت جذب امواج الکترومغناطیسی پلاسما درباره وسیعی از فرکانس برای کاربردهای رادارگریزی استفاده می‌شود [۷].

$$\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega(\omega - j\nu)} \quad (1)$$

<sup>۱۱</sup> Dispersive

یک میدان مغناطیسی هم مرکز برای انتشار موج دارد.

معیار استاندارد IEEE آنتن را به‌عنوان وسیله‌ای برای تشعشع یا دریافت امواج رادیویی تعریف کرده است. در سال ۱۹۱۹، آقای هتینگر پیشنهاد داد که گازهای یونیزه (پلاسما) می‌توانند برای دریافت و تشعشع سیگنال بی‌سیم استفاده شوند [۳]. آنتن پلاسمایی از یک محفظه شامل گاز تشکیل شده که با دادن انرژی، گاز موجود به پلاسما تبدیل می‌شود [۲]. تراکم و چگالی زیاد الکترون‌ها در پلاسما، آن را به یک هادی مناسب برای جریان الکتریسیته تبدیل کرده و پلاسما رفتاری مشابه یک فلز می‌تواند از خود نشان دهد. همان‌طور که برای فلز، الکترون آزاد نقش عامل تشعشع‌کننده را دارد، در محیط پلاسمایی این نقش را الکترون‌های آزاد شده از یون‌های مثبت ایفا می‌کنند. با این توصیف از سال ۱۹۹۳ پروژه‌های متعددی روی آنتن‌های پلاسمایی توسط تیم‌های مختلف صورت گرفته است [۲].

اولین طرح مفهومی<sup>۷</sup> در خصوص آنتن‌های پلاسمایی در سال ۱۹۹۷ با ثبت اختراعی با عنوان "آنتن RF با لوله گازی"<sup>۸</sup> آغاز گردید [۴]. در سال ۲۰۰۲ طرحی با نام آنتن پلاسمایی به ثبت رسید که در آن طرحی جامع با تغذیه با روش امواج سطحی آورده شد [۵]. مقالات در زمینه آنتن پلاسمایی از سال ۲۰۰۴ با بررسی ویژگی‌های فیزیکی این آنتن‌ها آغاز گردید [۶]. طراحی و آزمایشات عملی رو طرح آنتن پلاسمایی با ساخت طرح اولیه‌ای از این آنتن شروع شد و نتایج قابل توجهی روی ویژگی‌های این آنتن به‌دست آمد [۷]. هم‌چنین مقالاتی درباره نحوه تغذیه آنتن پلاسمایی مطرح شد [۸،۹،۱۰]. مقالاتی هم با تکیه بر ویژگی‌های ماده پلاسما مانند طرح آینه پلاسمایی که همانند یک رفلکتور عمل می‌کند، تحقیقات روش‌های عددی بر روی سطح مقطع راداری پلاسما، آنالیزهایی به روش‌های عددی الکترومغناطیس، امپدانس متقابل این آنتن‌ها و پراکندگی از یک آنتن پلاسمایی به چاپ رسیدند [۱۱-۱۷]. سپس مقالاتی در رابطه با این آنتن‌ها داده‌شد که درباره قابلیت پیکربندی دوباره این آنتن‌ها و آنتن تک قطبی پلاسمایی صحبت کرده‌اند [۱۸،۱۹،۲۰].

از جمله برتری‌های آنتن پلاسمایی نسبت به آنتن فلزی می‌توان به بهبود حساسیت و جهت‌داری<sup>۹</sup>، امپدانس ورودی قابل کنترل، قابلیت پنهان‌سازی<sup>۱۰</sup>، داشتن درجه آزادی و بیم هدایت‌شونده، سطح مقطع راداری کمتر و نویز حرارتی پایین‌تر اشاره کرد [۲].

اما به دلیل پیچیده بودن محیط پلاسما، اکثر این طراحی‌ها بدون تئوری مدون و تنها بر اساس آزمایشات عملی انجام گرفته‌است. نتایج این طراحی‌ها هم با انجام تست‌های آزمایشگاهی نتیجه‌گیری شده

<sup>۷</sup> Conceptual Design

<sup>۸</sup> Gas Tube RF Antenna

<sup>۹</sup> Directivity

<sup>۱۰</sup> Stealth

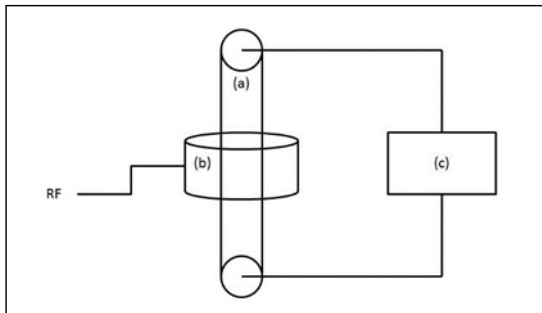
فلورسنت به دلیل هزینه پایین، راه‌اندازی و یونیزاسیون آسان، طول عمر بالا و مزایای دیگر استفاده می‌شود.

### ۳-۲. کوپلر

نکته دوم اینکه برای انتقال و دریافت سیگنال در این آنتن‌ها نیاز به یک کوپلر می‌باشد. این کوپلر باید انتقال و دریافت سیگنال را بدون تداخل و انعکاس انجام دهد و طوری طراحی شود که به لامپ آسیبی وارد نسازد. این ابزار برای شبیه‌سازی طرح اولیه آنتن پلاسمایی کافی است که در بخش بعد به آن پرداخته شده است.

### ۳-۳. راه‌اندازی

نکته سوم اینکه آنتن پلاسمایی برای راه‌اندازی ابتدا باید یونیزه شود تا عمل کند، پس نیاز به یک سیستم یونیزاسیون پدیدار می‌شود. برای یونیزه کردن آنتن راه‌های مختلفی وجود دارد. ساده‌ترین راه استفاده از یک واریاک (اتوترانس) و یک ترانس است. هم چنین این آنتن‌ها معمولاً نیاز به یک پایه برای نگهداری آنتن و سیستم دریافت و انتقال سیگنال خواهند داشت که به طور کامل در بخش ۵ توضیح داده شده است. شکل ۱ نمونه یک طرح مفهومی آنتن پلاسمایی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. (a) محفظه پلاسمایی (b) کوپلر (c) سیستم راه‌اندازی نقطه‌ای

### ۴. طراحی قدم به قدم آنتن پلاسمایی

اولین گام در طراحی آنتن پلاسمایی انتخاب محفظه پلاسمایی است. ساده‌ترین نوع محفظه پلاسمایی لامپ‌های فلورسنت‌اند. تحلیل ماده پلاسمای درون لامپ‌های پلاسمایی با مشخص کردن دو پارامتر اصلی این ماده یعنی فرکانس پلاسمایی و فرکانس برخورد ساده خواهد شد. برای به‌دست آوردن فرکانس پلاسمایی طبق رابطه (۲) نیاز به پارامتر N یعنی چگالی الکترون خواهیم داشت که چگالی الکترون از رابطه (۴) قابل محاسبه است. در این رابطه جریان سطحی است. یک لامپ فلورسنت T8 با توان ۲۰ وات را در نظر می‌گیریم. با اعمال ولتاژ و داشتن توان لامپ طبق روابط (۵) و (۶)

که در آن:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{4\pi n_e e^2}{m_e}} \quad (2)$$

در رابطه (۱) فرکانس پلاسمایی،  $\omega$  فرکانس کاری و  $\nu$  فرکانس برخورد الکترون‌ها<sup>۱۲</sup> است. باید توجه داشت که فرکانس پلاسمای ( $\omega_p$ ) با فرکانس کاری ( $\omega$ ) تفاوت دارد و شخصی که در این حوضه کار می‌کند نباید این دو را یکسان فرض کند. فرکانس پلاسمای طبق رابطه (۲) با جذر تعداد الکترون موجود در پلاسمای<sup>۱۳</sup> ( $n_e$ ) رابطه مستقیم دارد. در این رابطه،  $e$  بار الکترون،  $m$  جرم الکترون و  $\epsilon_0$  قابلیت‌گذردی در خلا است. اما فرکانس کاری ما بسته به کاربرد ما متغیر خواهد بود. هنگامی که  $\omega > \omega_p$  باشد ثابت انتشار ( $\gamma$ ) موهومی خالص می‌شود (رابطه (۳)) و این به این معناست که انعکاسی از محیط پلاسمایی نخواهیم داشت و موج از داخل خود محیط پلاسمایی عبور خواهد کرد، در حالی که اگر  $\omega < \omega_p$  باشد ثابت انتشار حقیقی می‌شود و این به این معناست موج از داخل محیط پلاسمایی عبور نخواهد کرد و محیط پلاسمای مشابه فلز عمل می‌کند [۲].

$$\gamma = \alpha + j\beta = jk_0 \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \quad (3)$$

در اکثر مقالات فرکانس برخورد برای لامپ‌های فلورسنت بین  $10^6 \text{ Hz} < \nu < 10^9 \text{ Hz}$  اندازه‌گیری شده است [۲۱]. اما برای فرکانس پلاسمایی طبق رابطه (۲) نیاز به تعداد الکترون موجود در پلاسمای خواهیم داشت که از رابطه زیر به‌دست می‌آید [۲۲]:

$$n_e = \frac{J}{e \sqrt{\frac{kT_e}{m_e}}} \quad (4)$$

در این رابطه  $J$  چگالی جریان،  $k$  ثابت بولتزمن و  $T_e$  دمای الکترون است. رابطه نهایی برای فرکانس برخورد نیز به صورت زیر خواهد بود:

$$\nu = n_e \sigma \sqrt{\frac{kT_e}{m_e}} \quad (5)$$

### ۳. طراحی مفهومی آنتن پلاسمایی

#### ۳-۱. محفظه ی پلاسمایی<sup>۱۴</sup>

اولین گام در طراحی آنتن پلاسمایی انتخاب یک محفظه پلاسمایی است. مرسوم‌ترین محفظه پلاسمایی لامپ‌های فلورسنت و نئون می‌باشند. برای طرح‌های اجرایی به طور عمده از لامپ‌های

<sup>12</sup> Collision Frequency

<sup>13</sup> Electron Density

<sup>14</sup> Plasma Tube

جدول ۱. جزئیات آنتن پلاسمای شبیه‌سازی شده

اندازه	پارامتر آنتن	اندازه	پارامتر آنتن
۰/۳cm	ضخامت کوپلر	۵۹cm	طول لامپ
۱/۲۵cm	ارتفاع کوپلر داخلی	۰,۲۵cm	ضخامت شیشه
۲/۱cm	شعاع کوپلر داخلی	۴,۷cm	ارتفاع کوپلر
۰/۵cm	ضخامت کوپلر داخلی	۳,۳cm	شعاع کوپلر

## ۵. نتایج شبیه سازی

### ۵-۱. شبیه سازی ماده ی پلاسما

همانطور که گفته شد پلاسما محیطی پاشنده و دارای پارامترهای پیچیده است، پس شبیه‌سازی این محیط اولین و مهم ترین گام در شبیه‌سازی آنتن پلاسمایی است. نرم افزار CST Microwave Studio Suite نرم افزاری قوی در حوزه ی آنتن و شبیه‌سازی محیط‌های پیچیده است که برای کار شبیه‌سازی انتخاب شده است. برای شبیه سازی محیط پلاسمایی در این نرم‌افزار از مدلی به نام مدل درود<sup>۱۵</sup> استفاده می‌کنیم. دو پارامتری که این مدل برای شبیه‌سازی نیاز دارد فرکانس پلاسمایی و فرکانس برخورد الکترون‌هاست که نحوه محاسبه آن‌ها در بخش قبلی ذکر شد.

برای شبیه سازی طرح نهایی، با توجه به جریان اعمالی و رابطه (۵)، مقدار چگالی  $6.6 \times 10^9$  الکترون به دست می‌آید. در نتیجه مقدار فرکانس پلاسمایی از رابطه ی (۲) برابر  $46 \times 10^8 \text{ Hz}$  خواهد شد. هم چنین مقدار فرکانس برخورد را برای لامپ فلورسنت  $5 \times 10^7 \text{ Hz}$  در نظر گرفته شده است.

در شکل ۳ نمودار پارامتر پراکندگی  $S_{11}$  این آنتن برحسب dB در رنج فرکانسی صفر تا ۵۰۰ مگاهرتز رسم شده است. این نمودار نتیجه حل‌کننده حوزه زمان<sup>۱۷</sup> برنامه شبیه‌سازی CST Microwave Studio است. بر طبق این شکل، آنتن در فرکانس‌های ۹۵ مگاهرتز و ۲۴۲ مگاهرتز رزونانس دارد که بیانگر عملکرد خوب آنتن در باند VHF است.

الگوی تشعشی<sup>۱۸</sup> آنتن در این دو رزونانس نیز مشابه یکدیگر بوده و شکل ۴ آورده شده است. این الگو شامل الگوهای صفحه  $E$ <sup>۱۹</sup> و صفحه  $H$ <sup>۲۰</sup> است.

برای تایید کار شبیه سازی باید طرح پیاده سازی و تست شود که در بخش ۶ به طور مفصل بیان شده است.

مقدار جریان سطحی به دست خواهد آمد.

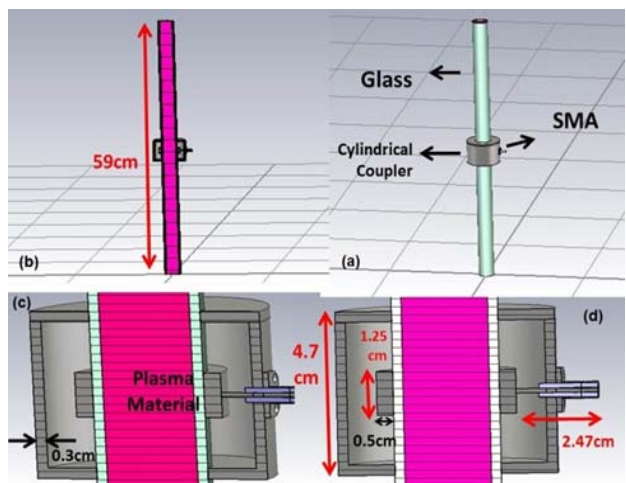
$$I = \frac{P}{V} \quad (۵)$$

$$J = \frac{I}{S} \quad (۶)$$

تنها پارامتر مجهول در این رابطه  $T_e$  می‌باشد. با توجه به مقاله آقای Ka Hong Loo و همکاران چاپ شده در سال ۲۰۰۴ [۲۲] این پارامتر برای لامپ‌های فلورسنت به صورت نموداری برحسب جریان به دست آمده است. به این ترتیب به راحتی می‌توان فرکانس پلاسمایی را به دست آورد. فرکانس برخورد نیز از رابطه (۵) قابل محاسبه بوده و مقدار آن برای لامپ‌های فلورسنت به طور عمومی بین  $10^6 \text{ Hz} < \nu < 10^9 \text{ Hz}$  اندازه‌گیری شده است [۲۲].

حال با توجه به داشتن این دو پارامتر اصلی می‌توان ماده پلاسما را تعریف کرد. با تغییر این پارامترها می‌توان نتایجی را مبنی بر رفتار حدودی آنتن به دست آورد که در بخش بعدی به طور مفصل به آن پرداخته خواهد شد.

افزون بر این، این آنتن‌ها نیاز به یک کوپلر برای انتقال یا دریافت سیگنال بدون تداخل الکترومغناطیسی خواهند داشت. برای لامپ‌های فلورسنت طرح کوپلر استوانه‌ای به علت وجود پوسته محافظ بیرونی که نقش زمین را ایفا می‌کند، طرحی بدون تداخل الکترومغناطیسی و قابل پیاده‌سازی خواهد بود. شکل ۲ تصویری کامل از طرح بالا را نمایش می‌دهد. اطلاعات طرح این آنتن در جدول ۱ آمده است.



شکل ۲. آنتن پلاسمایی شبیه سازی شده با کوپلر استوانه‌ای (a) نمای کلی آنتن (b) نمای بریده شده آنتن برای درک بهتر (c) نمای کوپلر درونی به همراه پوشش بیرونی و ماده‌ی پلاسمای درون لامپ (d) نمای بریده شده کوپلر از روبرو به همراه جزئیات

<sup>15</sup> Drude Model

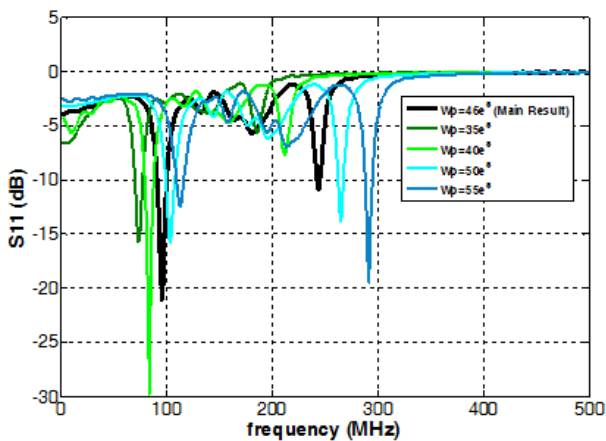
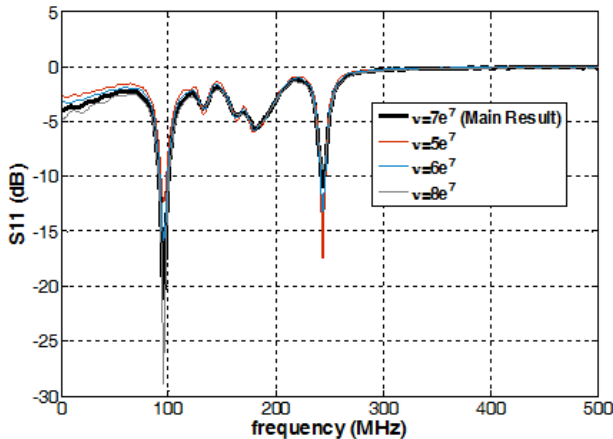
<sup>16</sup> Scattering Parameter

<sup>17</sup> Time-Domain Solver

<sup>18</sup> Radiation Pattern

<sup>19</sup> E Plane

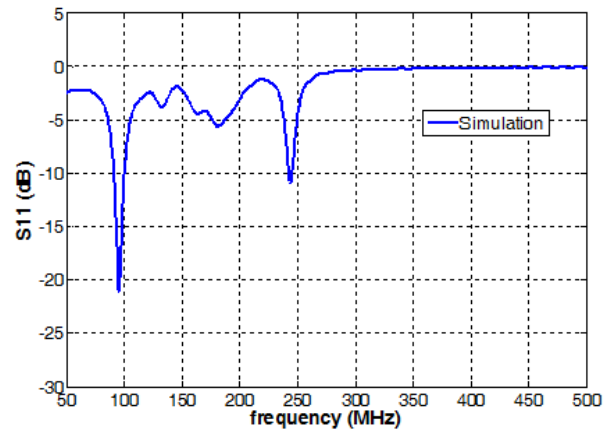
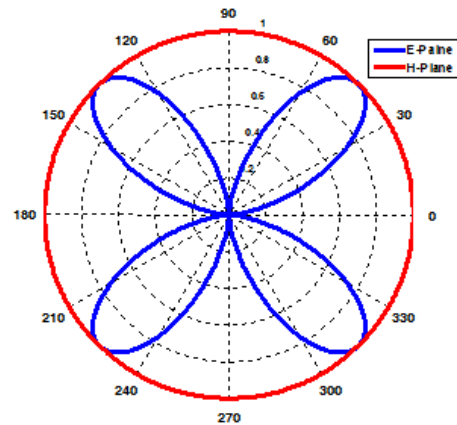
<sup>20</sup> H Plane

شکل ۵. بررسی تغییر فرکانس پلاسمایی روی پارامتر  $S_{11}$  آنتن پلاسماییشکل ۶. بررسی تغییر فرکانس برخورد روی پارامتر  $S_{11}$  آنتن پلاسمایی

برخورد تغییر داده شده است تا نتایج پارامتر  $S_{11}$  بررسی شود. دو مرحله پایین تر از فرکانس برخورد و یک مرحله بالاتر از آن. نتایج در شکل ۶ قابل مشاهده است.

همانطور که در شکل ۶ مشهود است، فرکانس های رزونانس تغییری نیافتند. اما نکته‌ی جالب تغییر اندازه‌ی پارامتر  $S_{11}$  روی فرکانس های رزونانس است. در نتیجه روی همین آنتن ساده می‌توان با تغییر جریان ورودی که منجر به تغییر چگالی الکترون و در نتیجه فرکانس پلاسمایی و فرکانس برخورد می‌شود، رزونانس‌ها را جابجا یا اندازه‌ی پارامتر  $S_{11}$  آن‌ها را تغییر داد که این کار در آنتن‌های فلزی تنها با تغییر طول میسر است. یعنی بدون تغییر و دست‌کاری در ساختار فیزیکی آنتن می‌توان عملکردهای متمایزی از آنتن پلاسمایی گرفت.

به این ویژگی «قابلیت پیکربندی دوباره»<sup>۲۲</sup> نیز می‌گویند. حال برای تایید کارهای خود باید طرح شبیه‌سازی شده، پیاده‌سازی شود

شکل ۳. پارامتر  $S_{11}$  آنتن پلاسمایی شبیه‌سازی شده

شکل ۴. الگوی تشعشعی آنتن پلاسمایی

## ۵-۲. اثر پارامترهای پلاسمای

با مرجع قرار دادن طرح شبیه‌سازی شده خود در بخش قبلی ابتدا پارامتر فرکانس پلاسمایی ( $\omega_p$ ) جاروب<sup>۲۱</sup> می‌شود. مقدار فرکانس پلاسمایی مرجع  $46 \times 10^8 \text{ Hz}$  می‌باشد. در چهار مرحله این مقدار کم و زیاد شده تا نتایج را روی پارامتر  $S_{11}$  بررسی شود. دو مرحله کمتر از مقدار مرجع و دو مرحله بالاتر از آن. نتایج در شکل ۵ آورده شده است.

همانطور که در شکل مشهود است با کم شدن مقدار فرکانس پلاسمایی، فرکانس های رزونانس مرجع به سمت چپ و با زیاد شدن آن این فرکانس ها به سمت راست حرکت می‌کنند. هم چنین هیچ فرکانس رزونانس جدیدی متولد نشده است، فقط اندازه‌ی پارامتر  $S_{11}$  تغییر یافته است.

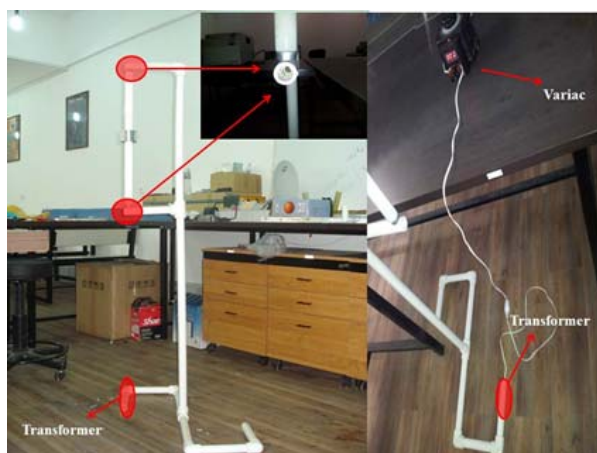
حال پارامتر دوم یعنی فرکانس برخورد ( $v$ ) تغییر داده می‌شود. با توجه به طرح مرجع خود این بار در سه مرحله مقدار فرکانس

<sup>22</sup> Reconfigurability

<sup>21</sup> Sweep



شکل ۸. یونیزاسیون آنتن پلاسمایی



شکل ۹. طرح آنتن پلاسمایی به همراه پایه F شکل



شکل ۱۰. کوپلر استوانه‌ای

## ۶-۲. تغذیه آنتن پلاسمایی

حال که آنتن پلاسمایی یونیزه شد، باید برای دریافت و ارسال سیگنال، آنتن نیاز به یک تغذیه مناسب دارد. بر طبق شبیه‌سازی، یک کوپلر استوانه‌ای به ارتفاع کوپلر  $4/7$  سانتیمتر با شعاع  $3/3$  سانتیمتر و ضخامت ۳ میلیمتر از جنس آلومینیوم مطابق شکل ۱۰ ساخته شده است. برای تغذیه آنتن یک پورت SMA بین استوانه

که در بخش بعد به آن پرداخته شده است.

## ۶. پیاده سازی آنتن پلاسمایی

با توجه به شبیه‌سازی‌های انجام شده در قسمت قبل، حال می‌توان اقدام به ساخت این آنتن با اندازه‌های شبیه‌سازی شده کرد. همان‌طور که در بخش قبل گفته شد، از یک لامپ فلورسنت ۵۹ سانتیمتری با توان ۲۰ وات برای ساخت استفاده شده است. علاوه بر این لامپ، ابزار دیگری نیز برای ساخت احتیاج است که به ترتیب زیر توضیح داده می‌شود. مراحل دریافت و انتقال سیگنال توسط آنتن پلاسمایی ساخته شده به تشریح در زیر آمده است.

### ۶-۱. یونیزاسیون

اولین گام برای انتقال یا دریافت سیگنال، یونیزه کردن لامپ فلورسنت است. برای این کار از دستگاهی به نام واریاک<sup>۲۳</sup> (اتوترانس) استفاده شده است. این واریاک ۰/۲ KVA دارای ورودی ۲۲۰ ولت AC و قابلیت تنظیم ولتاژ خروجی بین صفر تا ۳۰۰ ولت است (شکل ۷).



شکل ۷. واریاک

خروجی این واریاک برای تست روی ۳۰۰ ولت تنظیم و به یک ترانس راه انداز لامپ فلورسنت با استارت ۲۴ وات متصل شده است. سپس خروجی این ترانس به دو سر لامپ فلورسنت و به الکترودهای آن متصل شده و با تنظیم ولتاژ خروجی واریاک، لامپ همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است یونیزه می‌شود.

برای جلوگیری از آشفته‌گی سیم‌ها، ایمنی بیشتر و هم چنین استحکام آنتن، پایه‌ای را به شکل F با لوله‌های آب از جنس پلی کربنات طراحی شده که در شکل ۹ قابل مشاهده است.

<sup>23</sup> Variac

پارامترهای دیگری چون شدت توان ارسالی/دریافتی و قطبی‌شدگی موج به منظور نایل شدن به یک سیستم با کیفیت بالا تاثیر گذار می‌باشد.

مطلب مهم دریافت سیگنال توسط آنتن پلاسمایی در باند VHF است که عملکرد مناسب آنتن پلاسمایی در این باند و تطبیق آن با نتایج شبیه سازی را نشان می‌دهد. این نکته در شکل ۱۲ نشان داده شده است. تست گیرندگی و دریافت سیگنال در ۱۴۰ مگاهرتز انجام گرفته و بازه فرکانسی دستگاه بین ۵۰ تا ۱۵۰ مگاهرتز تنظیم شده است. در این شکل A واریاک، B ترانس ۲۴ وات، C الکترودهای لامپ فلورسنت و D کوپلر سیم پیچی با یک پورت SMA برای دریافت سیگنال نشان داده شده است.

### ۷. نتیجه گیری

روند طراحی و شبیه سازی قدم به قدم آنتن پلاسمایی به همراه کوپلر منحصر به فرد در نرم افزار CST انجام گرفت و نتایج تغییر پارامترها و شبیه سازی نهایی آن بدست آمد. طرح آنتن پیاده سازی شده و نتایج اندازه گیری با شبیه سازی در باند VHF کاملا مطابقت دارد. در طراحی آنتن پلاسمایی می توان با تغییر دو پارامتر اصلی ماده ی پلاسمایی یعنی فرکانس پلاسمایی و فرکانس برخورد، به ترتیب فرکانس رزونانس و اندازه  $S_{11}$  را تغییر داد. در عمل با تغییر جریان اعمالی می توان عملکرد آنتن را بدون دستکاری ساختار آنتن، تغییر داد که این کار در آنتن‌های فلزی با تغییر ساختار همراه است. ساخت این آنتن‌ها نیازمند یک کوپلر مناسب است تا اثرات تداخل الکترومغناطیسی در آن دیده نشود. کوپلر استوانه‌ای طراحی شده در این مقاله علاوه بر تحقق ساختن این اصل، قابلیت پیاده‌سازی راحت-تری نیز دارد. استفاده از آنتن‌های پلاسمایی به صورت آرایه‌ای نیز مزیت بالایی را در جنگ الکترونیک حاصل می‌آورد که به عنوان سر فصلی برای ادامه توسط این گروه تحقیقاتی ارائه خواهد گشت.

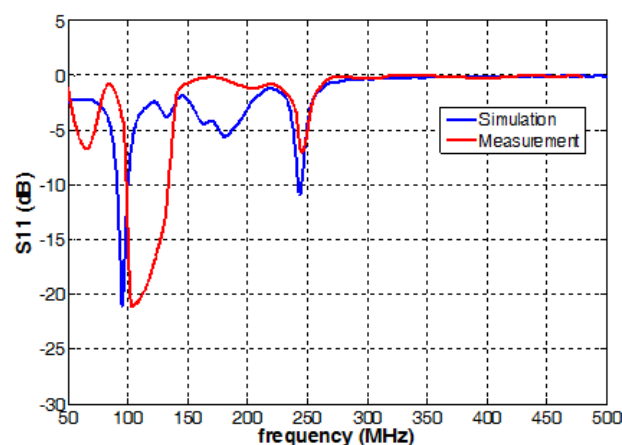
### ۸. مراجع

- [1] Outerbridge, A. E., Jr., "A Fourth State of Matter", Journal of the Franklin Institute of the State of Pennsylvania, vol. 81, 1881.
- [2] Anderson, T., "Plasma Antennas". Artech House, 2011
- [3] Hettinger, J., Us Patent No. 1309031, "Aerial Conductor for Wireless Signaling and other Purposes", 1919.
- [4] Norris, Us Patent No. 5594456, "Gas Tube RF Antenna", 1997.
- [5] Harris, Us Patent No. 6492951, "Plasma Antenna", 2002.
- [6] Rayner, J. P., Whichello, A. Ph., and Cheetham, A. D., "Physical Characteristics of Plasma Antennas", IEEE Transactions On Plasma Science, vol. 32, no. 1, Feb. 2004.

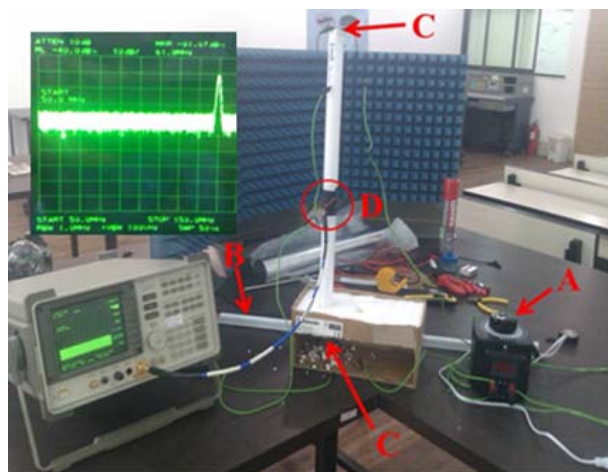
بیرونی و داخلی لحیم شده است.

### ۳-۶. تست آنتن پلاسمایی

بعد از یونیزاسیون و تغذیه آنتن پلاسمایی، همه چیز برای تست آنتن پلاسمایی آماده است. تست این آنتن با دستگاه PNA Microwave Network Analyzer 10MHz-67GHz (Agilent EA361C) انجام شده است. باید توجه داشت که به علت خطا در اندازه‌گیری‌ها و تداخل الکترومغناطیسی مقداری شیفیت فرکانسی در فرکانس‌های رزونانس خواهیم داشت. شکل ۱۱ نتیجه نهایی مقایسه مقدار اندازه گیری شده و شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رفت مقداری شیفیت در فرکانس‌های رزونانس مشاهده می‌شود که ناشی از سیستم اندازه‌گیری کابل‌ها، خطای ساخت و تاثیرات غیر ایده‌آل بودن آن‌ها می‌باشد. به‌طور کلی آنچه که از نتایج بر می‌آید، رزونانس‌های آنتن در فرکانس‌های مورد نظر و کاهش تلفات بازگشتی آن می‌باشد که اولین قدم و شرط لازم از جانب آنتن برای پیاده‌سازی یک سیستم مخابراتی مطمئن می‌باشد. افزون بر آن



شکل ۱۱. نتیجه مقایسه مقدار اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی



شکل ۱۲. تست گیرندگی آنتن پلاسمایی و دریافت سیگنال در ۱۴۰ مگاهرتز

- [15] Sh, X., Li and Hu, B.J., "FDTD Analysis of a Magneto-Plasma Antenna with Uniform or Nonuniform Distribution", IEEE Antennas And Wireless Propagation Letters, Vol. 9, 2010.
- [16] Yin, B., Yang, F., Wang, B. , H. Hao, "Mutual Impedance of Plasma Antennas", 8th International Symposium Antennas, Propagation and EM Theory, 2011, Wuhan, China
- [17] W. Xiao-Po, Sh. Jia-Ming, "Scattering by Two Parallel Plasma Cylinders", IEEE International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT), 2012, Shenzhen, China.
- [18] R. Kumar, and D. Bora, "A Reconfigurable Plasma Antenna", Journal of Applied Physics, 2010.
- [19] L. Wei, Q. Jinghui, L. Shu, S. Ying, "Analysis and Design of Plasma Monopole Antenna", 6th International Conference on Communications and Networking (ICCN), 2011, China.
- [20] H. Ja'afar, M.T. Ali, N.A Halili, H.M. Zali, and A. N Dagan, "Analysis and Design between Plasma Antenna and Monopole Antenna", IEEE International Symposium Telecommunication Technologies (ISTT), 2012, Kuala Lumpur, Indonesia.
- [21] W. Jiayin, Sh. Jiaming, W. Jiachun, and X. Bo. "Study of the Radiation Pattern of the Unipole Plasma Antenna". IEEE International Symposium on Antennas, propagation, and EM Theory, 2006, Guilin, China.
- [22] K.H. Loo, G. J. Moss, R. C. Tozer, D. A. Stone, M. Jinno, and R. Devonshire, "A Dynamic Collisional-Radiative Model of a Low-Pressure Approach to Modeling Fluorescent Lamps for Circuit Simulations". IEEE Transactions on Power Electronics, Vol 19, No.4, 2004.
- [7] Alexeff, I., Anderson, T., Parameswaran, S., Pradeep, E. P., Hulloli, J., and Hulloli, P., "Experimental and Theoretical Results with Plasma Antennas", IEEE Transactions On Plasma Science, Vol. 34, no. 2, Apr. 2006.
- [8] Chung, M., Chen, W., Y. Yu and Z. Y. "Properties of DC-Biased Plasma Antenna", International IEEE Symposium, 21-24 Apr. 2008, Nanjing, China.
- [9] Zhu, A., Chen, Z., Lv, J., Liu, J., "Characteristics Of AC-Biased Plasma Antenna excited by Surface Wave", Journal Of Electromagnetic Analysis And Applications, Vol. 4, pp. 279-284, 2012.
- [10] Russo, P., Primiani, V. M., Cerri, G., De Leo, R., Vecchioni, E., "Experimental Characterization of a Surfaguide Fed Plasma Antenna" IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 59, pp. 425-433, Feb. 2011.
- [11] Mathew, J., Mege, R. A., Gregor, J. A. , Murphy, D. P., Pechacek, R. E., Fernsle, R. F. , and Manheimer, W. M., "Electronically Steerable Plasma Mirror", IEEE International Symposium, 15-18 Oct. 1996, VA, US.
- [12] Yu, Z., Zbang, Z., Zhou, L., Hu, W., "Numerical Research on the RCS of Plasma", 6th IEEE International Symposium of Antennas, Propagation and EM Theory, 2003, Beijing, China.
- [13] Yan1, M., Shao, K. R., Hu, X.W., Guo, Y., Zhu, J. , and Lavers, J. D., "Z-Transform-Based FDTD Analysis of Perfectly Conducting Cylinder Covered with Unmagnetized Plasma", IEEE Transactions On Magnetics, Vol. 43, No. 6, June 2007.
- [14] Luo, F. and Hu, B.J., "FDTD Analysis for Radiated Performance of a Cylinder Plasma Antenna", 8th International Symposium Antennas, Propagation and EM Theory, 2008, Kunming, China.



## Design and Implementation of a VHF Plasma Antenna

P. Darvish\*, B. Zakeri, A. Gorji

\*Babol University of Technology

(Received: 19/05/2014, Accepted: 03/12/2015)

### Abstract

In recent years, the plasma antenna is a new technology for replacing the metal antennas that have been designed with better performance. In the steady state, the radiation pattern of a plasma antenna will be similar to the case of metallic antennas with the same form, size and performance at the same frequency and power. By sweeping the parameters in the plasma tube, we can change the operating frequency without changing in the antenna length. The most of designs have been investigated only on the basis of the practical experiment. In this paper, a step by step procedure is presented for the design and simulation of a plasma antenna and its material. Also, a new design for the coupler shows that in addition to transmit and receiving signal with the inner coupler, there is no electromagnetic interference (EMI) due to the outer shell. Based on the design procedure, the simulation and implementation of the antenna is performed and tested in VHF band. The measurement results are compatible with the simulation excellently.

**Keywords:** Plasma Antenna, Cylindrical Coupler, Electromagnetic Interference, Plasma Frequency, VHF.