مقدمه

سلول امواج الکترومغناطیسی عرضی (TEM Cell) برای اولین بار توسط M.L Crawford در سال ۱۹۷۳ معرفی شد . سلول TEM از یک قسمت خط انتقال مستطیلی و دو قسمت دیگر خط انتقال مخروطی که توسط کانکتورهای کواکسیال در دو طرف بخش مستطیلی به منبع و بار متصل می‌شوند. یک صفحه هادی در داخل سلول قرار دارد که به عنوان هادی مثبت یا خط گرم عمل می‌کند و تیغه نام دارد.

هادی بیرونی به عنوان زمین عمل کرده و امپدانس بخش‌های خط انتقال در سلول TEM ۵۰ اهم است و دهنه خروجی نیز به یک بار تطبیق ۵۰ اهمی خاتمه پیدا کرده، GTEM یک سلول الکترومغناطیسی عرضی ومدل توسعه یافته سلول TEM می‌باشد که در حدود ۲۰ سال پیش طراحی شده است . دامنه فرکانسیGTEM بر خلاف حوزهTEM درحد گیگا هرتز است.

هدف ما ازپژوهش

هدف از این پژوهش طراحی و شبیه‌سازی سلول GTEM به عنوان گزینه منتخب برای انجام آزمون‌های میدان‌های الکتریکی با توجه به محدودیت‌ها و معایب سایر گزینه‌ها می‌باشد. استفاده از GTEM در زمینه اندازه‌گیری EMC و EMI و ارائه پایه علمی برای آینده پژوهی بسیار ضروری است.

جنبه نوآوری در تحقیق

با توجه به مسئله انتشار امواج الکترومغناطیسی ناخواسته از خارج وداخل به سمت دستگاه‌های الکترونیکی مانند موبایل و دستگاه‌هایی که در زیست پزشکی به کار می‌روند به صورت تهدید به شمار می‌آیند. برای تست و ثبات ایمنی این نوع دستگاه‌ها در مقابل تهدیدات الکترومغناطیسی از فن آوری‌های نوینی مانند سلول امواج الکترومغناطیسی عرضی (GTEM CELL) استفاده شده و ما در این تحقیق عمل کرد انواع اتاق های تست را مورد بحث قرار داده ویک نمونه از آن را در محدوده فرکانسی ۱تا ۲گیگا هرتز طراحی و شبیه‌سازی نموده ایم تا به به فنآوری‌های نو ظهور در حوزه فرکانس تا محدوده فرکانس GHZ۲ دست پیدا کنیم.

پیش‌زمینه‌ها، ادبیات و تئوری سلول TEM

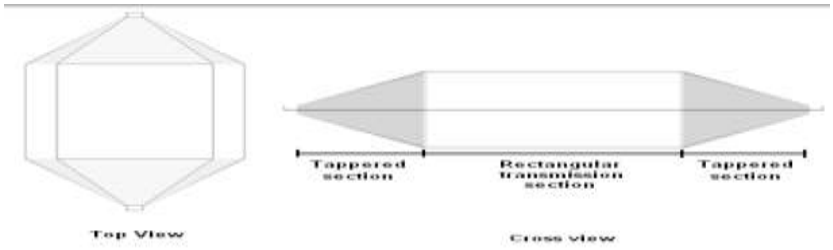
خط انتقال را می‌توان به مدهای مختلف تعریف نمود. خط انتقال واسطی است که می‌تواند انرژی مفید را از یک محل به محل دیگر منتقل نماید .مانند یک سیم، یک کابل کواکسیال، موجبر، می تواند به عنوان ابزار واسط مادی و یا مسیر ساختاری برای انتقال انرژی استفاده گردد. مانند موج‌های EM، سیگنال‌های تلفن همراه، و یا سیگنال‌های رادیویی.

باتوجه به اهمیت تلفن همراه و عدم جایگزینی آن با هر وسیله الکترونیکی بایستی اهمیت نگرانی‌هایی در مورد اثرات تابش تلفن همراه وجود دارد اطلاع رسانی گردد. حداکثر قدرت جذب بافت سر از تابش تلفن همراه، بیان شده در SAR، مجاز توسط FCC ۱٫۶ وات بر کیلوگرم در ۱ گرم است. وقتی اشعه مایکروویو از تلفن همراه ساطع می‌شود، بافت‌های موجود در نواحی سر و گردن بدن انسان آن را جذب می‌کنند. ۵۰ درصد تابش به بافت‌هایی مانند گوش، پوست سر، جمجمه و مغز رسوب می‌کند. برای گسیل تشعشعی و اندازه‌گیری ایمنی از اتاق بدون انعکاس استفاده می‌شود.که در صورت گسیل، توانایی تولید سیگنال‌های واقعی را خواهد داشت . در صورت آزمایش ایمنی، محفظه خلاء می‌تواند میدان‌های EM یکنواخت را فراهم نمود، بنابراین از هر گونه تداخل احتمالی یا توزیع درست جلوگیری می گردد. استفاده از مناطق بزرگ آزمایش برای اندازه‌گیری و انجام آزمایشاتی مانند محفظه غیرخونی یا محل آزمایش منطقه باز (OATS) وقتی نمونه‌های بیولوژیکی بسیار کوچک باشند به اندازه کافی کارآمد نبوده و برای نمونه‌های کوچکتر با حداقل تداخل و انعکاس ناحیه سیگنال EM بیشتر مورد نیاز است. پس یک سلول الکترومغناطیسی عرضی (TEM)، که از یک قسمت انتقال کواکسیال مستطیل شکل مخروطی شکل با اتصالات کواکسیال در هر دو انتهای آن تشکیل شده، می تواند انتخاب مناسب تری باشد.

ادبیات سلول TEM

ما با معرفی مختصری از تحقیقات مربوط به سلول‌های TEM و کاربرد آن آغاز می‌کنیم و در مورد برخی از مزایا و معایب نسبی استفاده از سلول TEM در مقایسه با سایر دستگاه‌ها در مطالعات میدان الکترومغناطیسی و غیره بحث می‌کنیم. سلول انتقال الکترومغناطیسی عرضی (TEM) اولین بار توسط Myron L. Crawford در اداره ملی استاندارد در سال ۱۹۷۳ معرفی شد و نیز در سال ۱۹۷۴، کرافورد دریافت که سیستم‌های الکترونیکی یا الکترومکانیکی در سیستم‌های باز بر روی سطح و تعداد سیگنال های تداخل بالقوه تأثیر گذار خواهد بود.

کرافورد سلول TEM را به عنوان سیستم‌های همسان امپدانس ۵۰ اهم را طراحی کرد. مانند شکل زیر از یک قسمت انتقال کواکسیال مستطیل شکل مخروطی با اتصالات کواکسیال تشکیل شده و طراحی وی به حداکثر رساندن سطح مقطع آزمایشی قابل استفاده، حداکثر رساندن حد بالای فرکانس مفید، به حداقل رساندن عدم تطابق امپدانس سلول یا موج ایستاده ولتاژ و به حداکثر رساندن یکنواختی الگوی میدان میدان مشخصه سلول همراه بود.



سلول TEM ابتدا توسط کرافورد طراحی شد: نمای چپ (چپ) و نمای متقاطع (راست).

یک کاربرد مهم در تحقیقات سلول TEM ، مطالعه امپدانس ورودی یک پروب در سلول TEM است. این مطالعه توسط David C. Chang،Perry F. Wilson و Mark T. MA در سال ۱۹۸۴ ارائه شده است. آنتن‌ها برای تحریک یا اندازه‌گیری میدان EM یا تغذیه سیگنال به تجهیزات الکترونیکی درون سلول TEM قرار می‌گیرند، این امر بر تحریک مد TEMو توزیع میدان درون سلول TEM تأثیر می‌گذارد. برای امپدانس ورودی آنتن پروب که سلول TEM را تحریک می‌کند و این معادلات به عنوان یک آنتن در یک موجبر مستطیل شکل و بر اساس این فرض که شکاف بین هادی داخلی و سپرهای بیرونی از نظر الکتریکی کوچک و کوتاه نسبت به عرض سلول است، گسترش یافته اند. نویسندگان نتایج امپدانس ورودی را در دو مرحله نشان داده اند: اول مشارکت موجبر مستطیلی معمولی و دوم امپدانس آشفته‌ساز شکاف. مرحله مشارکت موجبر مستطیلی معمولی به دلیل وجود پروب عمودی در موجبر مستطیل شکل حاوی پروب، به عنوان فاکتور امپدانس ورودی در نظر گرفته می‌شود.آن ها ادعا می‌کنند وقتی مقدار مقاومت تشعشعی درمد TEM خارج شود، مشارکت اصلی باقیمانده واکنشی خواهد بود و کمتر از خازنی تر از ترم هدایت موج مستطیلی معمولی است. در واقع این یک تقریب ساده برای فرمول‌بندی امپدانس ورودی یک کاوشگر عمودی است. آنچه که مهم است در اینج این، از آنتن مونوپل دو سر استفاده شده که بین فضای آزاد خارج و داخل سلول TEM قرار داده گرفته و باید بدانیم که به چه صورت امپدانس ورودی یک پروب راباید تعیین کرد، که سلول TEM را تحریک کند.

تئوری سلول TEM

سلول TEM یک نوع از موجبر است، نظریه موجبر نیز برای درک کار سلول مورد نیاز است. موجبر، لوله‌های توخالی است، از جمله لوله‌های فلزی، کابل‌های کواکسیال، و یا رشته الیاف شیشه‌ای، که به عنوان رسانا و یا انتقال‌دهنده جهت‌دار برای موج‌های الکترومغناطیسی استفاده شده است. آنها خط تغذیه EM هستند، و آنها معمولاً در ارتباطات ریزموج، پهن باند، و منصوبات راداری استفاده می‌شوند. دو نوع اصلی موجبر اصلی وجود دارد، موجبر مستطیلی و موجبر استوانه ای.

دو مد مشترک در مغناطیس – عرضی (TM) و الکتریک – عرضی (TE) وجود دارد. در مد TM، خطوط مغناطیسی شار، عمود بر محورهای موجبر است. در فرکانس‌های بالاتر از فرکانس قطع جریان، که پایین‌ترین فرکانسی است که در آن موجبر به اندازه کافی بزرگ است، موجبر به خوبی عمل می‌کند.

سلول الکترومغناطیس عرضی یا سلول‌های TEM

سلول انتقال الکترومغناطیس عرضی، که مخفف آن TEM است، ابتدا به وسیلهMyron L. Crawford در National Bureau of Standards در ۱۹۷۳ تعریف شد. او دریافت که سیستم‌های الکترونیک یا الکترومکانیکی در سیستم‌های باز، بر سطح و تعداد سیگنال‌های متداخل بالقوه تاثیر گذار خواهن بود. بنابراین او سلول TEM را برای ایجاد میدان‌های یکنواخت الکترومغناطیسی در محیط محافظت شده به تصویر کشید که در فرکانس پهن باند که محدود به فرکانس چند مده موج راهنمای مربوط به اندازه سلول عمل می نماید.

سلول TEM تشکیل شده از بخش انتقال کواکسیال است که با اتصال دهنده‌های کواکسیال از هر دو سمت مخروطی هستند، که در شکل بالا نشان داده شده است. رسانای داخلی را سپتوم می‌گویند. که به عنوان رسانای مثبت یا خط داغ عمل کرده و رسانای خارجی به عنوان زمین عمل می‌کند. امپدانس در سلول TEM برابر ۵۰ ohms است. بنابراین، یک ۵۰ ohms تطبیق یافته در پورت خروجی پایان می یابد.

امپدانس مشخصه (Zo) سلول TEM به صورت زیر است:

$$Z_0 = \frac{1}{4\left[\frac{a}{b} - \frac{2}{\pi} in\left[\sinh\frac{\pi g}{2b}\right] - \frac{\Delta C}{\varepsilon_0}\right]}$$

فرکانس عرضی (fc) سلول به صورت زیر است:

$$f_C(TE_{mn}) = \frac{c}{2ab}\sqrt{b^2m^2 + a^2n^2}$$

اولین فرکانس شکاف tem به صورت زیر است:

$$f_C(TE_{10}) = \frac{c}{2a}$$

فرکانس مقاومت سلول tem به صورت زیر است :

که در آن lmn طول مقاومت سلول TEM، و p مد خاص موجبر است.

اولین فرکانس رزونانس سلول tem که p برابر ۱ است به صورت زیر نشان داده می‌شود

$$f_{res}(TE_{1,1}) = \sqrt{f_{c1,0}^{2} + \left(\frac{c}{2l_{mn}}\right)^{2}}$$

میدان الکتریکی مناطق تحت آزمون، که میانبر بین طیف و دیوار خارجی است به صورت زیر است :

$$E(l+l') = \frac{1}{b} = \sqrt{\frac{(s_{in}^{2}k_1 + 2s_{in}^{2}k_2 + k_1)Z_o P_{in}}{s_{in}^{2}k_2 + 2s_{in}k_1 + k_2 - 2(s_{in}^{2}-1)e^{2a(l+l')}\cos[\phi_L + 4\pi f(l)/c]}}$$

که در آن

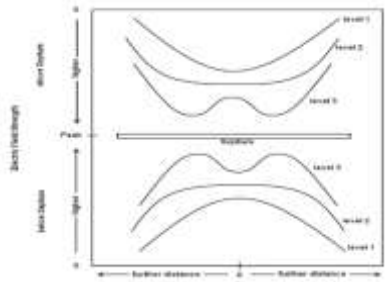
$$S_{in} = \frac{1+|\Gamma_L|e^{-2al}}{1-|\Gamma_L|e^{-2al}}$$

$$k_2 = 1 + e^{4a(l+l')}$$

$$\phi_L = \tan^{-1}\left(\frac{2X_L Z_0}{R_L^{2} + X_L^{2} - Z_0^{2}}\right)$$

که در آن 'l طول موج موقعیت مشاهده شده، Pin نیروی خالص است، که در سلول tem جاری شده، وZL = RL+Jxl امپدانس بار ترمینال است.

$$f_{res}(TE_{mnp}) = \sqrt{f_{cmn}^{2} + \left(\frac{pc}{2l_{mn}}\right)^{2}}$$



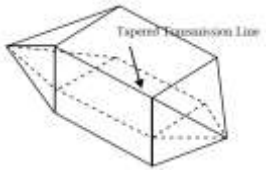
شکل بالا قدرت میدان ایده‌آل برای ارتفاع‌های مختلف بالا و زیر طیف است. در هر سطح مربوطه، هر دو طیف بالا وپایین، نتایج مشابه قدرت میدان به دلیل ماهیت متقارن سیستم است.

اگر موقعیت‌های روی دو دیواره جانبی (راست و چپ) مشابه باشند، قدرت میدان الکتریکی باید به دلیل تقارن مشابه باشد. سطح ۱، از طیف دورتر است، بنابراین قدرت میدان الکتریکی کمتر است. سطح ۲ سطح میانی بین سطح ۱ و ۳ است. سطح ۳ نزدیک‌ترین به طیف است بنابراین میدان الکتریکی بالاترین قدرت را دارد. بنابراین، اگر سطح ازسطح بالاتر است، میدان الکتریکی قوی تر است.

روش تحقیق و مروری بر منابع علمی سلول GTEM

قوانینی به تصویب رسیده است که تمام دستگاه‌ها باید با استانداردهای EMC مطابقت داشته باشند. این کار برای اطمینان از این است که دستگاه‌ها همان‌طورکه در محیط قرار دارند کار می‌کنند و باعث ایجاد اختلالات الکترومغناطیسی نمی‌شوند.معمولا دو نوع آزمایش EMC، میزان گسیل و پذیرندگی وجود دارد: آزمایش گسیل مربوط به تولید ناخواسته انرژی الکترومغناطیسی و به عملکرد مناسب تجهیزات الکتریکی در حضور اختلالات الکترومغناطیسی ناخواسته گفته می‌شود. محفظه‌های آزمایش EMC می‌تواند سلول الکترومغناطیسی عرضی (TEM)، سلول GTEM یا محفظه غیرهوایی باشد. سلول TEM ابتدا در سال ۱۹۷۴ همانطور که در شکل ۳-۱ [۲۷-۲۹] نشان داده شده است، معرفی شده و از آن برای تولید میدان‌های الکترومغناطیسی استاندارد

(EM) با دامنه فرکانس DC (صفر هرتز) تا چندین مگاهرتز در محیط محافظت شده استفاده می گردد. امواج EM تولید شده در سلول در حالت عرضی انتشار می‌یابند . TEM را نمی‌توان از آن در محدوده گیگا هرتز استفاده کرد و با توجه به این واقعیت با افزایش فرکانس کار، اندازه آن کاهش یافته و محدودیتی بر اندازه DUT ایجاد خواهد نمود.



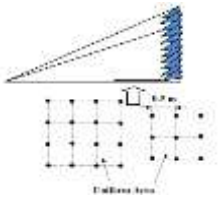
پس برای رفع این مشکل می‌توان از یک نوع سلول TEM، معروف به سلول GTEM، تا محدوده گیگا هرتز استفاده نمود. سلول GTEM یک ساختار خط انتقال است. ساختار سلول GTEM یک بخش مخروطی از خط انتقال مستطیل شکل است. در بخش بار توزیع شده از جاذب‌های RF به عنوان ماده جاذب برای خاتمه موج EM و بار مقاومتی برای خاتمه جریان استفاده می‌شود. در مقایسه با محفظه anechoic، سلول GTEM به فضای کمتری احتیاج داشته و مقرون به صرفه است. علاوه بر این، برای تولید میدان‌های الکترومغناطیسی قوی، هیچ تقویت‌کننده‌ای لازم نیست و از این رو یکنواختی برای آزمایش EMC تا GHz۱ مطابق استاندارد بهتر است.

سلول GTEM و تئوری های آن

سلول GTEM یک موجبر TEM است که حد فرکانس فوقانی آن تا محدوده گیگاهرتز گسترش یافته است. این یک مرکز اندازه‌گیری جایگزین با هزینه کم برای اندازه‌گیری میزان انتشار تابش و ایمنی است. مانند آزمایش EMC در محفظه‌های غیر ایمن یا OATS (سایت‌های منطقه باز)، سلول‌های GTEM دارای مزایای قابل توجهی برای آزمایش EUT EU های کوچک و متوسط (تجهیزات تحت آزمایش) تا دامنه فرکانس ۲۰ گیگاهرتز هستند.

میدان یکنواختی

روش TEM آزمایش انتشار و ایمنی در موجبرهای الکترومغناطیسی عرضی (۲۰-۴-۶۱۰۰۰ IEC مطابق استاندارد اندازه‌گیری یکنواختی میدان را نشان می‌دهد.

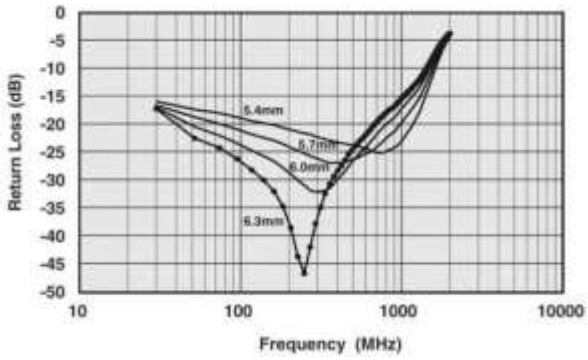


نقاط اندازه‌گیری برای منطقه یکنواخت با شبکه ۱,۵mx۱,۵mx۱,۵m یا ۱x۱x۱m

تعداد امتیازات برای تحقق معیار -۰ دسی بل تا ۶ دسی بل +	نقاط طرح و اندازه‌گیری	ابعاد
۱۲	۴ x ۴ = ۱۶	۱,۵ m x ۱,۵ m
۹	۳ x ۴ = ۱۲	۱,۰ m x ۱,۵ m
۷	۳ x ۳ = ۹	۱,۰ m x ۱,۰ m
۵	۲ x ۳ = ۶	۰,۵ m x ۱,۰ m
۴	۴ + ۱(Center) = ۵	۰,۵ m x ۰,۵ m
۴	۴ + ۱(Center) = ۵	۰,۲۵m x ۰,۲۵ m

عملکرد نظریه جاذب‌های کاشی فریت

ضخامت جاذب‌های کاشی فریت در اینکار ۶,۳ میلی‌متر است که تنظیم شده است تا فازهای نسبی موج بازتابش و مهیج لغو شود. . این نشان می‌دهد که آنها می‌توانند توان RF را در چنین محدوده فرکانسی جذب کنند و بنابراین می‌توانند در برنامه‌های کاربردی در این محدوده فرکانسی مانند سلول GTEM استفاده شوند کاشی‌های فریت بر روی سطوح داخلی GTEM متصل می‌شوند.



تلفات بازگشت معمول در مقابل ضخامت کاشی.

مروری بر روش های مهارکننده حالت

ضرورت دور زدن اشکالات اصلی سلول کرافورد۱ منجر به توسعه سلول GTEM شده است. بخشی از این اهداف با ظهور سلول GTEM که به عنوان یک سایت آزمون جایگزین برای اندازه‌گیری انطباقEMC ظاهر شده است. با این وجود، حداقل به دلایل زیر هنوز جای پیشرفت وجود دارد:

الف) سلول GTEM ذاتاً ناقص است.

ب) حالت‌های ضروری و غیرضروری مرتبه بالاتر در سلول گسترش می‌یابند؛ بنابراین پهنای باند و حجم کار آن را محدود می‌کند.

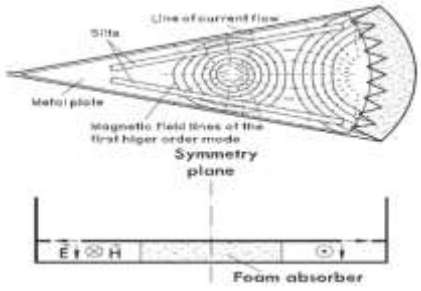
ج) در سلول‌های پوشیده شده از جاذب‌های هرمی، ثابت شده است که به طور کلی در بازتاب‌های فرکانس‌های میانی، به دلیل دی الکتریک اضافی جاذب ها، بازتابی افزایش می‌یابد.

فقط دو روش برای جلوگیری از انتشار حالت‌های TE و TM مرتبه بالاتر در سلول GTEM مناسب است.

[۱] circumvent

الف) رویکرد مهارکننده حالت جاذب دیواری

ب) مهار کننده حالت FRCTEM



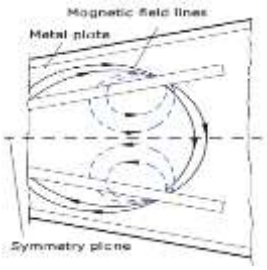
اصل جاذب دیواره. در بالا: خطوط میدان مغناطیسی حالت TE۱۰ در یک سلول با جاذب دیواره و جریان های مربوطه روی صفحه با شکاف. در پایین: عکس فوری از کف سلول که توزیع میدان را در منطقه بین صفحه فلزی و دیواره خارجی فلز سلول نشان می‌دهد.

مهارکننده حالت جاذب دیوار

این اصل روش جاذب کف را نشان می‌دهد، که متشکل از جاذب‌های فرکانس RF، در کف سلول زیر صفحه فلزی با دو شکاف متقارن که در امتداد طولی بریده شده و ازگردش جریان‌های محیطی جلوگیری نموده تا قدرت حالت مرتبه بالاتر از سلول GTEM را با استفاده از اصل جاذب فعال به منطقه جاذب دیواره را جفت نماید. تقارن باعث شده، دو موج مساوی در دو طرف شکاف‌ها نفوذ کنند و امواج از شدت مساوی با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه در فضای بین صفحه و دیواره سلول می‌توانند توسط جاذب قرار گرفته در صفحه تقارن جذب شوند. جذب میدان هم بیشتر از هر چیزی به ویژگی مواد جاذب بستگی داشته اگر جاذب بیش از حد فلزی باشد نتیجه بازتابنده و اگر بار کربن آن بسیار کم باشد، جاذب مانند هوا خواهد بود.

مفهومFRCTEM (ferrite resistors capacitive TEM)

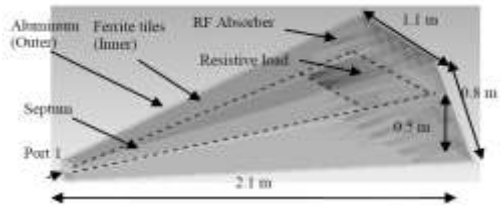
FRCTEM مفهومی مبتنی بر کاشی جاذب فریت بوده و ایده درایو آن بر این یافته استوار در یک سلول با یک دیواره پشتی که فقط با جاذب‌های کاشی فریت پوشانده شده و یک خاتمه متشکل از کاشی‌های فریت فقط عملکرد ضعیف را در انتهای فرکانس پایین به دنبال داشته است. شبکه‌ای متشکل از یک خازن ، به موازات مقاومت عناصر برآمدگی، R، با کاشی‌های فریت ترکیب شده تا یک جاذب باند عریض از فرکانس DC به بالا را ایجاد نماید. زیرا مقاومت عناصر برآمدگی در فرکانس های بالا به اتصال کوتاه مبدل شده تا امپدانس EM ماده جاذب فعال بماند.



تصویر توزیع میدان مغناطیسی حالت TE۱۰ در منطقه کف سلول

طراحی سلول‌هایGTEM

دیواره‌ها و سپتوم یا جداره سلول GTEM به ترتیب از آلومینیوم و مس ساخته شده و سطوح داخلی سلول GTEM با کاشی‌های فریت متصل شده و بخش انتهایی از دو قسمت: شبکه مقاومت (بار مقاومتی) و جاذب‌های RF هرمی تشکیل یافته و انتهای سپتوم ، حجم بار مقاومت وارد شده و به دیواره جاذب‌های هرمی نفوذ کرده تا به دیواره پشتی فلز سلول متصل گردد. سپتوم به طور عمودی روی جاذب RF قرار دارد تا موج TEM حادث شده عمود بر جذب کننده‌های RF گسترش یابند. جذب کننده‌های RF به شکل هرمی از ETS-LINDGREN طراحی می شود.



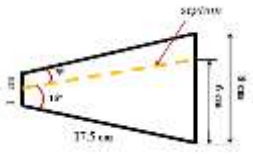
طراحی GTEM Cell پیشنهادی

ساختار CLL پیشنهادی

سال‌های گذشته چندین ساختار فرامادی معرفی شده ،به ویژه سازه‌هایی که می‌توانند دیواره مغناطیسی یا الکتریکی مصنوعی و موانع ایجاد کنند. سلول‌های CLL که توسط ارنتوک و همکاران پیشنهاد شده‌اند. ایجاد هر دو نوعAMC هادی مغناطیسی مصنوعی یاAEC هادی الکتریکی مصنوعی بسته به جهت موج در بهبود میدان الکتریکی و مغناطیسی موثر بوده است. هادی مغناطیسی مصنوعی زمانیکه موج صفحه بر روی شکاف‌های خازنی و موج صفحه از جهت مخالف برخورد کند به عنوان یک هادی الکتریکی مصنوعی عمل می‌نماید. اساساً، الگوی CLAM فرامادی روی سپتوم چاپ شده است تا بتواند به عنوان هادی مغناطیسی مصنوعی عمل کند. ساختار طراحی پیشنهادی در شکل زیر نشان داده شده است.

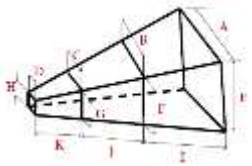
طراحی و ساخت GTEM

مبدأ محفظه الکترومغناطیسی (GTEM) بر اساس محفظه الکترومغناطیسی (TEM) بود که اساساً یک خط انتقال گسترده مسطح است که در حالت TEM کار می‌کند تا یک موج مسطح فضای آزاد را شبیه سازی کند. این موجبر منبسط شده با یک سیم رسانای وسط و پهن و پوشانده شده توسط جاذب امواج الکترومغناطیسی، معمولاً در تجزیه و تحلیل محصولاتی که از نظر جسمی کوچک و فشرده هستند، بخصوص اجزای الکترونیکی استفاده می گردد. فرکانس های پایین فقط درحالت TEM بر روی محفظه منتشر می‌شودو با افزایش فرکانس ، مدهای TE و TM می‌توانند در داخل محفظه اندازه‌گیری شوند. حداکثر فرکانس از اولین رزونانس پایین محاسبه می‌شود که به اندازه و شکل محفظه بستگی دارد. بنابراین، این یک محفظه جدید به نام GTEM می‌شود . یک چالش اساسی در مورد طراحی اتاق GTEM ایجاد اندازه صحیح بخش Apex که در انتقال از کابل کواکسیال ۵۰ Ω (قدرت ورودی) به بدنه محفظه کار می‌کند و طول آن هم ۱۰٪ طول کل محفظه GTEM است.



جزئیات APEX نمای جانبی

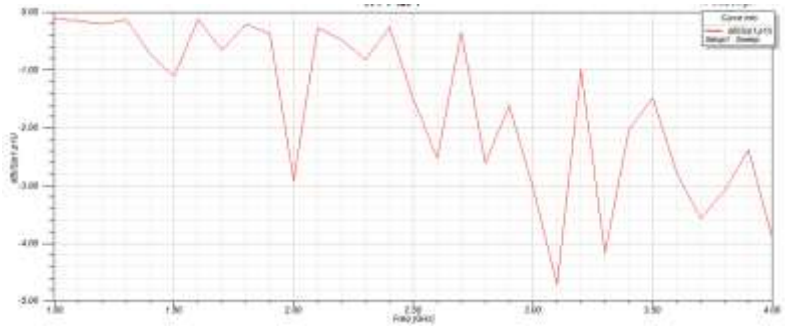
ابعاد GTEM پیشنهادی که K + J + I = ۵۱۰ mm ، A = ۳۰۰ mm ، E = ۲۰۰ mm ، H و D با توجه به ابعاد محاسبه شده APEX.



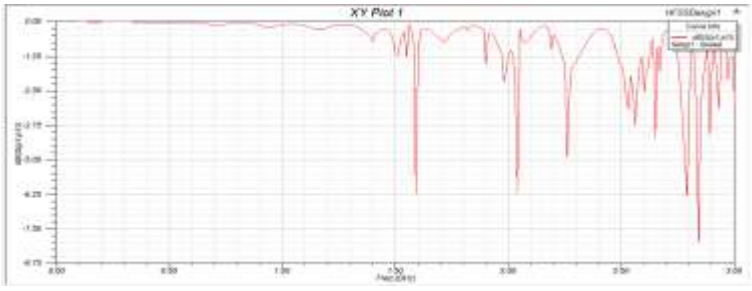
همانطور که GTEM ساخته شده از ورق مسی با ضخامت محدوده یک میلی متر ساخته شده است ، شعاع انحنا نیز روی این محدوده یک میلی متر بوده و می‌توان از ماده برنج هم برای ورقها استفاده نمود. در این طراحی هر کدام از صفحات به صورت مجزا طراحی و مدلسازی شده است.

شبیه سازیGTEM

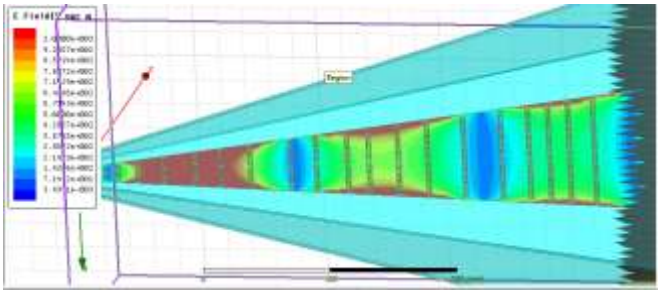
شبیه سازی ها با استفاده نرم افزارHFSS انجام شد. مبتنی بر FEM ، مش بندی ساختار به صورت معمول است. برای اطمینان از توزیع میدان الکترومغناطیسی مناسب ، محیط تجزیه و تحلیل باید حداقل $\lambda / 4$ از تمام سطوح تابش گسترش یابد. با توجه به ابعاد محفظه تعداد زیادی مش به ساختار نسبت داده شد که حافظه محاسباتی بالا و با مصرف زمانی بالا را تحمیل می‌کند. برای یک اتفاق سیگنال RF روی یک پورت، بخشی از سیگنال از آن پورت خارج می‌شود، بخشی از آن پراکنده می‌شود ،بخشی از پورت های دیگر خارج می‌شود و برخی از آن به دلیل گرما یا حتی تابش الکترومغناطیسی ناپدید می گردد. همانطور که محفظه برای کار از ۱ مگاهرتز تا ۴ گیگاهرتز طراحی شده است ، بازده بازگشت برای این محدوده انجام شد و با مقایسه نتایج شبیه سازی شده برای APEX با و بدون تیغه ، می‌توان به وضوح مشاهده کرد در شکل زیر اهمیت سپتوم را بدون سپتوم تلفات بازگشت تقریباً در تمام دامنه فرکانس نزدیک به صفر است. انجیرها ۷ و ۸ توزیع میدان الکتریکی نرمال شده بر روی بدنه و سپتم GTEM را نشان می‌دهد.



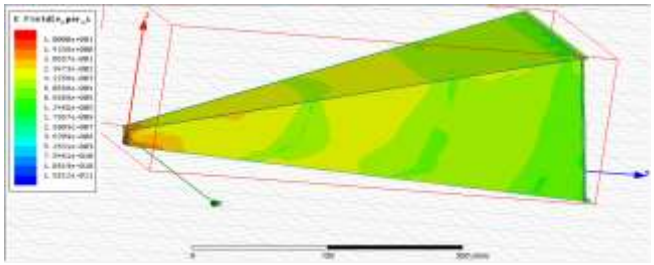
بدون سپتم



با سپتم



نمایش توزیع نرمال میدان الکتریکی بر روی سپتم



نمایش توزیع نرمال میدان الکتریکی بر روی بدنه

برای بهبود عملکرد سپتوم و اطمینان از کارایی بالای محفظه GTEM، انعطاف‌پذیری در یک فرکانس خاص، از فناوری فرامادی برای ساخت هادی های مغناطیسی و الکتریکی مصنوعی استفاده گردید.

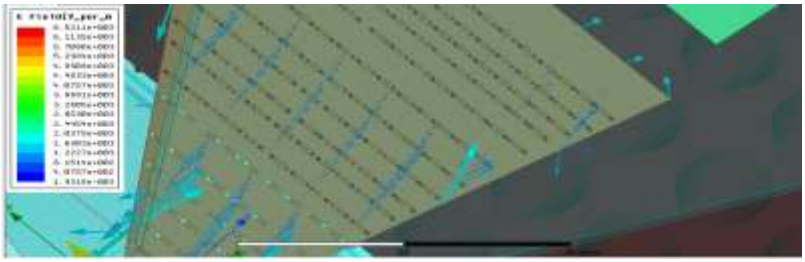
تکنولوژی مواد

مفهوم ماده مصنوعی، که فن آوری فرامادها را تعریف می‌کند، توسط راجر ام. والسر ، در سال ۱۹۹۹ ، در مورد کامپوزیت های ماکروسکوپی با معماری سلولی ترکیبی و تناوبی، ساخته شد. و در ۲۰ سال گذشته، با تحقیقات در مورد superlens و محیط مخابراتی ، از جمله برنامه‌های انتقال خط و آنتن ، علاقه به فن آوری فرامادها افزایش پیدا کرده است. در واقع، فراماده ترکیبی ماکروسکوپی از ساختار دوره ای یا غیر دوره ای است که عملکرد آن هم به دلیل ساختار سلولی و ترکیب شیمیایی است. بنابراین، رفتار یک ماده ، در حضور یک میدان الکتریکی ، توسط پارامترهای ماکروسکوپی ، گذردهی ε و نفوذپذیری μ تعیین می گردد. سلول‌های اساسی از یک تشدید کننده حلقه[۲] (RR) یا حلقه بارگذاری خازنی[۳] (CLL) در تشدید کننده حلقه شکاف[۴] (SRR) یا تشدید کننده های مکمل[۵] (CSRR) ، سلول‌های فراکتال و توپولوژیهای Jerusalem-Cross-Pair تشکیل شده است.

ساختار CLL

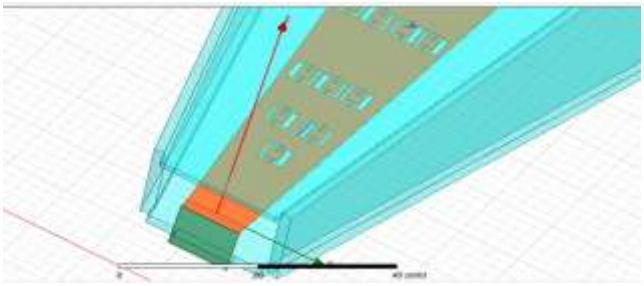
سلول‌های CLL توسط ارنتوک و همکاران پیشنهاد شده‌اند. ایجاد هر دو نوع AMC (هادی مغناطیسی مصنوعی) یا AEC (هادی الکتریکی مصنوعی) بسته به جهت موج رخداد سیگنال، بهبود میدان الکتریکی و مغناطیسی امکان پذیر است. زمانی که موج هواپیما بر روی شکافهای خازنی برخورد کند هادی مغناطیسی مصنوعی ایجاد شده وماننند یک هادی الکتریکی مصنوعی عمل می‌کند. این رفتار را می‌توان در شکل زیر مشاهده کنید.

[۲] Ring Resonator
[۳] Capacitively Loaded Loop
[۴] Split Ring resonator
[۵] Complementary Split Ring Resonator



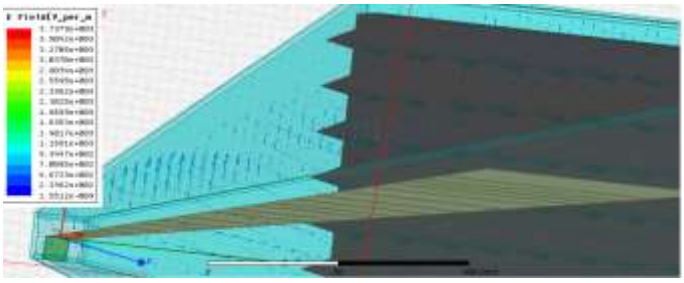
نمایش جهت گیری برداری میدانی

الگوی CLAM فراماده ای بر روی سپتوم چاپ شده تا بتواند به عنوان هادی مغناطیسی مصنوعی عمل کند. ساختار طراحی شده در شکل زیرنشان مشاهده می گردد.



سلول‌های Jerusalem-Cross-Pair پیشنهادی روی سپتوم چاپ شده است

در قسمتی که سلول‌های فلزی روی یک لایه دی الکتریک رسوب می‌کنند ، موقعیت AMC انتخاب شده و به جای سلول‌های فلزی ، سپتوم با ساختارهای توخالی CLL پر می‌شود.



نمایش جهت گیری میدانی الکتریک بر روی بدنه

این کار، از سلول‌های فرامادی استفاده شده و به عنوان یک رسانای مغناطیسی مصنوعی (AMC) عمل می‌کنند. این استراتژی حتی جوشکاری الکتریکی یا مغناطیسی را بهبود بخشیده و هادی مغناطیسی مصنوعی هنگامی ایجا که موج صفحه سپتم بر روی شکافهای خازنی برخورد کند و هنگامی که موج صفحه از جهت گردیده که با مخالف برخورد کنند و مانند یک هادی الکتریکی مصنوعی عمل می‌کند. این ایده توسط ارنتوک و همکاران ارائه شده است.

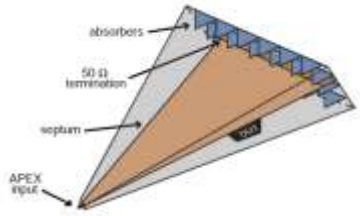
و اما ایده اصلی ما استفاده از الگوی فرامادی برای بهبود عملکرد سپتوم در یک محدوده فرکانسی خاص است. الگوی فرامادها به منظور انجام نقش هادی مغناطیسی مصنوعی بر روی سپتم چاپ گردیده است. با شبیه سازی های عددی می‌توان رابطه واقع بینانه تری بین فرکانس و ابعاد سلول را بدست آورد:

$$L = \frac{\lambda_0}{10}, \delta = \frac{L}{6}, l = \frac{\delta}{2}$$

گزینه‌های مختلفی برای پر کردن سلول‌های فرامادی تجزیه و تحلیل داخل سپتم مانند گرافیت، آلومینا وجود دارد ولی سلول‌های خالی بر اساس مقاله گزینه مناسب تری بوده و هزینه کمتری را دارند.

در بسیاری از موارد، مدارهای مجتمع و سیستم های الکترونیکی علت اصلی تداخل در تجهیزات الکترونیکی دیگران هستند. EMC سازگاری الکترومغناطیسی و توانایی کار ایمن در محیط الکترومغناطیسی عدم دخالت و حساسیت توسط سایر منابع تداخل است. در این زمینه ، کار EMC در حال افزایش تقاضا می باشد.

تنظیمات شامل سلول‌های TEM / GTEM، حلقه مغناطیسی، پروب مغناطیسی، قفس فارادی [۶]، سایت آزمون منطقه باز (OATS) است. دامنه فرکانس ، از ۱ مگاهرتز -۴ گیگاهرتز ، GTEM | محفظه الکترومغناطیسی دارای مزایایی نسبت به تنظیمات آزمایش دیگر است. یک محفظه GTEM ، که برای آزمایش EMI و EMS دستگاه‌ها و سیستم‌های الکترونیکی استفاده می‌شود، دارای یک وروق نازک فلزی است که سپتوم می نامیم تا تابش دستگاه تحت آزمایش را انجام دهد. شبیه یک خط انتقال کواکسیال مستطیل شکل با هادی‌های بیرونی بسته و بهم متصل، سلول TEM دارای انتهای جاذب مخروطی است که به عنوان انتقال برای انطباق با اتصال دهنده کواکسیال استاندارد عمل می‌کند. رسانای مرکزی سلول انتشار الکترومغناطیسی را در حالت TEM فراهم می‌کند. شکل زیر یک سلول GTEM را نشان می‌دهد. در این کار، به منظور دستیابی به تنظیم بهتر در یک فرکانس مورد نظر ، یک الگوی فرامادی به سپتوم (هادی داخلی) محفظه GTEM اعمال می‌گردد.



محفظه GTEM - آرایش داخلی

نتیجه گیری

در این تحقیق دستورالعمل های ساده طراحی برای اتاق GTEM ارائه شد. مفاهیم فرامادی منظور بر روی سپتوم، انعطاف‌پذیری طراح را برای تنظیم محفظه در یک محدوده فرکانسی موردنظر و از قبل محاسبه شده اضافه می‌کند. با این هدف، ممکن است مشکلات دور زدن مربوط به اندازه محدود محفظه به وجود آید.

بر اساس نتایج ما، الگوی CLL علاوه بر الگوی فراکتال، با توجه به اینکه همه سلولها برای پاسخ بهتر در ۲/۶۴ گیگاهرتز طراحی شدهاند. با این حال، اگرچه ساختارهای آرایه ای نتایج مربوطه را برای این کاربرد خاص نشان نداده اند، اما ترکیب این ساختار با ساختار دیگر پاسخ های رضایت بخشی را ارائه می دهد.

هدف اصلی این کار بررسی به روش پیشگامانه ، مقدماتی و اکتشافی رفتار APEX و در نتیجه GTEM در هنگام حکاکی سپتوم توسط ساختارهای سلولی تناوبی بود. و این مظلب دستورالعمل های طراحی برای محاسبه دستی سلول‌های اندازه را نشان می‌دهد که با در نظر داشتن این قوانین اساسی، طراح می تواند از شرایط ابتدایی مقاوم برای اهداف شبیه سازی جلوگیری کند و اتلاف وقت کاهش یابد.

در این تحقیق با کمک تکنیکهای طراحی پیشنهاد شده توانسته ایم ضمن فیلترینگ فرکانس های مختلف و تحت استاندارد با ایجاد حکاکی های منظم روی سپتم به یک تکنولوژی بهینه تحت استاندارد های خواسته شده دست یافته و ما توانسته ایم به فیلترینگ فرکانس نسبت به محدوده ۲۰ مگاهرتزی، بالای ۲۰دسی بل رسیده و جدول زیر این نسبت فیلترینگ را برای فرکانسهای تیون برای ساختارهای مختلف نمایش می‌دهد.

مقایسه فیلترینگ کارهای انجام شده.

[۶] Workbench Faraday Cage

فیلترینگ (db)	سال انتشار	مقالات
۲۱	۲۰۱۵	[۴۷]
۱۳/۹۷	۲۰۲۰	[۴۸]
۱۵	۲۰۱۷	[۴۹]
۱۹/۷	۲۰۲۰	[۵۰]
۲۲/۵	---	این کار

پیشنهادات

برای ادامه کار پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد.

- ❖ استفاده از فراموا‌د دیگر برای فضای توخالی برای بهبود عملکرد سپتوم.
- ❖ بهره گیری از توپولوژی های دیگر ساخت و حکاکی روی سپتوم برای ایجاد فرکانس های عملیاتی دیگر.
- ❖ جایگزینی فلزی برای ماده بدنه و عایق برای ماده جاذب و تغییر شکل مخروطی ترمینال انتهایی.