



طراحی و شبیه‌سازی یک دیپلکسر موج سطحی با استفاده از سطوح امپدانس تانسوری ولانچر CPW-Fed

مجتبی میقانی^{۱*}، رسول کرد^۲

^{۱*}دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، microwave@ssau.ac.ir

^۲دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری

چکیده

در این مقاله یک دیپلکسر جدید بر مبنای تغییرات زاویه شکست در هنگام ورود موج سطحی از یک سطح امپدانس اسکالر به یک سطح امپدانس تانسوری ارائه شده است. در این ساختار یک سطح امپدانس مصنوعی در کنار یک سطح امپدانس تانسوری به همراه سه عدد لانچر برای تحریک موج سطحی استفاده شده است. برای دست‌یابی به دیپلکسر، ساختار به نحوی با استفاده از تکنولوژی مدار چاپی طراحی شده است که با تغییرات زاویه شکست در هنگام ورود از سطح اسکالر به تانسوری بتوان به یک دیپلکسر ریزموجی دست یافت. همچنین از ۳ عدد لانچر برای تحریک موج سطحی بر روی سطح و دریافت آن استفاده شده است. نتایج اندازه‌گیری در دو باند ۱۸/۴ گیگاهرتز و ۲۱/۶ گیگاهرتز نشان می‌دهد که این ساختار دارای تلفات عبوری به ترتیب ۴/۵ و ۵/۱ دسی‌بل و ایزولاسیون به ترتیب ۳۶/۶ و ۴۰ دسی‌بل می‌باشد. نتایج بدست آمده از مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی تلفات ساختار و ایزولاسیون از تطابق بسیار خوبی برخوردار هستند. از سوی دیگر صحه‌گذاری بر روی امکان تحقق دیپلکسر موج سطحی یکی از مهمترین نتایج این مقاله است.

واژگان کلیدی

موج سطحی
سطح امپدانس تانسوری
سطح امپدانس اسکالر
دیپلکسر

۱- مقدمه

مبتنی بر نیمه‌هادی، نسبت به ترکیب‌کننده‌ها و تقسیم‌کننده‌ها کارا تر خواهد نمود.

مالتی‌پلکسرها در مقایسه با تقسیم‌کننده‌ها و ترکیب‌کننده‌های توان دو مزیت عمده دارند. اول اینکه تضعیف ذاتی آن را ندارد و دوم اینکه می‌تواند بین دهانه‌های خود ایزولاسیون ایجاد کند [۴]. این عمل مالتی‌پلکسرها را در گیرنده‌های چند کاناله به شدت کارا می‌کند. همچنین می‌توان یک دیپلکسر را با یک سیرکولاتور نیز مقایسه نمود. این مقایسه نتیجه می‌دهد، به دلیل اینکه دیپلکسر بطور همزمان در دو کانال مجزا قابل کار است، می‌تواند در بسیاری از کاربردها از سیرکولاتور مناسب‌تر باشد.

روش طراحی دیپلکسرها معمولاً بر مبنای اتصال دو فیلتر با دو فرکانس عبور متفاوت به وسیله یک اتصال تی به یکدیگر می‌باشد. در این روش، مهمترین مشکل آن است که هر فیلتر در باند عبور فیلتر دیگر باید اتصال باز باشد. دو

دیپلکسرها یکی از المان‌های سه دهانه‌ای جذاب در سیستم‌های ریزموجی هستند. یکی از کاربردهای مهم این قطعات، اتصال هم‌زمان فرستنده و گیرنده‌ای با دو فرکانس متفاوت به یک آنتن می‌باشد [۱]. به عبارتی یک دیپلکسر می‌تواند دو کانال فرکانسی را ترکیب و یا از یکدیگر جدا نماید. وقتی نیاز به ترکیب یا جداسازی بیش از دو کانال فرکانسی داریم، یک مالتی‌پلکسر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. به عبارتی مالتی‌پلکسرها و دیپلکسرها عملکردی شبیه ترکیب‌کننده‌ها و تقسیم‌کننده‌های توان دارند با این تفاوت که برخلاف آنها ترکیب‌کننده‌ها و تقسیم‌کننده‌ها فقط در یک فرکانس قابل استفاده هستند و توانایی مالتی‌پلکس فرکانسی را ندارند [۲]- [۳]. این رفتار، استفاده از دیپلکسرها را در تقویت‌کننده‌های توان پهن‌بند

روش برای طراحی دیپلکسرها وجود دارد. یکی معمولاً بر مبنای بهینه‌سازی یک تابع خطا و اصلاح پاسخ دیپلکسر می‌باشد که فرآیندی زمان بر است [۵-۶] و دیگری روش‌های تحلیلی مبتنی بر طراحی دو فیلتر مجزا و ماتریس تزویج است [۷-۸].

از لحاظ روش ساخت، دیپلکسرها معمولاً بصورت فناوری مدارچاپی [۷-۱۱] و موجبری [۱۲-۱۳] ساخته می‌شوند. در [۷-۹] مالتی پلکسرها بر مبنای SIW ساخته شده‌اند. مزیت عمده این دیپلکسرها مبتنی بر مدارات چاپی، سادگی ساخت و هزینه کم و امکان ترکیب با قطعات فشرده مداری است. از سوی دیگر ساخت دیپلکسرها بوسیله موجبرها امکان دستیابی به تلفات عبوری پایین و ضریب‌های کیفیت بالا را فراهم می‌کند [۱۲-۱۳]. به عنوان نمونه در [۱۳] دیپلکسر موجبری با تلفات عبوری نوعی ۰/۳۹ دسی‌بل و ضریب حذف بسیار بالا ارائه شده است. همچنین به دلیل توان قابل تحمل بالا، دیپلکسرها موجبری با وجود مشکلات ساخت، در فرستنده‌ها بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

اخیراً با استفاده از سطوح امپدانس تانسوری ساختاری ارائه شده است که می‌تواند برای طراحی یک دیپلکسر بر مبنای امواج سطحی مورد استفاده قرار گیرد [۱۴-۱۶]. ساختار ارائه شده با کنار هم قرار دادن یک سطح امپدانس اسکالر و یک سطح امپدانس مصنوعی بدست آمده است. در این ساختار موج سطحی بر روی سطح امپدانس اسکالر تحریک شده و به‌طور عمود بر مرز سطح امپدانس تانسوری می‌تابد. به دلیل وقوع پدیده شکست، موج با یک زاویه شکست مشخص وارد سطح تانسوری می‌گردد. در [۱۴] تغییرات زاویه شکست بر حسب فرکانس موج سطحی مدل‌سازی شده است. سپس روش ارائه شده بر روی یک ساختار نمونه که بوسیله تکنولوژی مدارچاپی ساخته شده است بررسی گردیده است. در ساختار بررسی شده در بازه فرکانسی ۱۵/۷۵-۱۵/۱ گیگاهرتز زاویه شکست بین ۰ تا حدود ۹ درجه تغییر می‌کند. همچنین در [۱۵] تلفات موج سطحی در این نوع از ساختار که شامل سه تلف اهمی و دی الکتریک موج سطحی، تلف عدم تطبیق و تلفات تبدیل مدی می‌باشد، مدل‌سازی گردیده است. بوسیله این مدل‌سازی و روابط ارائه شده می‌توان برای دیپلکسر ارائه شده پارامترهای پراکندگی و تلفات عبوری را محاسبه نمود. در این مقاله از این ایده برای ارائه یک دیپلکسر موج سطحی با ساختار جدید بر مبنای سطوح امپدانس امپدانس تانسوری استفاده شده است. روش پیشنهادی، استفاده از تغییر زاویه شکست بر حسب فرکانس برای جداسازی دو کانال فرکانسی موج ورودی است. لذا ابتدا به کمک یک لانچر موج سطحی که می‌تواند شامل هر دو کانال فرکانسی باشد را بر روی سطح امپدانس اسکالر (SIS) تحریک کرده و موج به صورت عمودی به مرز یک سطح امپدانس تانسوری (TIS) برخورد می‌کند. حال متناسب با فرکانس هر کانال با یک زاویه شکست وارد

سطح امپدانس تانسوری شده و دو کانال از یکدیگر جدا می‌شوند. در انتها این دو موج سطحی با استفاده از دو لانچر از روی سطح امپدانس تانسوری دریافت می‌شود.

مهمترین مزیت این ساختار، تغییر پیوسته زاویه شکست موج سطحی بر حسب فرکانس است که می‌تواند با جابجایی محدود لانچر، فرکانس کانال‌های دیپلکسر را در صورت نیاز در باند فرکانسی کاری تا حد محدودی تغییر داد و یا تنظیم نمود.

یکی از مهمترین چالش‌ها در زمینه استفاده از سطوح امپدانس، تحریک و اندازه‌گیری موج سطحی بر روی این سطوح است. ساده‌ترین روش آزمایشگاهی استفاده از پروب‌های هم‌محور در کنار سطح بصورت عمودی و افقی برای تحریک به ترتیب موج TM و TE است [۱۷]. این روش تست موج سطحی بر سطوح امپدانس به دلیل بازده پایین و همچنین انتشار موج در همه جهات برای یک قطعه ریزموجی منجر به افزایش تلفات عبوری قطعه خواهد شد و عملاً قابل استفاده نیست. این روش تنها در مواقعی کاربرد دارد که بخواهیم موج بر نحوه عملکرد یک سطح و یا یک ساختار صحنه‌گذاری نماییم و مقدار خالص توان دریافتی بر روی سطح مد نظر نباشد. به عنوان مثال در [۱۴] برای صحنه‌گذاری بر تغییرات فرکانسی زاویه شکست که بوسیله تئوری مدل‌سازی شده، با نرمالیزه کردن تلفات مورد استفاده قرار گرفته است.

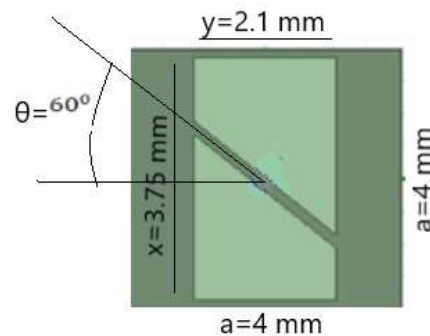
تنها راه عملی برای استفاده از سطوح امپدانس در المان‌های ریزموجی استفاده از لانچرهای موج سطحی است [۱۸-۲۴]. این لانچرها می‌توانند موج سطحی را با بازده بالا بر روی سطح تحریک نمایند. مهمترین مشکل استفاده از یک لانچر نیاز به زیرلایه با ضریب گذردهی الکتریکی نسبی بالا است که انتخاب زیرلایه لانچر را محدود و اغلب بسیار گران می‌نماید. به عنوان مثال برای دستیابی به بازده تزویج بالای ۹۰٪ در تئوری نیاز به ضریب گذردهی الکتریکی نسبی بالاتر از ۱۰ وجود دارد [۲۳-۲۴]. در [۱۸-۱۹] یک ساختار لانچر موج سطحی با استفاده از CPW^۱ به نحوی ارائه شده است که دارای بازده و باند فرکانسی مناسب باشد. در این مقاله از این ساختار پیشنهادی به عنوان پایه برای طراحی لانچرهای مورد نیاز استفاده شده است.

۲- طراحی سطح امپدانس

برای داشتن یک سطح امپدانس غیرهمسانگرد که قابلیت اقناء یک پهنای‌بند وسیع را دارا باشد، از یک سلول با لایه خازنی غیرهمگن [۳] با ابعاد سلول a برابر ۴ میلی‌متر و لایه نازک فلزی روی زیرلایه برابر با: x برابر

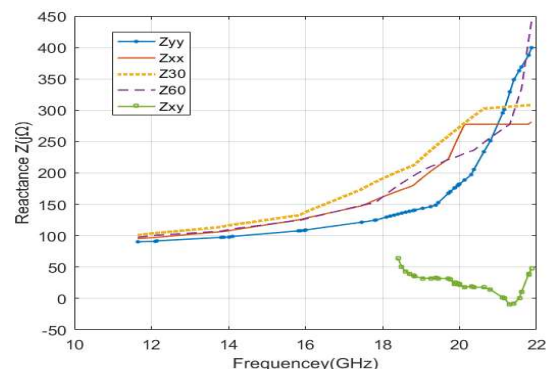
^۱ - Coplanar waveguide

۳/۷۵ میلی‌متر و y برابر ۲/۱ میلی‌متر و زاویه انقطاع لایه نازک برابر ۶۰ درجه استفاده می‌گردد.



شکل (۱): نمایی از سلول غیرهمسانگرد با زیرلایه RO_{4003} زمین شده به ضخامت $0.813/\epsilon_r$ و ϵ_r برابر ۳/۵۵.

سلول غیرهمگن پیشنهادی بر روی زیرلایه RO_{4003} زمین شده در نرم‌افزار desktop Ansys Electronic برای دو مد ویژه TE و TM و زوایای انتشار ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه شبیه‌سازی گردیده و شبیه‌سازی پاشندگی سلول برای دو مد حاصل به صورت شکل ۲ می‌باشد. با توجه به نمودار پاشندگی، حاصل از سلول شکل ۱ برای چهارزاویه ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه فرکانس‌های قطع مد TM به ترتیب برابر است با: ۱۰/۱۲ گیگاهرتز، ۱۱/۶۲ گیگاهرتز، ۱۱/۶۴۷ گیگاهرتز و ۱۰/۱۴ گیگاهرتز. همچنین فرکانس‌های قطع مد TE به ترتیب برابر است با: ۲۷/۱۹ گیگاهرتز و ۲۹/۲۸ گیگاهرتز و ۲۱/۹۱ گیگاهرتز. بنابراین باتوجه به فرکانس‌های قطع بدست آمده برای چهار زاویه فوق، پهنای باند فرکانسی که سلول در مد TM و در تمام جهتها اثناء می‌کند برابر است با: ۱۱/۶۴۷ گیگاهرتز الی ۲۱/۹۱ گیگاهرتز.



شکل (۲): نمودار تغییرات امپدانس درایه‌های تانسور TIS سلول غیرهمسانگرد برحسب فرکانس

در نهایت به ازای هر فرکانس سلول غیرهمسانگرد بیانگر یک سطح امپدانس تانسوری با ویژگی شکست زاویه‌ای امواج سطحی متفاوت خواهد

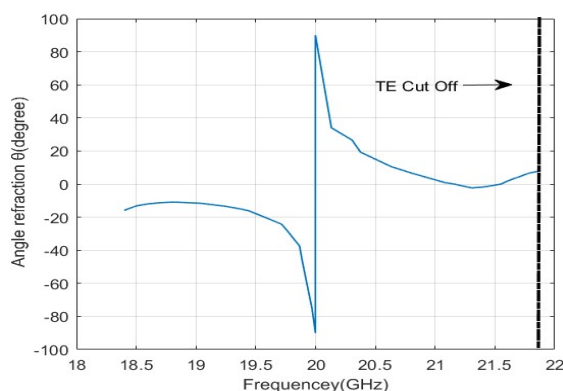
بود. به عبارت دیگر سطح امپدانس تانسوری به ازای هر فرکانس به خاطر داشتن ویژگی امپدانس متفاوت باعث ایجاد زاویه شکست متفاوت می‌گردد [۴].

برای سلول شکل ۱ نمودار حاصل برای پهنای باند فرکانسی مذکور برحسب زاویه شکست به ازای جواب قابل قبول معادله درجه ۳ در مرجع [۷] به صورت شکل ۳ است. همان‌طور که در نمودار شکل ۳ مشخص می‌باشد، زاویه شکست امواج سطحی بر روی سطح امپدانس تانسوری سلول طراحی شده برحسب فرکانس‌های متفاوت، متغییر می‌باشد. به عبارت دیگر امواج سطحی با فرکانس معین برحسب زاویه شکست تفکیک گردیده است. به طور مثال برای منحنی امواج سطحی با فرکانس ۱۹/۷ گیگاهرتز دارای زاویه شکستی برابر با ۲۳/۸۹ درجه خواهد داشت. لذا با محاسبه تانژانت زاویه و عرض سطح امپدانس تانسوری نقطه تقریبی انتشار امواج سطحی با فرکانس ۱۹/۷ گیگاهرتز حاصل می‌گردد و با قراردادن لانچر با تغذیه CPW در نقطه مذکور خروجی با فرکانس مورد نظر حاصل خواهد شد.

در ادامه، هدف طراحی سلول، برای ساخت یک سطح اسکالر می‌باشد [۴] بطوری که با قرارگیری آن در کنار سطح امپدانس تانسوری بهترین تطبیق امپدانس را ایجاد نماید. با استفاده از رابطه زیر [۳]:

$$Z_{xx}Z_{yy} - Z_{xy}Z_{yx} = \eta^2 \quad (1)$$

که شرط تطبیق امپدانس دو سطح مجاور تانسوری و اسکالر می‌باشد. در رابطه ۲، η برابر است با امپدانس سطحی تانسور امپدانس اسکالر یا $\bar{\eta} = \begin{pmatrix} \eta & 0 \\ 0 & \eta \end{pmatrix}$. برای طراحی سلول اسکالر مرتبط سطح امپدانس تانسور نکات قابل توجه عبارت است از: اثناء پهنای باند سطح امپدانس تانسوری، تطبیق امپدانس با سطح تانسوری و دارا بودن مشخصات فیزیکی یکسان سلول همسانگرد با سلول غیرهمسانگرد (نوع زیرلایه، لایه نازک فلزی، ضخامت زیرلایه).



شکل (۳): نمودار زاویه شکست امواج سطحی بر روی سطح TIS برحسب فرکانس.

غالب TM که فقط در راستای محورهای اصلی منتشر می‌شوند به مد TE تبدیل می‌گردد. در نتیجه به دلیل عدم پشتیبانی مد TE از موج سطحی در فرکانس ناحیه تک مد سطح، بخش تبدیل شده از روی سطح امپدانس تانسوری بصورت موج انتشاری تشعشع یافته و این امر باعث کاهش توان می‌گردد. رابطه (۲) مقدار تلفات ناشی از تبدیل مد را ارائه می‌کند.

$$L_{MT} = \left(1 - \left[Z_0^2 + Z_{xy}^2 - Z_{yy}Z_{xx} + jZ_0(2Z_{xy} \cos 2\theta + (Z_{yy} - Z_{xx}) \sin 2\theta) \right] \right)^{-1} \times \left[2(Z_0^2 + Z_{xy}^2 - Z_{yy}Z_{xx}) \cos 2\theta + 4Z_0Z_{xy}(Z_{xx} - Z_{yy}) \sin 2\theta + (Z_{xx} - Z_{yy})^2 \right] \quad (2)$$

همچنین به دلیل استفاده از دو سطح امپدانس متفاوت مجاور یکدیگر و به علت عدم تطبیق امپدانس کامل و یکسان در تمام فرکانس‌ها، مقداری از موج سطحی منعکس و در نتیجه تلف خواهد شد [۹]. این تلفات از رابطه (۳) قابل محاسبه است.

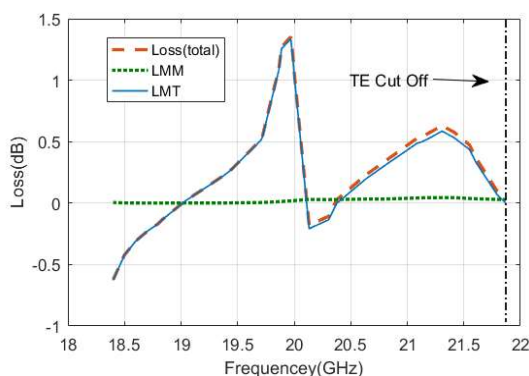
$$L_{MM} = 1 - |\Gamma|^2 \quad (3)$$

$$\Gamma = \frac{\eta - \sqrt{Z_{xx}Z_{yy} - Z_{xy}^2}}{\eta + \sqrt{Z_{xx}Z_{yy} - Z_{xy}^2}} \quad (4)$$

در روابط فوق ضریب Γ برابر است با ضریب انعکاس موج سطحی در مرز ناحیه اتصال سطح امپدانس اسکالر و تانسوری و L_{MM} نیز برابر با میزان تلف ایجاد شده در اثر عدم تطبیق امپدانس دو محیط است. حال برای تلفات کل می‌توان نوشت:

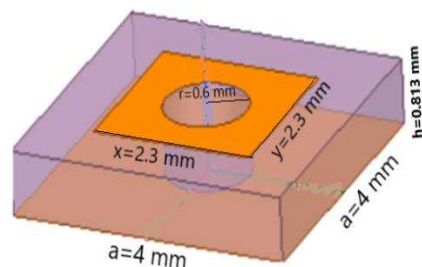
$$Loss_{Surf} = L_{MT} + L_{MM} \quad (5)$$

در رابطه فوق $Loss_{Surf}$ مجموع تلفات ناشی از عدم تطبیق امپدانس سطح و تبدیل مد موج سطحی می‌باشد. در شکل ۶ تلفات کل برای ساختار ارائه شده محاسبه و ترسیم شده است.

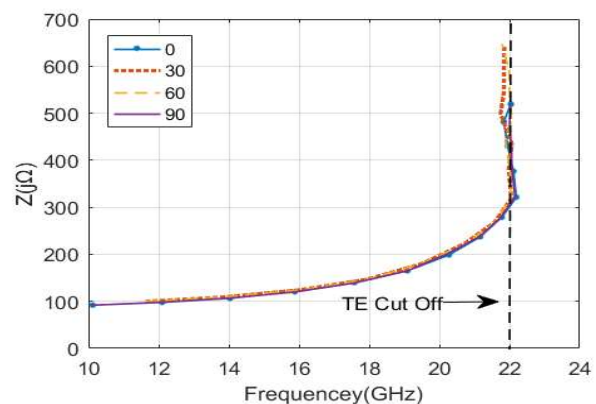


شکل (۶): نمودار تلفات دیپلکسر

با توجه به موارد فوق سلول قارچی به دلیل داشتن پهنای باند فرکانسی بالا با زیرلایه RO4003 استفاده گردیده است. همانند سلول قبلی با شبیه-سازی سلول قارچی در نرم‌افزار Ansys Electronic desktop برای دو مد TE و TM برای زوایای انتشار ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه، نمودار پاشندگی سلول برای دو مد بصورت شکل ۵ می‌باشد. با توجه به نمودار پاشندگی شکل ۵ حاصل از سلول شکل ۴ برای چهار زاویه ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه، فرکانس‌های قطع مد TM به ترتیب برابر است با: ۲۸/۸۶ گیگاهرتز، ۲۸/۷۱ گیگاهرتز، ۲۸/۷۰ گیگاهرتز و ۲۸/۸۶ گیگاهرتز. بنابراین با توجه به فرکانس‌های قطع بدست آمده برای چهار زاویه فوق، پهنای باند فرکانسی که سلول در مد TM در تمام جهات اقصاء می‌کند برابر است با: ۱۱/۶۴۵ گیگاهرتز الی ۲۸/۷۰ گیگاهرتز.



شکل (۴): نمایی از سلول همسانگرد با زیرلایه زمین شده



شکل (۵): نمودار تغییرات امپدانس سلول همسانگرد قارچی برحسب فرکانس

در نهایت پهنای باند فرکانسی مشترک دو سطح امپدانس اسکالر و تانسوری برابر است با ۱۱/۶۴۷ گیگاهرتز الی ۲۱/۹۱ گیگاهرتز.

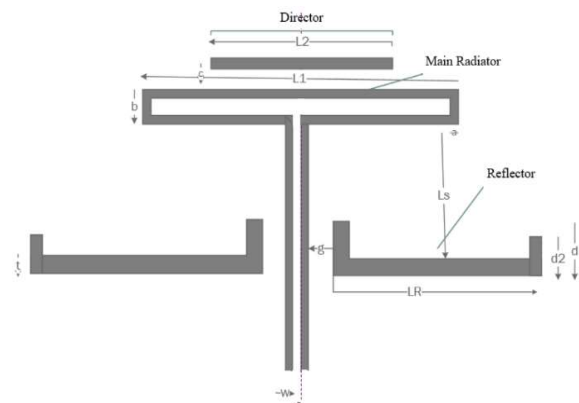
سطوح امپدانس تانسوری دارای قابلیت اقنای همزمان مدهای هایبریدی (ترکیب همزمان مدهای TM و TE) می‌باشند [۲]، لذا هنگامی که امواج سطحی به صورت موب سطح امپدانس تانسوری منتشر می‌شود به واسطه نبود تقارن هندسی و پشتیبانی از این مدها، بخشی از امواج سطحی مد

۳- طراحی لانچر CPW-Fed

ابعاد هندسی لانچر CPW-Fed مورد نظر مطابق مراجع [۵ و ۱۰] در جدول ۱ طراحی و ارائه شده است. همچنین برای لانچر از زیرلایه Rogers LM ۶۰۱۰/۶۰۱۰ با ضخامت ۰/۸۱۳ و ثابت گذردهی الکتریکی نسبی ۱۰/۲ و تانژانت تلفات ۰/۰۰۲۳ و امپدانس ۵۰ اهم مدنظر قرار گرفته است.

جدول ۱: مربوط به ابعاد لانچر تغذیه CPW برحسب میلی‌متر

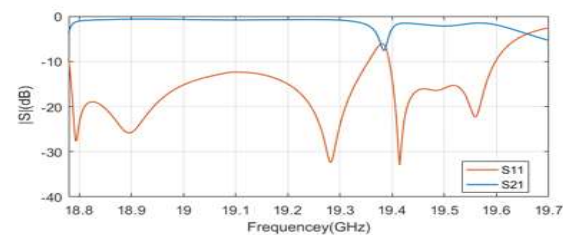
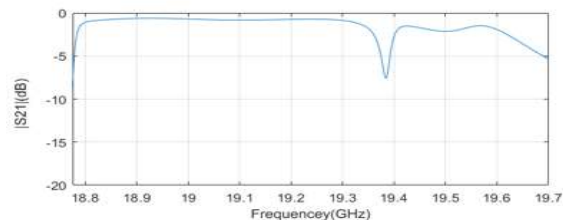
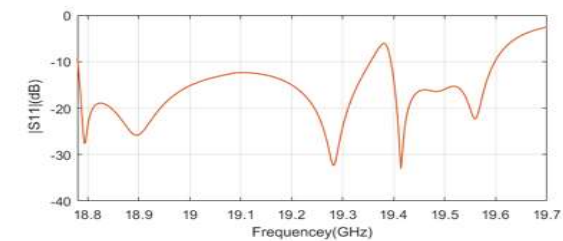
G	a	B	c	W	S	N
۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۶	۰/۶۴	۲	۲
T	d _۲	L _۱	L _۲	L _R	L _S	D
۱/۶	۰/۱	۱۸	۱۰/۵	۱۰/۵	۳/۵	۳



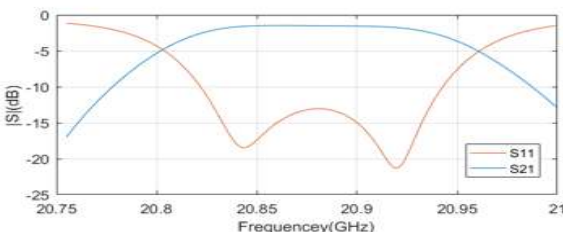
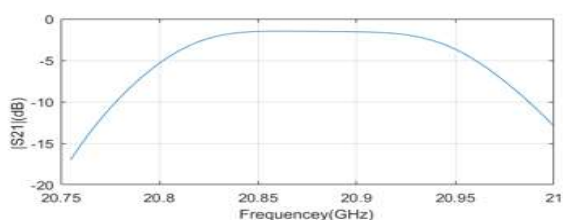
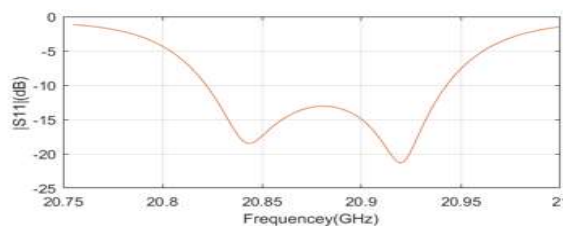
شکل (۷): لانچر CPW برپایه ترکیبی از بازتاب‌کننده-جهت‌دهنده

در شکل ۷ طول سر آنتن لانچر؛ L_1 طول جهت‌دهنده آنتن؛ L_R طول بازوی بازتاب‌کننده، L_S فاصله بین بازتاب‌کننده و سر آنتن؛ d تطبیق‌کننده بازوی آنتن؛ t پهنای بازتاب‌کننده؛ g فاصله بین بازوی آنتن؛ d از شیار W ؛ S پهنای فاصله بین دو شیار؛ W پهنای شیار؛ a پهنای شیار آنتن؛ b فاصله بین دو شیار سر آنتن؛ c فاصله بین شیار سر آنتن و شیار جهت‌دهنده.

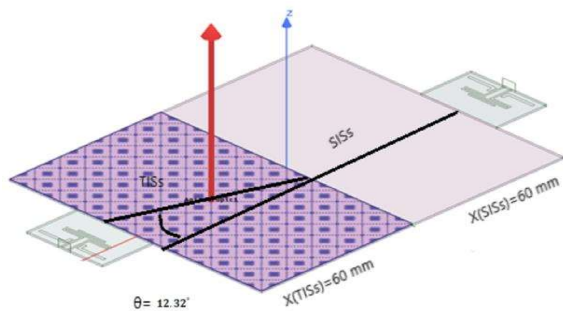
نمودارهای شکل ۸ مربوط به نتایج بدست آمده از لانچر ترکیبی بازتاب‌کننده-جهت‌دهنده در فرکانس مرکزی ۱۰ گیگاهرتز می‌باشد. در این لانچر بیشترین تزویج روبه جلو برابر ۰/۶۳۲ دسی‌بل و پهنای باند امپدانسی تقریباً ۱ گیگاهرتز با محدوده فرکانسی ۱۸/۷۷ گیگاهرتز الی ۱۹/۷ گیگاهرتز می‌باشد.



شکل (۸): نمودارهای اندازه S_{11} و S_{21} محدوده فرکانسی اول لانچر



شکل (۹): نمودارهای اندازه S_{11} و S_{21} محدوده فرکانسی دوم لانچر



شکل (۱۱): دیپلکسر با ابعاد ۱۰۰ در ۱۲۰ میلی‌متر مربع

در این دیپلکسر شرایط امپدانس اسکالر برابر با:

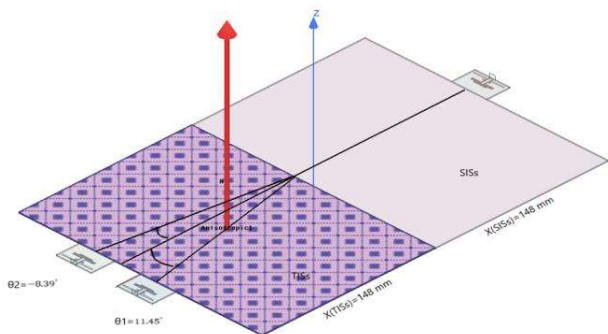
$$SIS = j \begin{pmatrix} 166.1973 & 0 \\ 0 & 166.1973 \end{pmatrix} \Omega \quad (7)$$

و همچنین تانسور سطح امپدانس تانسوری به صورت زیر:

$$TIS = j \begin{pmatrix} 197.351 & 39.269 \\ 39.269 & 144.929 \end{pmatrix} \quad (8)$$

می‌باشد. همانطور که از شکل ۱۳ مشاهده می‌گردد، با شبیه‌سازی سطح امپدانی با فرکانس مرکزی ۱۰ گیگاهرتز با تغذیه امواج سطحی ۱۹/۲ گیگاهرتز الی ۱۹/۰۴ گیگاهرتز از طریق لانچر ورودی، سمت سطح امپدانی اسکالر SISs و همچنین لانچر ورودی از سمت سطح امپدانس تانسوری، بیشترین مقدار توان حاصله در سطح امپدانی تانسوری در زاویه ۱۲/۳۲- درجه بدست می‌آید.

در ادامه از سه لانچر برای تحقق دیپلکسر استفاده گردید. در این شبیه‌سازی ابعاد دیپلکسر عبارت است اندازه یک ورق ۲۹۶ در ۲۰۸ میلی‌متر مربع و همچنین ابعاد سطح اسکالر و تانسوری مذکور برابر ۱۴۸ در ۲۰۸ میلی‌متر مربع می‌باشد. همچنین لانچر با مشخصات جدول ۲ با ابعاد ۳۰ در ۴۰ میلی‌متر مربع برای شبیه‌سازی بکارگرفته شده است.



شکل ۱۲: دیپلکسر با ابعاد ۲۹۶ در ۲۰۸ میلی‌متر مربع

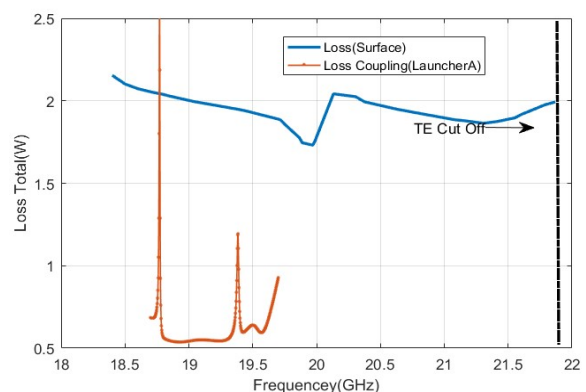
در این دیپلکسر شرایط امپدانس اسکالر برابر با

$$SISs = j \begin{pmatrix} 163.625 & 0 \\ 0 & 163.625 \end{pmatrix} \Omega \quad (9)$$

برای ادامه کار دو لانچر را روبروی هم قرارداده و کوپل نمودن و مقایسه میزان S_{21} و S_{11} نسبت تلفات ناشی از تزویج هر لانچر بدست خواهد آمد [۱۱-۱۲]. بطور مثال برای لانچر طراحی شده در محدوده ۱۸/۷۷ گیگاهرتز الی ۱۹/۷ گیگاهرتز بطور متوسط به ازای هر لانچر به میزان ۱/۵ دسی‌بل تلف دارد.

$$Loss\ coupling_{\gamma_1} = \frac{1 - S_{21}}{2} \quad (6)$$

در بخش قبل میزان تلفات به واسطه عدم تطبیق و تغییر مد بطور مجزا و تلف مجموع محاسبه شده و نمودار شکل ۱۰ درباره ۱۸/۴ گیگاهرتز الی ۲۱/۶ گیگاهرتز رسم گردید. در این بخش مجموع دو تلف فوق به اضافه تلف تزویج لانچر محاسبه گردیده‌است.

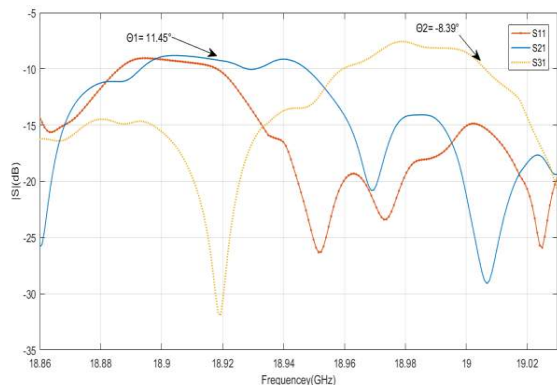


شکل (۱۰): نمودار تلفات توان ناشی از تزویج لانچر و دیپلکسر

با توجه به نمودار شکل ۱۰ بیشترین تلفات قطعه دیپلکسر در محدوده فرکانس‌های کاری لانچرها، ناشی از تغییر مد (L_{MT}) امواج سطحی می‌باشد.

۴- طراحی و شبیه‌سازی دیپلکسر

در این بخش یک دیپلکسر موج سطحی با ابعاد ۱۲۰ در ۱۰۰ میلی‌متر مربع به طوری که سطوح امپدانس تانسوری و اسکالر هر دو با اندازه یکسان ۱۰۰ در ۶۰ میلی‌متر مربع می‌باشد. همچنین لانچر با مشخصات جدول ۱ با ابعاد ۳۰ در ۴۰ میلی‌متر مربع برای شبیه‌سازی بکارگرفته شده است [۱۴]. با استفاده از لانچر در محدوده فرکانسی (۱۹/۵۷) گیگاهرتز الی ۱۹/۵۳ گیگاهرتز) مکان دو لانچر مطابق شکل ۱۱ خواهد بود.



شکل ۱۴: نمودار شبیه‌سازی دیپلکسر با زاویه شکست ۸/۳۹- درجه برای لانچر گیرنده دوم و با زاویه شکست ۱۱/۴۵ درجه برای لانچر گیرنده اول

نتیجه‌گیری

در این مقاله یک دیپلکسر موج سطحی بر مبنای تغییرات زاویه شکست بر روی یک سطح امپدانس تانسوری ارایه شده است. این ساختار جدید از قرار گرفتن یک سطح امپدانس اسکالر در کنار یک سطح امپدانس تانسوری ساخته شده است. همچنین از ۳ عدد لانچر برای تحریک موج سطحی بر روی سطح و دریافت آن استفاده شده است. نتایج بدست آمده از مدل‌سازی ریاضی و شبیه‌سازی تلفات ساختار و ایزولاسیون از تطابق بسیار خوبی برخوردار هستند. از سوی دیگر صحت‌گذاری بر روی امکان تحقق دیپلکسر موج سطحی یکی از مهمترین نتایج این مقاله است.

مراجع

- [۱] LEO Yang, Microwave filters-۱۹۶۵ Mattaei
- [۲] K.R. Bushore, W.L. Teeter, A Variable-Ratio Microwave Power Divider and Multiplexer, IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques (Volume: ۵, Issue: ۴, October ۱۹۵۷) ۲۲۷ - ۲۲۹ DOI: ۱۰/۱۱۰۹/TMTT.۱۹۵۷/۱۱۲۵۱۵۴
- [۳] E.G. Cristal, G.L. Matthaei, A Technique for the Design of Multiplexers Having Contiguous Channels, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (Volume: ۱۲, Issue: ۱, Jan ۱۹۶۴) Page(s): ۸۸ - ۹۳ DOI: ۱۰/۱۱۰۹/TMTT.۱۹۶۴/۱۱۲۵۷۵۶
- [۴] L.J. Ricardi, A Diplexer Using Hybrid Junctions, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (Volume: ۱۴, Issue: ۸, Aug ۱۹۶۶) Page(s): ۳۶۴ - ۳۷۱ DOI: ۱۰/۱۱۰۹/TMTT.۱۹۶۶/۱۱۲۶۲۷۶
- [۵] Rui Wang, Jun Xu, Synthesis and design of microwave diplexers with a common resonator junction, ۲۰۱۲ International Conference on Microwave and Millimeter

و همچنین تانسور سطح امپدانس تانسوری به صورت زیر:

$$TISs = j \begin{pmatrix} 192.466 & 32.05 \\ 32.05 & 143.582 \end{pmatrix} \Omega$$

می‌باشد. همان‌طور که از شکل ۱۴ مشاهده می‌گردد، با شبیه‌سازی دیپلکسر با تغذیه امواج سطحی (۱۸/۸۷ گیگاهرتز الی ۱۹/۰۳ گیگاهرتز) از طریق لانچر ورودی سمت سطح امپدانس اسکالر SISs و همچنین لانچر ورودی از سمت سطح امپدانس تانسوری بیشترین مقدار توان نرمالیزه مشترک برابر ۹/۲۶- دسی‌بل برای فرکانس ۱۸/۹۲ گیگاهرتز مربوط به لانچر گیرنده اول و ۹/۲۷- برای فرکانس ۱۹/۰۱ گیگاهرتز مربوط به لانچر گیرنده دوم که در سطح امپدانس تانسوری با زاویه شکست ۱۱/۴۵ درجه برای لانچر گیرنده اول و با زاویه شکست ۸/۳۹- درجه برای لانچر گیرنده دوم اثناء می‌گردد.

ماتریس پراکندگی شبکه سه پورتی یا دیپلکسر عبارت است از:

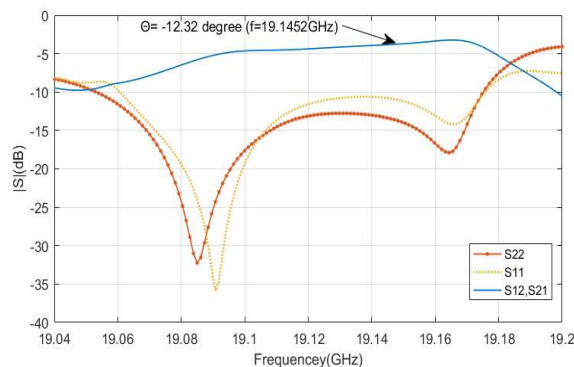
$$S = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{21} & S_{31} \\ S_{12} & S_{22} & S_{32} \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} \end{pmatrix} \quad (۱۰)$$

برای ۱۸/۹۲ گیگاهرتز ماتریس فوق برای لانچر گیرنده اول با زاویه شکست ۱۱/۴۵ درجه عبارت است از:

$$S = \begin{pmatrix} -9.72 & -9.26 & -31.92 \\ -9.24 & -9.24 & -28.54 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} dB \quad (۱۱)$$

برای فرکانس ۱۹/۰۱ گیگاهرتز ماتریس فوق برای لانچر گیرنده دوم با زاویه شکست ۸/۳۹- درجه عبارت است از:

$$S = \begin{pmatrix} -14.99 & -27.05 & -9.72 \\ 0 & 0 & 0 \\ -9.27 & -15.53 & -12.81 \end{pmatrix} dB \quad (۱۲)$$



شکل ۱۳: نمودار شبیه‌سازی دیپلکسر با محدوده فرکانسی ۱۹/۰۴ گیگاهرتز الی ۱۹/۲ گیگاهرتز و زاویه شکست ۱۲/۳۲- درجه.

- Waveguide Quadruplet Diplexer for Multi-Beam Satellite Applications IEEE Access (Volume: 8) Page(s): 110116 – 110128 16 June 2020 DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3002818
- [14] Mojtaba Mighani; Gholamreza Dadashzadeh Analytical Study and Experimental Verification of the Refraction Angle as a Function of Frequency Due to Surface Waves Incident Onto a Tensor Impedance Sheet IEEE Transactions on Antennas and Propagation (Volume: 67, Issue: 7, July 2019) Page(s): 4642 – 4649 DOI: 10.1109/TAP.2019.2905779
- [15] Mojtaba Mighani Gholamreza Dadashzadeh Analytical study and experimental verification of the surface wave loss on a tensor impedance surface Microwave and Optical Technology Letters Volume 61, Issue 12 December 2019 Pages 2879–2880
- [16] Mojtaba Mighani, Gholamreza Dadashzadeh Analytical study of surface wave multiple refraction in boundary of a scalar impedance surface with a tensor impedance surface International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering Volume 30, Issue 1 January 2020
- [17] D. Sievenpiper et al., “High-impedance electromagnetic surfaces with a forbidden frequency band,” IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol. 47, pp. 2059–2074, no. 11, Nov. 1999.
- [18] Symon K. Podilchak; Al P. Freundorfer; Yahia M. M. Antar Surface-Wave Launchers for Beam Steering and Application to Planar Leaky-Wave Antennas IEEE Transactions on Antennas and Propagation (Volume: 57, Issue: 2, Feb. 2009) Page(s): 355 – 363 DOI: 10.1109/TAP.2008.2011248
- [19] Symon K. Podilchak; Al P. Freundorfer; Yahia M. M. Antar Planar Surface-Wave Sources and Metallic Grating Lenses for Controlled Guided-Wave Propagation IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters (Volume: 8) Page(s): 371 – 374 DOI: 10.1109/LAWP.2009.2013488
- [20] F. Mesa; C. di Nallo; D.R. Jackson The theory of surface-wave and space-wave leaky-mode excitation on microstrip lines IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (Volume: 47, Issue: 2, Feb 1999) Page(s): 207 – 215 DOI: 10.1109/22.744296
- [21] Symon K. Podilchak; Al P. Freundorfer; Yahia M. M. Antar Planar Leaky-Wave Antenna Designs Offering Conical-Sector Beam Scanning and Broadside Radiation Wave Technology (ICMMT) 5–8 May 2012 Shenzhen, China DOI: 10.1109/ICMMT.2012.6230019
- [6] Milad Sharifi Sorkherizi, Abbas Vosough, Ahmed A. Kishk, Per-Simon Kildal, Design of integrated diplexer-power divider, 2016 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS) 22–27 May 2016 San Francisco, CA, USA DOI: 10.1109/MWSYM.2016.7504014
- [7] Kaijun Song, Senior Member, IEEE, Jiachen Yao, Yuxuan Chen, Yifang Zhou, Balanced Diplexer Based on Substrate Integrated Waveguide Dual-Mode Resonator, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques (Volume: 68, Issue: 12, Dec. 2020) Page(s): 5279 – 5287 DOI: 10.1109/TMTT.2020.3010968
- [8] Jin-Xu Xu, Wan-Li Zhan, Hui-Yang Li, and Xiu Yin Zhang, Switchable Diplexer Based on Coupling Control IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs (Volume: 68, Issue: 1, Jan. 2021) Page(s): 166 – 170 DOI: 10.1109/TCSII.2020.3003913
- [9] Anton Sieganschin; Thomas Jaschke; Arne F. Jacob, A Compact Diplexer for Circularly Polarized 20/30 GHz SIW-Antennas 2020 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium (IMS) 4–6 Aug. 2020 Los Angeles, CA, USA DOI: 10.1109/IMS30.076/2020.9223900
- [10] Li Yang; Roberto Gómez-García; José-María Muñoz-Ferreras; Runqi Zhang Input-Reflectionless Low-Pass Filter on Multilayered Diplexer-Based Topology IEEE Microwave and Wireless Components Letters (Volume: 30, Issue: 10, Oct. 2020) Page(s): 945 – 948 DOI: 10.1109/LMWC.2020.3017252
- [11] Yan-Mei Xue; Lian Yang; Jin-Xu Xu; Xiao-Lan Zhao; Xiu Yin Zhang Wideband Diplexer With Narrow Channel Spacing Using Hybrid Bandpass-Bandstop Structures IEEE Access (Volume: 8) Page(s): 137783 – 137788 DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3012348
- [12] Giuseppe Macchiarella; Gian Guido Gentili; Luciano Accatino; Vittorio Tornielli di Crestvolant A Synthesis-Based Design Procedure for Waveguide Duplexers Using a Stepped E-Plane Bifurcated Junction 2020 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium (IMS) 4–6 Aug. 2020 Los Angeles, CA, USA DOI: 10.1109/IMS30.076/2020.9223923
- [13] Javier Ossorio García; Juan Carlos Melgarejo Lernas; Santiago Cogollos; Vicente E. Boria; Marco Guglielmi

Using Surface-Wave Launchers IEEE Antennas and
Wireless Propagation Letters (Volume: ۷) DOI:
۱۰/۱۱۰۹/LAWP.۲۰۰۸/۹۱۹۳۲۶

[۲۲] Marko Bosiljevac; Massimiliano Casaletti; Francesco
Caminita; Zvonimir Sipus; Stefano Maci Non-Uniform
Metasurface Luneburg Lens Antenna Design IEEE
Transactions on Antennas and Propagation (Volume: ۶۰,
Issue: ۹, Sept. ۲۰۱۲) Page(s): ۴۰۶۵ – ۴۰۷۳ DOI:
۱۰/۱۱۰۹/TAP.۲۰۱۲/۲۲۰۷۰۴۷

[۲۳] S.F. Mahmoud; Y.M.M. Antar; H.F. Hammad; A.P.
Freundorfer Theoretical considerations in the optimization
of surface waves on a planar structure IEEE Transactions on
Antennas and Propagation (Volume: ۵۲, Issue: ۸, Aug.
۲۰۰۴) Page(s): ۲۰۵۷ – ۲۰۶۳ DOI:
۱۰/۱۱۰۹/TAP.۲۰۰۴/۸۳۲۴۹۸

[۲۴] H.F. Hammad; Y.M.M. Antar; A.P. Freundorfer; S.F.
Mahmoud Uni-planar CPW-fed slot launchers for efficient
TM/sub ۰/ surface-wave excitation IEEE Transactions on
Microwave Theory and Techniques (Volume: ۵۱, Issue: ۴,
Apr ۲۰۰۳) Page(s): ۱۲۳۴ – ۱۲۴۰ DOI:
۱۰/۱۱۰۹/TMTT.۲۰۰۳/۸۰۹۶۶۸