دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه کارشناسی

گرایش: الکترونیک

عنوان :

سطوح انتخابگر فرکانس FSS

استاد راهنما: **دکتر میرکمالی**

نگارش: **فاطمه حجتی**

دی ماه ۸۷

فهرست

- اشنایی با FSS

۱-۱معرفی FSS ۱

۱-۲ شکل المانها ۷

۱-۳ تقسیم بندی FSS بر اساس ضخامت ۹

۱-۴ اثرات بارگذاری دی الکتریک ۱۱

۱-۵ ساختارهای جدید FSS ۱۳

۱-۵-۱ LFSS ۱۳

۱-۵-۲ FSS تنظیم پذیر باند C ۱۵

۱-۵-۳ FSS میان گذر مینیاتوری ۱۷

۱-۵-۴ FSS امپدانس بالای چند بانده ۲۲

۱-۶ عملکرد FSS در فرکانس های مادون قرمز ۲۶

۱-۷ کاربردهای صفحات FSS ۲۸

۱-۷-۱ کاربردهای قدیمی تر ۲۸

۱-۷-۲ کاربردهای جدیدتر ۳۲

۸- عملکرد FSS در فرکانس های THZ به عنوان یک سنسور ۳۴

۲- شبیه سازی چند ساختار FSS با نرم افزار Ansoft Designer و تحلیل انها درحالت تابش عمودی

۲-۱ معرفی ۳۷

۲-۲ شبیه سازی المان لوپ مربعی ۴۰

۲-۳ شبیه سازی المان دایپل صلیبی ۴۳

۲-۴ شبیه سازی المان اورشلیم صلیبی ۴۶

۲-۵ شبیه سازی المان لوپ دایره ای ۴۸

۲-۶ ساختار شکاف لوپ مربعی ۵۱

۲-۷ ساختار شکاف دایپل صلیبی ۵۳

۲-۸ ساختار شکاف اورشلیم صلیبی ۵۵

۳- شبیه سازی چند ساختار FSS با نرم افزار Ansoft Designer و تحلیل انها درحالت تابش مایل

۳-۱ بررسی ساختار متشکل از المان های لوپ مربعی در برابر تابش زوایای مایل ۵۸

۳-۱-۱ برخورد موج صفحه ای با زاویه تابش ($\theta=30^{\circ}$) ۵۸

۳-۱-۲برخورد موج صفحه‌ای با زاویه‌ی تابش($\theta= 45^{\circ}$) ۶۰

۳-۱-۳ برخورد موج صفحه‌ای با زاویه‌ی تابش($\theta= 60^{\circ}$) ۶۲

۳- ۲ بررسی ساختار FSS متشکل از المان های دایپل صلیبی دربرابر تابش زوایای مایل ۶۴

۳-۲-۱ برخورد موج صفحه‌ای با زاویه‌ی تابش($\theta=30^{\circ}$) ۶۴

۳-۲-۳ برخورد موج صفحه‌ای با زاویه‌ی تابش($\theta= 60^{\circ}$) ۶۷
۳-۳ بررسی ساختار FSS متشکل از المان های اورشلیم صلیبی در برابر تابش زوایای مایل ۶۹
۳-۳-۱ برخورد موج صفحه‌ای با زاویه‌ی تابش($\theta=30^{\circ}$) ۶۹
۳-۳-۲ برخورد موج صفحه‌ای با زاویه‌ی تابش($\theta=45^{\circ}$) ۷۱
۳-۳-۳ برخورد موج صفحه‌ای با زاویه تابش ($\theta= 60^{\circ}$) ۷۳
۴-ضمیمه
۴- ۱آشنایی با نرم افزار Ansoft Designer ۷۴
مراجع ۸۲

چکیده

FSS (سطوح انتخابگر فرکانس) شامل عناصری است که در یک آرایه‌ی منظمی قرار گرفتند تا به عنوان فیلتر در باندهای مایکروویو و اپتیک عمل کنند. امروزه کاربرد این صفحات با پیشرفت علم و تکنولـوژی اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است و روز به روز کاربردهای ان توسعه می‌یابد.

ما در این پایان نامه سعی کردیم به معرفی این سطوح بپردازیم و با این سطوح اشنا شویم و مفاهیم ان را بیان کنیم بنابراین در این پایان نامه از روابط ریاضی که این سطوح را تحلیل می‌کند استفاده نکـردیم و فقط به بیان مفاهیم و نتایج چند شبیه سازی پرداختیم. این پایان نامه مشتمل بر چهار فصل اسـت کـه یک فصل ان ضمیمه است. در فصل اول بخش اول مقدمات FSS و اینکه اصلا چه اتفاقی برای صفحه‌ی فلزی هنگام برخورد موج می‌افتد و توضیح راجع به فیلترهای نواری و مش و... پرداختیم، در بخش دوم به بررسی انواع شکل های المان ها پرداختیم، در بخش سوم به بررسی FSS ضخیم و نازک پرداختیم و این که چه نوع FSSی را نازک و چه نوع FSSی را ضخیم می‌توان شمرد، در بخش چهـارم بـه بیـان ایـن مساله پرداختیم که لایه‌های دی الکتریک چه تاثیری روی FSS می‌گذارند ، درقسمت پـنجم بـه بیـان ساختارهای جدید FSS پرداختیم مثلا با اضافه کردن المان فشرده به FSS و یا... می‌توان چند فرکانس رزونانس در ساختار ایجاد کرد و... در قسمت ششم به بیان این که برای کار در فرکانسهای مـادون قرمـز باید از FSS دی الکتریک استفاده کنیم توضیح دادیم و در بخش بعدی راجـع بـه کاربردهـای قـدیمی وجدید صفحات پرداختیم و در قسمت اخر راجع بـه عملکـرد FSS در فرکانـسهای THZ پرداختـه. در فصل ۲ چند ساختار FSS را در حالت تابش عمودی شبیه سازی کردیم و یک مشخصه‌ی فیلتری منظم به دست امده همچنین ساختارهای روزنه‌ای یا مکمل سه تا از ۴تا سلولی که شبیه سازی کردیم نیز شبیه سازی کردیم . در فصل ۳ نیز چند سلولی که در فصل ۲ شبیه سازی کرده بودیم بـا مـوج صـفحه‌ای بـا زوایای مایل مختلف تحریک کردیم و نتایج را نشان دادیم. در فصل ۴ (ضمیمه) نیز روند شـبیه سـازی یک ساختار FSS با نرم افزار Ansoft Designer پله به پله نشان دادیم .

۱-آشنایی با FSS

۱-۱ معرفی FSS[1]:

قبل از اینکه به بررسی ساختارهای FSS بپردازیم مساله ای را در تئوری الکترومغناطیس باید توضیح دهیم که به ما کمک می‌کند تا مکانیسم اساسی فیلترهای FSS را متوجه شویم.[1] در شکل ۱-۱(الف) برخورد یک موج صفحه ای که از سمت چپ با زاویه‌ی نرمال با صفحه‌ی فلزی برخورد می‌کند را نشان داده شده است در واقع این شکل به ما کمک می‌کند بررسی کنیم چه اتفاقی برای الکترون می‌افتد زمانی که موج با فیلتر برخورد می‌کند. در شکل ۱-۱(الف) بردار E یک نیرو روی الکترون اعمال می‌کند و موجب می‌شود قسمتی از انرژی میدان E به الکترون منتقل شود در نتیجه الکترون با فرکانس سینوسی نوسان می‌کند به علاوه قسمتی از این انرژی از صفحه فلزی عبور می‌کند، اگر تمام انرژی موج برخوردی به الکترون انتقال یابد هیچ انرژی از صفحه فلزی عبور نمی‌کند.

در شکل ۱-۱(ب) یک سیم افقی نشان داده شده است که بردار میدان E بر ان عمود است در نتیجه از حرکت در طول سیم باز داشته می‌شود به خاطر این که در جهت نیروی اعمالی بر ان شتاب وارد نشده است و مسیر حرکت در جهت نیروی اعمال شده بر ان نیست پس الکترون انرژی جذب نمی‌کند و کل انرژی برخوردی به صفحه از ان عبور می‌کند.

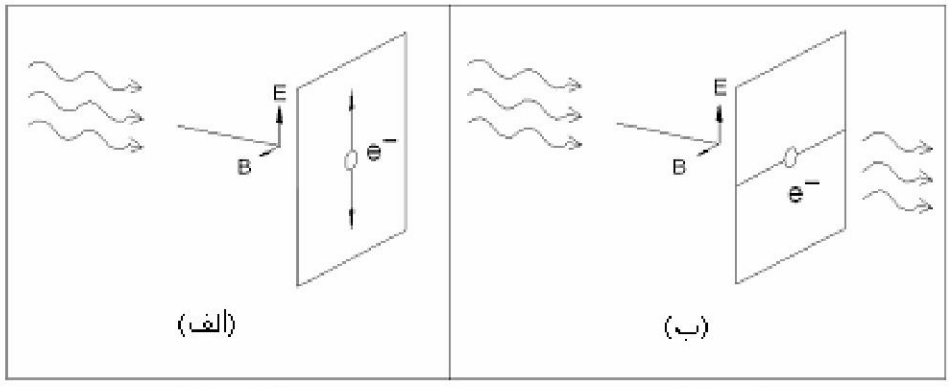
برای انرژی برخوردی که از ان صفحه عبور نمی‌کند چه اتفاقی می‌افتد؟ این انرژی تبدیل به انرژی جنبشی می شود و باعث می‌شود که الکترون با دامنه سینوسی نوسان کند این سینوسی شدن باعث می شود که الکترون به عنوان یک دایپل الکتریکی تشعشع یابد که تشعشع این دایپل در سمت چپ صفحه فلزی موج انعکاسی را تولید می‌کند.

بنابراین مکانیسم اساسی این است که هنگام برخورد موج صفحه‌ای با صفحه ی فلزی اگر مقدار زیادی از انرژی توسط الکترونها جذب شود الکترونها در فلز نوسانی می‌شوند و موج برخورد کننده به صفحه برخورد

1-Frequency selective surface

از ان صفحه انعکاس می‌یابد.اما اگر الکترونها این انرژی را جذب نکنند موج برخورد کننده به صفحه فلزی از ان صفحه عبور می‌کند و انتقال می‌یابد.

بایدتوجه داشت شکل منحنی انتقال یا منحنی انعکاس بستگی به شکل المانهای FSS، ابعاد المانها،فاصله بین المانها و...بستگی دارد که در ادامه راجع به ان بیشتر توضیح می دهیم.



شکل ۱-۱:برخورد موج صفحه ای با صفحه ی فلزی (الف) بردار E در جهت حرکت الکترون به ان نیرو وارد می‌کند. مقدار کمی از انرژی موج برخوردی از صفحه فلزی عبور می‌کند. (ب) بردار E عمود بر جهت حرکت الکترون که هیچ شتابی به الکترون نمی‌دهد، مقدار زیادی از انرژی موج برخوردی از صفحه‌ی فلزی عبور می‌کند.

[1]

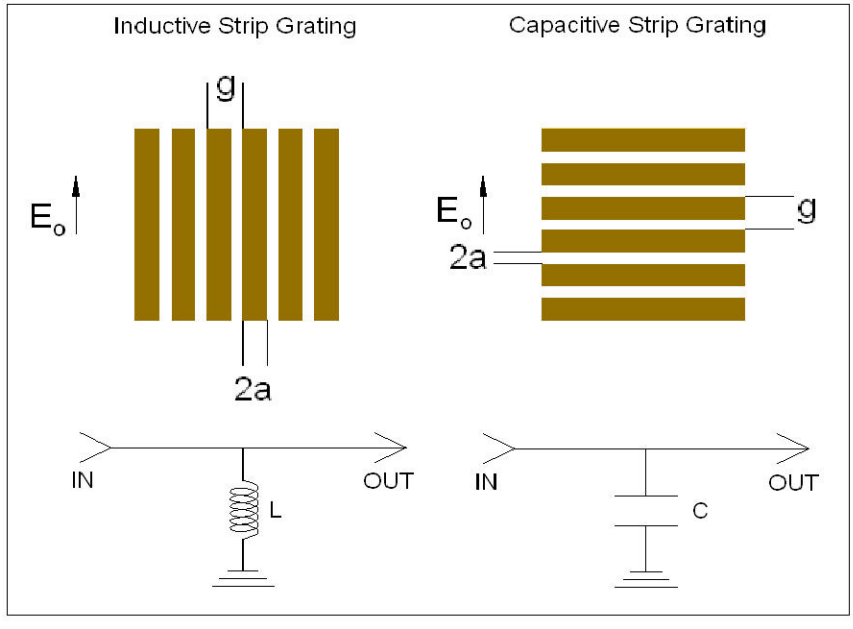
FSS از جمله ساختارهای پریودیک[۱] است که از تعداد زیادی المان پچ یا المان روزنه ای تشکیل شدند. در واقع این سطوح یک ارایه‌ی نامحدود از المانها است که مشابه فیلترهای فرکانسی که در مدار مربوطه به کار می‌رود FSS نیز در فرکانسهای مایکروویو مشخصات فیلتری مشابه نظیر پایین گذر، بالا گذر، میا نگذر و میان نگذر دارند که هر نوع مشخصه فیلتری تابع شکل المانها و ابعاد ساختارFSS است. در شکل در شکل ۱-۲ یک نمونه از این FSS نشان داده شده است که به فیلتر شبکه‌ای نواری معروف[۲] است.

اگربردارE موازی با طول نوارهای فلزی فیلتر باشد این فیلترمانند فیلتر شبکه‌ای القایی رفتار می‌کند و اگر بردار E موازی با عرض نوارهای فلزی باشد مثل یک فیلتر شبکه ای خازنی رفتار می‌کند.

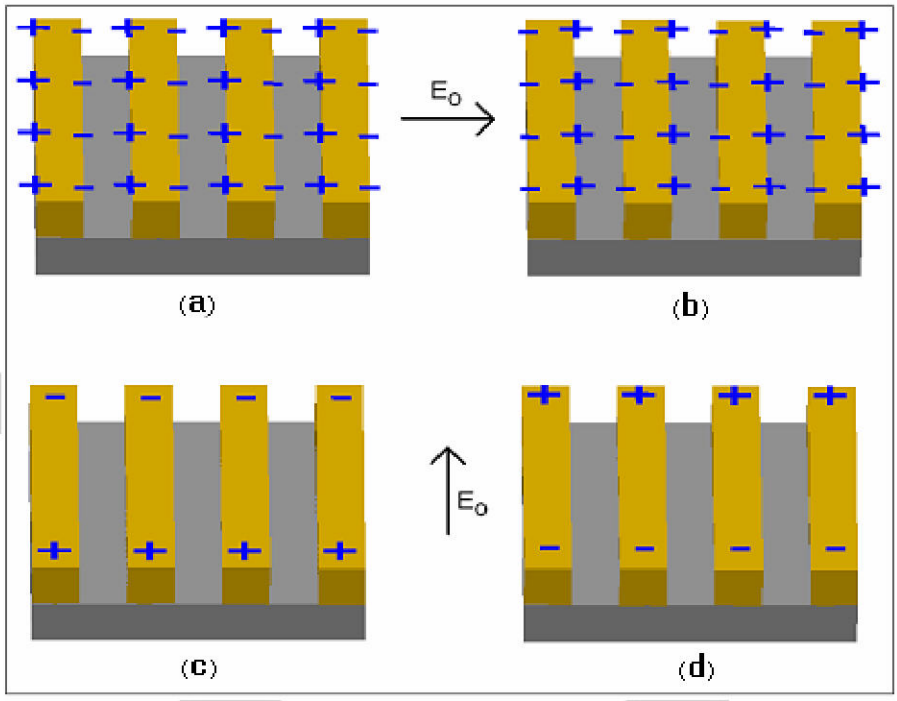
۱-Periodic structure

۲- Strip-Grating Filters

بردار E نوسانهای سینوسی را ایجاد می‌کند که باعث می‌شود الکترونها در فلز در همان جهت سینوسی شود. پس در شکل ۱-۲ دو نوع فیلتر موجود است که یک نوع از ان پایین گذر است یعنی موج با فرکانس پایین و طول موج بلند در مقایسه با ابعاد المانهای این ساختار FSSاز ان عبور می‌کند و نوع دیگر بالا گذر است یعنی موج با فرکانس بالا و طول موج کوتاه در مقایسه با ابعاد المانهای ساختار FSS از ان عبور می‌کند بنابراین دو حالت باری موجود است. در یک حالت مدت زمانی زیادی طول می‌کشد الکترونها درجهت مخالف هم حرکت کنند و درحالت دیگرمدت زمان کمتری طول می‌کشد که الکترونها در جهت مخالف هم حرکت کنند پس زمانی که بردار E با یک طول موج بلند به آرامی تغییر می‌کند الکترونها در فلز با پریود(T) بلندتری از زمان ساکن باقی می‌مانند و در این پریود الکترونها انرژی جذب نمی‌کنند و فقط مقدار کمی از انرژی موج توسط الکترونها جذب می‌شود در نتیجه انتقال بالایی از موج برخورد کننده از صفحه‌ی فیلتر صورت می گیرد. در طول موج کوتاه مدت زمان کمتری طول می‌کشد که الکترونها در فیلتر درجهت مخالف هم حرکت کنندودراین حالت الکترونها انرژی زیادی جذب می‌کنند و درصد کمتری از موج برخوردی از صفحه فیلتر انتقال می‌یابد (۱-۳).



شکل ۱-۲ : شکل سمت راست فیلتر شبکه‌ای خازنی ، شکل سمت چپ فیلتر شبکه‌ای القایی [1]



شکل ۱-۳ : ترتیب بار قرار گرفته روی فیلترهای نواری اگر میدان E در راستای عرض نوار باشد جابه‌جایی بار بین دو حالت (a) و (b) صورت می‌گیرد و اگر میدان E در راستای طول نوار باشد جابه‌جایی بار بین دو حالت (c) و (d) صورت می‌گیرد.[1]

با توجه به مطالبی که گفته شد موج برخورد کننده به صفحه‌ی فیلتر شبکه‌ای نواری خازنی در فرکانسهای پایین انتقال می‌یابد و در فرکانسهای بالا موج انعکاس می‌یابد. با توجه به مدار معادل ان که در قسمت پایین سمت راست شکل ۱-۲ نشان داده شده است خط انتقال شنت خازنی از یک طرف به زمین وصل شده است، در فرکانسهای بالا خازن اتصال کوتاه می‌شود بنابراین جریان از خازن عبور می‌کند و به پورت خروجی نمی رسد اما در فرکانسهای پایین خازن اتصال باز می‌شود بنابراین جریان از خازن عبور نکرده و به پورت خروجی می‌رسد پس مدار معادل مثل یک فیلتر پایین گذر رفتار می‌کند.

در مدار سمت چپ شکل ۱-۲ که خط انتقال شنت سلفی را نشان می‌دهد در فرکانسهای پایین جریان از سلف عبور می‌کند بنابراین جریان به پورت خروجی نمی‌رسد اما در فرکانسهای بالا جریان به پورت خروجی می‌رسد پس مدار معادل مثل یک فیلتر بالا گذر رفتار می‌کند.

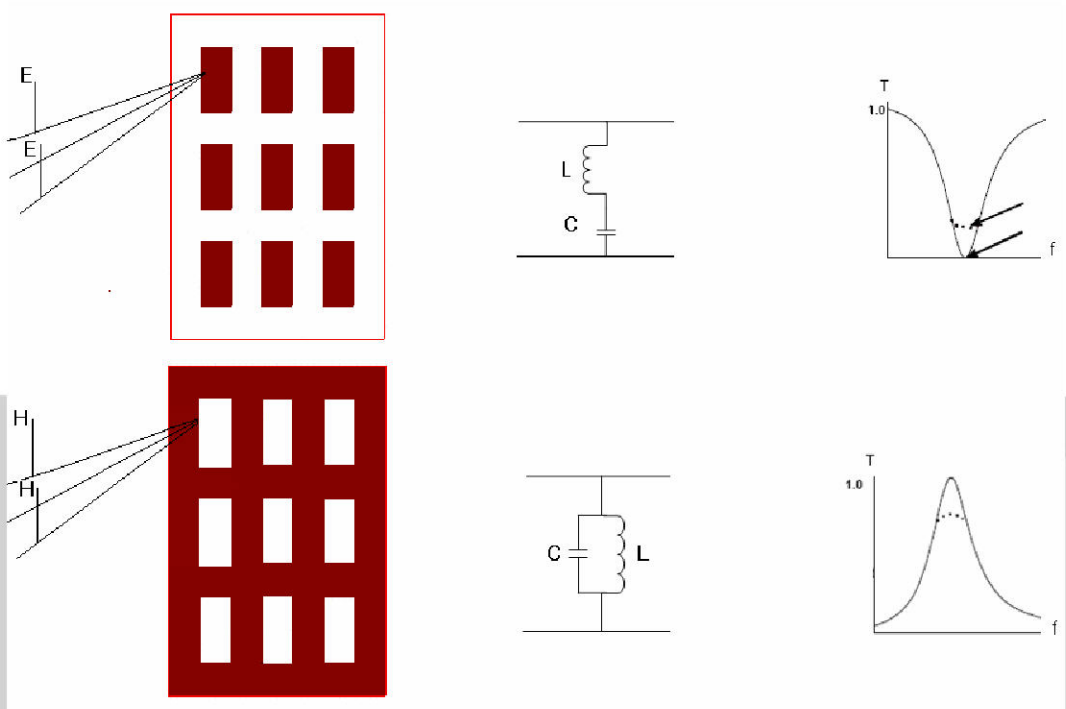
در شکل ۱-۴ یک نمونه دیگر از فیلترهای FSS نشان داده شده است[2]. در واقع المانهای دایپل در مقابل میدان الکتریکی E مثل یک فیلتر میانگذر رفتار می‌کند در حالیکه FSS با المانهای روزنه ای در

برابر میدان مغناطیسی H مثل یک فیلتر میانگذر رفتار می‌کند. زمانیکه آرایه‌ی دایپل در معرض میدان الکتریکی E قرار می‌گیرد ضریب انعکاس ان (E_r / E_i) و ضریب انتقال ان (E_t / E_i) با تغییرات فرکانس تغییر می‌یابند. یک توضیح فیزیکی برای این مساله این است که اندوکتانسهای ناشی از دایپلها توسط فاصله هوایی بین دایپلها که نقش کاپاستانس را بازی می‌کنند به هم مرتبط می‌شوند. بنابراین آرایه‌ی دایپلها معادل خط انتقال LC سری می‌باشد که یک فیلتر میان نگذر است. ضریب انتقال برای ارایه‌ی روزنه ای نیز(H_t / H_i) در فرکانس رزونانس یک است و ضریب انعکاس (H_r / H_i) در این فرکانس مساوی صفراست یک دلیل فیزیکی برای این مساله این است که لبه های روزنه‌ها را می توان مثل دو خط انتقال به طول $\lambda/4$ در نظر گرفت که انتهای انها اتصال کوتاه شده است از این رو امپدانس ورودی این خط که در مرکز روزنه می‌باشد در f_r بی نهایت می‌شود در نتیجه موج به طور کامل از این فیلتر انتقال می‌یابد. مدار معادل برای فیلترهای روزنه ای نیز به صورت یک مدار LC موازی می‌باشد.

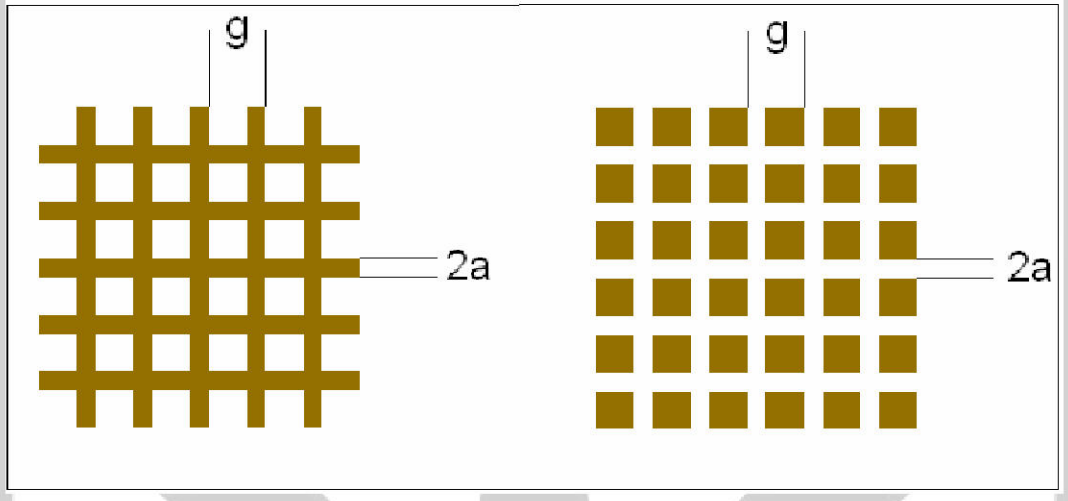
مشکل اصلی فیلترهای شبکه‌ای نواری و فیلترهای شکل ۱-۴ که بررسی کردیم این است که فقط با یک نوع پلاریزاسیون می‌توانند سروکار داشته باشند. دلیل این مساله این است که این نوع فیلترها فقط در یک جهت پریودیک هستند وتاثیر این نوع فیلترها روی موج برخورد به پلاریزاسیون موج برخورد بستگی دارد بنابراین برای کار با پلاریزاسیونهای مختلف باید از فیلترهای مش[۱] استفاده کرد[1]. در واقع فیلترهای مش مستقل از پلاریزاسیون موج برخورد عمل می‌کنند به طور مثال فیلتر مش متشکل از عناصر مربعی[۲] شکل(شکل ۱-۵) مثل یک فیلتر میانگذر رفتار می‌کند این فیلترها در دو جهت عمود بر هم هندسه‌ی متقارنی دارند که روی پلاریزاسیون موج برخورد به طور متقارن عمل می‌کند یعنی اگر به طور مثال این ساختار در صفحه‌ی xy باشد روی موج پلاریزه شده در جهت x و موج پلاریزه شده در جهت y تاثیر یکسانی دارد و ضریب انتقال برای هر دو موج یکسان است و در نتیجه ضریب انتقال تابع پلاریزاسیون زاویه‌ی برخورد نیست.

۱-Mesh- Filter

۲-Square element



شکل ۱-۴: ساختار Fss ، مدار معادل، مشخصه‌ی فیلتری [2]



شکل ۱ - ۵: سمت راست فیلتر مش با عناصر مربعی، سمت چپ فیلتر روزنه ای که فیلتر مکمل فیلتر مش با عناصر مربعی [1]

یک نمونه فیلتر مش دیگر که در اینجا به معرفی ان می پردازیم، فیلتر مش صلیبی[۱] است که در شکل ۱- ۶ نشان داده شده است. این فیلتر نیز اگر در صفحه‌ی x y قرار گرفته باشد تاثیر یکسانی روی موج

۱-Cross-Mesh Filter

دانشجویان محترم:

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

[1] Hooberman , Benjamin , " Everything You ever wanted to know About Frequency selective surface Filters but were Afraid To Ask", pp.2-17, 2005

[2] John D.kras,Ronald J.Marhefka,"Antenna for All Applications",NY10020, New York, pp. 636- 654, 2002

[3]GAO Qiang, YAN Dunbao, FU Yunqi, YUAN Naichang "Loaded-frequen cy selective surface", Microwave center, school of Electronic science and Eng ineering , pp.441-443 , 2008

[4] Christos Mias , " Tunable C band frequency selective surface School of E ngineering", Warwick University, Coventry,CV47AL , pp 1-4,2005

[5] Behdad Nader , Sarbandi Kamal "A Miniaturized band pass frequency selective surface", Electrical Engineering and computer science , university of Michigan , MI 48109-2122 , pp 4171- 4174 , 2006

[6] J.Kem Douglas, H.Wemer Douglas, J.Wilhelm Michael, H.Church Kennet h , " GENETICALLY ENGINEERD MULTIBAND HIGH- IMPEDANCE FREQUENCY SELECTIVE SURFACES", Electrical Engineering ,(www.int erscience.wiley.com), vol.38, No.5, pp.400-402

[7] A.REED JEFFREY , B.A. , M.B.A., M.S. " FREQUENCY SELECTIVE SURFACES WITH MULTIPLE PRIODIC ELEMENTS", Presented to the Faculty of The University of Texas at Dallas in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY IN PHYSICS , PP 1-35 , April 1997

[8] Shelton D.J, Ginn J.C, Boreman G.D, "Bandwidth Variations in conformal Infrared Frequency selective surface",university of central Florida, college of optics and photonics CREOL 400 central Florida Blvd.Orlando, FL 32816, pp 3976- 3979, 2007

[9] Wu, Te-Kao ," Multi-Band Frequency selective surface with Double-loop Element", NASA center,pp.115-117,1994

[10] Wu , Te-Kao , " Cassini Frequency selective subreflector Development ",

[11] Remski Richard , Gray Brian , Ma Liza ," ansoft application Engineering staff " , pp 1-12 , 2004

[12] Military Technical Academy , Bucharest , Romania , " Radar absorbing Materials "OPTOELECTRONIC AND ADVANCED MATERIALS , vol 8 , No.1 , p.333-338 , 2006

[13] Debus Christian , Haring Bolivar peter , " Frequency selective surface for High-sensitivity Terahertz sensors " , Quantum Electronic , University Holder Linster , pp.1-2 , 2007