دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین

گروه مهندسی فوتونیک– نانوفوتونیک

پایان‌نامه

جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی فوتونیک

گرایش نانو فوتونیک

عنوان

طراحی و ساخت فیلترهای مبتنی بر متامواد و ارائه مدل مداری

استاد راهنما

دکتر قاسم رستمی

استاد مشاور

دکتر علی رستمی

پژوهشگر

میثم سراوری

شهریور ۱۳۹۳

بسم الله الرحمن الرحيم

سپاس گزاری

ضمن تشکر و تقدیر فراوان از استاد راهنما جناب آقای دکتر قاسم رستمی و استادمشاور جناب آقای دکتر علی رستمی که برای این حقیر زحمات فراوانی کشیده اند، از دیگر اساتید از جمله آقای دکتر علی پورزیاد دانشکده برق دانشگاه تبریز، آقای دکتر تیمور حیدری دانشکده برق دانشگاه امیرکبیر، آقای دکتر فرهاد آزادی نمین دانشکده برق دانشگاه امیرکبیر و دیگر عزیزانی که این حقیر را در تهیه این پایان نامه یاری رساندین کمال تقدیر و تشکر را دارم. و از خداوند منان برای این عزیزان طلب سلامتی و سعادت را خواستارم.

نام خانوادگی: سراوری **نام**: میثم

عنوان پایان نامه: طراحی و ساخت فیلترهای مبتنی بر متامواد و ارائه مدل مداری

استاد راهنما: دکتر قاسم رستمی **استاد مشاور**: پروفسور علی رستمی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته**: مهندسی فوتونیک **گرایش**: نانو فوتونیک

دانشگاه: تبریز

دانشکده : مهندسی فناوری‌های نوین **تاریخ فارغ التحصیلی** : ۹۳ **تعداد صفحه** :۱۱۰

کلیـد واژه هـا: فیلتر مـایکروویو، متامتریال، طراحی فیلترهای متامتریال، مدل مداری فیلترهای مایکروویو، ساخت فیلترهای مایکروویو، شبیه سازی فیلترهای مایکروویو

چکیـده پـایـان نامه: در این پایان‌نامه پس از معرفی فرامادهها و خواص آن‌ها، روش‌های تولید متامتریال توضـیح داده شـده اسـت همچنین دو فیلتر ازجمله فیلتر میان‌گذر و میان‌نگذر مبتنی بر متامتریال با سـاختارهای حلزونی در رنج امواج مایکروویو طراحی و ساخته شد و نتایج حاصل از شـبیه‌سـازی با نتایج عملی مورد مقایسـه و بحث قرار گرفته و پارامترهای موثر نظیر گذردهی الکتریکی و نفوذپذیری مغناطیسـی برای اثبات ادعای محاسـبه، و آورده شـده است. در ادامه دلیل اسـتفاده از متامتریال‌ها و عملکرد مناسـب آنها در کاهش سـایز مدل بیان و پارامترهای هندسی و تاثیر آن‌ها در تنظیم باند فرکانسـی بررسـی و تشـریح شـده است. پس از آن مدل دیگری مبتنی بر رینگ‌های نوسـانی شـکافدار با ساختارهای برگرفته از مدل ریاضی فیبوناچی ارائه و مورد بررسی قرار گرفته است.

فهرست

۱ فصل اول ۱۰
۱-۱ مقدمه ۱۰
۱-۱-۱ امواج مایکروویو ۱۱
۱-۱-۲ کاربردهاي مایکروویو ۱۱
۱-۲ مفاهیم پایه درباره فیلتر ۱۳
۱-۲-۱ تعریف فیلتر ۱۳
۱-۲-۲ اساس کار فیلتر ۱۳
۱-۲-۳ تعاریف مشخصههای فیلتر ۱٤
۱-۲-۴ اساس کار فیلترهای میکرواستریپ ۱۸
۱-۲-۵ میکروفیلترهای مایکروویو ۱۹
۱-۳ متامتریال (مواد دست چپ) ۲۱
۱-۳-۱ نحوه شکل گیری متامتریالها ۲۱
۱-۳-۲ پیشینه تحقیقی برای متامتریال ۲۲
۱-۳-۳ پارامترهای موثر در توصیف متامتریالها ۲٤
۱-٤ دلیل استفاده از متامتریال ۲۷
۱-٤-۱ موادی با گذردهی الکتریکی منفی ۲۸
۱-٤-۲ دیالکتریک مصنوعی مواد ۲۸
۱-٤-۳ مواد مغناطیسی مصنوعی ۲۹
۱-۵ اصول اساسی طراحی فیلتر مبتنی بر متامتریال ۳۱
۱-۵-۱ فیلترهای میانگذر فوق العاده گسترده ۳٦
۱-۶ ارائه مدار معادل برای نوسانگرهای حلقهای شکافدار و مکمل آنها ۳۹
۲ فصل دوم ٤٦
۲-۱ ارائه مدل مداری برای یک ساختار پایه ٤٦
۲-۲ شبیه سازی عددی فرکانس رزونانس برای SRR متناوب ۵۰
۲-۳ نحوه محاسبه پارامترهای موثر مواد برای SRR متناوب ۵۵
۲-۴ تولید گذردهی الکتریکی منفی ٦۰
۲-۵ ایجاد مواد دست چپ: ٦٤
۲-٦ پارامترهای موثر برای سلولهای دورهای ٦۸
۲-۷ مدلهای دیگر بررسی شده ۷۰
۲-۷-۱ سلول پایه پیشنهادی مبتنی بر متامتریال ۷۰
۳ فصل سوم ۷۵
۳-۱ طراحی فیلتر Band-Stop ۷۵
۳-۱-۱ نتایج عددی فیلتر Band-Stop ۷٦
۳-۲ طراحی فیلترهای میانگذر مبتنی بر متامتریال ۸۲

۳ـ۲ـ۱ طراحی فیلتر میانگذر ۸۲
۳ـ۲ـ۲ نتایج عددی فیلتر میانگذر (BPF) ۸٤
۳ـ۲ـ۳ نمونه مدل ساخته شده به همرا ه نتایج عملی ۸۸
۳ـ۳ نتیجه گیری طراحی اول و دوم ۹۰
٤ـ۳ ارائه مدل فیلتر مبتنی بر دنباله شبه پریودیک فیبوناچی ۹۱
۳ـ٤ـ۱ نگاهی کوتاه بر دنباله فیبوناچی ۹۲
۳ـ۴ـ۲ ارائه مدل بر پایه دنباله فیبوناچی ۹٤
۳ـ۴ـ۳ پارامترهای هندسی مدل پایه اول ارائه شده ۹٥
۳ـ۴ـ۴ پارامترهای هندسی مدل پایه دوم ارائه شده ۹٦
۳ـ٥ نتیجه کلی ۱۰۱

فهرست اشکال

شکل ۱-۱: قسمتی از طیف امواج الکترومغناطیس و جایگاه امواج مایکروویو ۱۱

شکل ۱-۲: نمونه ای از کاربرد های امواج مایکروویو ۱۲

شکل ۱-۳: محل قرارگیری فیلتر در سیستمهای مخابراتی ۱۳

شکل ۱-۴: اساس کار فیلتر ۱۴

شکل ۱-۵: مشخصه فیلتر نوعی ۱۵

شکل ۱-۶: انواع فیلترها از نظر پاسخ فرکانسی ۱۶

شکل ۱-۷: شمای یک سلول میکرواستریپی ۱۷

شکل ۱-۸: نمونه ای از فیلترهای میکرواستریپ میانگذر لبه جفت شده در سمت راست و لبه جفت پوشیده در سمت چپ[3]. ۱۸

شکل ۱-۹: نمای یک نوسانگر mems ۲۰

شکل ۱-۱۰: انواع مواد از نظر خواص الکترومغناطیس ۲۳

شکل ۱-۱۱: : مدل پندر برای تولید گذردهی الکتریکی منفی در فرکانسهای پایین[۴]. ۲۸

شکل ۱-۱۲: مدل حلقه های شکافدار هم مرکز ۲۹

شکل ۱-۱۳: مدل ارائه شده توسط اسمیت[24] ۳۰

شکل ۱-۱۴: حلقههای شکافدار نوسانی وقطعات فلزی CPW به ترتیب سیاه و خاکستری[26] ۳۲

شکل ۱-۱۵: سلول ترکیبی بدون Via [20]. ۳۳

شکل ۱-۱۶: سلول ترکیبی با Via [20]. ۳۳

شکل ۱-۱۷: طراحی پهنای باند فیلتر میان گذر با سلول نوسانی [36]. ۳۴

شکل ۱-۱۸: فیلتر باند باریک تشکیل شده از دو سلول چپ دست و یک سلول راست دست[39]. ۳۵

شکل ۱-۱۹: فیلتر میانگذر فوق العاده گسترده [41]. ۳۶

شکل ۱-۲۰: فیلتر فوق العاده گسترده برگرفته از ساختار مکمل رینگ نوسانگرها[41] ۳۷

شکل ۱-۲۱: فیلتر فوق العاده گسترده برگرفته از ساختار رینگ نوسانگرها[42]. ۳۷
شکل ۱-۲۲: مدل فیلتر میان گذر با مبدل امپدانس موازی [29] ۳۹
شکل ۱-۲۳: مدل فیلتر میان گذر با مدار LC موازی و رزونانس موازی [29] ۳۹
شکل ۱-۲۴: مدل مداری برای نوسانگرهای حلقهای و ساختار مکمل[33]. ۴۰
شـکل ۱-۲۵: طرح کلی از خطوط شـار میدان های مغناطیسی برای رینگ های شکافدار نوسانی در سـمت چپ و شار میدان های مغناطیسی برای ساختارهای مکمل رینگ های شکافدار رزونانسسی در سمت راست قرار دارد[49] ۴۲
شـکل ۱-۲۶: a میدان الکتریکی c میدان مغناطیسـی برای SRR برروی یک بسـتر نارسانا b میدان مغناطیسی و d میدان الکتریکی برای CSRR خورده شده بر روی یک بستر نارسانا[49]. ۴۴
شـکل ۱-۲۷: مدار معادل برای، a رینگ های شـکافدار نوسـانی غیر همسـان b دوتا رینگ شکافدار نوسـانی همسان c رینگ شکافدار غیر همسان d دوتا رینگ شکافدار غیر همسان همچنین در ستون سوم مدار معادل برای ساختارهای مکمل هرکدام آورده شده است[49]. ۴۴
شکل ۲-۱: مدار معادل برای رینگهای شکافدار رزونانسی[49]. ۴۶
شکل ۲-۲: شمای سه بعدی از هندسه سلول ۴۷
شـکل ۲-۳: شـکل سـمت راسـت نحوه توزیع انرژی میدان الکتریکی و سـمت چپ برای میدان مغناطیسی میباشد. ۴۸
شکل ۲-۴: نتایج تحلیل میدانی ۴۸
شکل ۲-۵: مدل مدار معادل شبیهسازی شده برای تک رینگ شکافدار ۴۹
شکل ۲-۶: نتایج مدل مداری در تحلیل مداری ۵۰
شکل ۲-۷: شمای یک سلول واحد حلقه ای شکافدار نوسانی به همراه شرایط مرزی ۵۱
شکل ۲-۸: نمودار عبوری به رنگ قرمز و نمودار بازتاب به رنگ آبی برای یک سلول واحد ۵۳
شـکل ۲-۹: شکل بالا نحوه توزیع جریانهای سطحی، شکل سمت راست میدانهای الکتریکی و شکل

سمت چپ میدانهای مغناطیس ۵۴
شکل ۲-۱۰: پارامتر عبوری به ازای مقادیر مختلف سلول در جهت y و x ۵۵
شـکل ۲-۱۱: نمودار اول نفوذ پذیری مغناطیس و دوم گذردهی الکتریکی، قسـمت حقیقی برنگ قرمز و بخش موهومی برنگ آبی ۵۷
شـکل ۲-۱۲: شـکل اول نمودار قرمز ثابت فاز و نمودار آبی ثابت میرایی. شکل دوم نمودار امپدانس دوره ای SRR نمودار قرمز بخش حقیقی و نمودار آبی بخش موهومی ۵۹
شکل ۲-۱۳: شمای سلول واحد به همراه شرایط مرزی ۶۰
شکل ۲-۱۴: نمودار قرمز پارامتر بازتاب، نمودار آبی پارمتر عبور ۶۲
شکل ۲-۱۵: نمودارها به ترتیب، نمودار جریان سطحی، نمودار میدان های الکتریکی و نمودار میدان مغناطیسی ۶۳
شـکل ۲-۱۶: نمودار گذردهی الکتریکی برای سـلول واحد، نمودار قرمز بخش حقیقی و آبی بخش موهومی ۶۳
شکل ۲-۱۷: نمودار نفوذپذیری مغناطیسی برای سلول واحد، نمودار قرمز بخش حقیقی و آبی بخش موهومی ۶۴
شکل ۲-۱۸:نمای رو و پشت سلول واحد متامتریال به همراه نمایش شرایط مرزی آن در جهت های مختلف ۶۵
شکل ۲-۱۹:نمودار آبی بازتاب و نمودار قرمز عبور برای یک سلول واحد متامتریال ۶۵
شـکل ۲-۲۰: نمودار سـمت راسـت نحوه توزیع جریان الکتریکی و نمودار سـمت چپ میدانهای الکتریکی و میدان مغناطیسی در بالا ۶۶
شکل ۲-۲۱: نمودار پارامترهای بازتاب به ازای موقعیت های مختلف سیم از مرکز شکاف ۶۷
شکل ۲-۲۲: نمودار پارامترهای عبور به ازای مقعیت های مختلف سیم از مرکز شکاف ۶۸
شـکل ۲-۲۳: نفوذپذیری مغناطیسـی، گذردهی الکتریکی، ثابت انتشـار و امپدانس بلاخ محاسـبه و

بترتیب آورده شده ۶۹
شکل ۲-۲۴: شمای یک سلول واحد به همراه شرایط مرزی پیش بینی شده ۷۱
شکل ۲-۲۵: نمودار قرمز انعکاس و نمودار آبی عبور را نشان می‌دهد ۷۲
شـکل ۲-۲۶: پارامترهای موثر محاسـبه شده برای سلول پیشنهادی شامل گذردهی الکتریکی، نفوذ پذیری مغناطیسی، ثابت فاز، ثابت میرایی و امپدانس بلاخ ۷۳
شکل ۳-۱: فیلتر میانگذر مبتنی بر متامتریال ۷۶
شکل ۳-۲: منحنی قرمز پارامتر بازتاب و منحنی سبز پارامتر عبور ۷۷
شکل ۳-۳: نمودار عبوری به ازای مقادیر مختلف $r\varepsilon$ ۷۸
شکل ۳-۴: پارامتر بازتاب شبیه سازی شده برای $\varepsilon_r=5$ ۷۹
شـکل ۳-۵: پارامترهای انعکاس برای هر دو پورت ورودی و خروجی نمودار آبی S22 نمودار قرمز S11 ..... ۷۹
شکل ۳-۶: توزیع شدت جریان سطحی ۸۰
شکل ۳-۷: پامتر عبور به ازای فاصله جدایی سلولها ۸۱
شکل ۳-۸: فیلتر میانگذر حلزونی ۸۳
شکل ۳-۹: قرمز پارامتر انعکاس و آبی پارامتر انتقال ۸۴
شکل ۳-۱۰: پارامتر انتقال به ازای جابجایی نوسانگر در جهت y ۸۵
شکل ۳-۱۱: پارامترانتقال به ازای فاصلههای جدایی مختلف ۸۶
شکل ۳-۱۲: نمودار پراکندگی جریانهای سطحی ۸۷
شکل ۳-۱۳: شمای مدل ساخته شده ۸۸
شکل ۳-۱۴ : نتایج عملی گرفته شده ۸۹
شکل ۳-۱۵: نتایج فیت شده در نرم افزار متلب برای مدل ساخته شده ۹۰
شکل ۳-۱۶: نمونه از مدل سری فیبوناچی ۹۳

شکل ۳-۱۷ : شمای مدل به همراه شرایط مرزی ۹۵

شکل ۳-۱۸: نمای ساختار هندسی مدل پایه اول به همراه نتایج شبیه سازی آن، پارامتر بازتاب $S_{1.1}$ منحنی قرمز رنگ وپارامتر عبور $S_{2.1}$ منحنی سبز رنگ ۹۶

شکل ۳-۱۹: شمای مدل دوم به همراه شرایط مرزی ۹۷

شـکل ۳-۲۰: : نمای سـاختار هندسـی مدل پایه دوم به همراه نتایج شبیه سازی آن، پارامتر بازتاب $S_{1.1}$ منحنی قرمز رنگ وپارامتر عبور $S_{2.1}$ منحنی سبز رنگ ۹۷

شکل ۳-۲۱: نمای روی مدل ۹۸

شکل ۳-۲۲: نمای پشت مدل ۹۸

شکل ۳-۲۳: پارامتر بازتاب S11 منحنی قرمز رنگ وپارامتر عبور S21 منحنی سبز رنگ ۹۸

شـکل ۳-۲۴: پارامترهای موثر محاسـبه شده برای سلول پیشنهادی شامل گذردهی الکتریکی، نفوذ پذیری مغناطیسی، ثابت انتشار وامپدانس بلاخ ۹۹

شکل ۳-۲۵: نمای رو مدل ارائه شده براساس دنباله فیبوناچی به ازای جمله پنجم ۱۰۰

شکل ۳-۲۶: نمای پشت مدل ارائه شده براساس دنباله فیبوناچی به ازای جمله پنجم ۱۰۰

شکل ۳-۲۷: نتایج حاصل از شبیه سازی جمله پنجم مدل ارائه شده ۱۰۱

فهرست جداول

جدول ۲-۱: ابعاد و پارامترهای هندسی سلول واحد ۵۱

جدول ۲-۲: پارامترهای هندسی و ابعاد سلول واحد ۶۱

جدول ۲-۳: ابعاد هندسی (تمامی مقادیر برحسب میلیمتر است.) ۷۱

۱ فصل اول

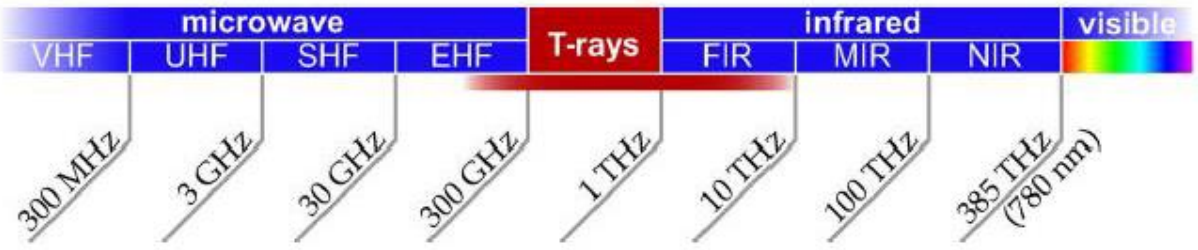
۱-۱ مقدمه

امواج مایکروویو به دلیل کاربردهای فراوان خصوصا در ضمینه فن‌آوری مخابرات و ارتباطات بسیار مورد توجه دانشمندان و محققین قرار گرفته است، بنابراین ساخت ادوات کاربردی در این رنج از طیف فرکانسی مورد توجه بسیاری صنایع قرار دارد. فیلترها نیز نقش حیاتی را در بکارگیری این امواج پرکاربرد مایکروویو ایفا می‌کنند. از آنجا که اندازه کوچک‌تر و عملکرد بهتر، دو پارامتر بسیار مهم در طراحی فیلترها می‌باشند طراحی فیلترهای مناسب و مقرون به صرفه یک چالش بسیار مهم برای طراحان این حوضه محسوب می‌شود. به علت کاهش ابعاد وسایل مخابراتی، فشرده سازی و کوچک سازی این فیلترها نیز امر مهم و اساسی به حساب می‌آید. در میان روشهای کوچک سازی فیلترها، استفاده از شکل هندسی مناسب و کارآمد به همراه استفاده از زیرلایه‌هایی با ثابت دی‌الکتریک مناسب می‌تواند راه گشا باشد. همچنین با توجه به اینکه امروزه متامواد‌ها بدلیل خواص منحصر به

فردشان مورد توجه بسیاری از دانشمندان این عرصه قرار دارند. لذا طراحی فیلترهای مایکروویو بر پایه مواد دست چپ ارزشمند بشمار می‌رود. زیرا این مواد بدلیل داشتن پتانسیل ویژه، مخصوصا در مورد بهبود پارامترهای فیلتر و کاهش ابعاد آن را دارا می‌باشند. به همین منظور در ادامه به طراحی و ساخت فیلترهای مبتنی بر متامتریال خواهیم پرداخت.

۱-۱-۱ امواج مایکروویو

لغت مایکروویو به معنی امواج الکترومغناطیس در محدوده امواج رادیویی با فرکانس‌های بالا می‌باشد، بطوریکه فرکانس آن‌ها بین ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز متغیر است. دوره‌تناوب یک موج مایکروویو که عکس فرکانس آن است از ۳ نانوثانیه تا ۳ پیکو ثانیه تغییر خواهد کرد و در نتیجه طول موج مایکروویو از یک متر تا ۱ میلی‌متر متغیر خواهد بود($\lambda = c/f$ که c سرعت نور در خلاء بوده و برابر با 3×10^8 m/s است.) [1].



شکل ۱-۱: قسمتی از طیف امواج الکترومغناطیس و جایگاه امواج مایکروویو

۱-۱-۲ کاربردهای مایکروویو

مایکروویو در جامعه امروز ما کاربردهای فراوانی دارد. کاربردهای وسیع و گستره این حوزه در ، امور مخابرات رادار، تحقیقات فیزیکی، داروسازی، اندازه‌گیری‌های صنعتی، حرارت دادن و خشک کردن محصولات غذایی و کشاورزی و حتی پختن غذا را در بر می‌گیرد[1].

یکی از ادوات کلیدی در این حوزه فیلترهای مایکروویو می باشد. فیلترهای مایکروویو کاربرد گسترده‌ای در مخابرات دارند. یک فیلتر مایکرویو شبکه‌ای دو دهانه‌ای است که برای کنترل پاسخ

فرکانسی در یک نقطه‌ی معین در یک سیستم مایکروویو به کار می‌رود و این عمل با فراهم کردن انتقال و ارسال در فرکانس‌های داخل باند عبور فیلتر، و تضعیف در باند قطع فیلتر انجام می‌گردد. پاسخ فرکانسی شامل مشخصات فیلترهای پایین‌گذر، بالاگذر، میان‌گذر، و میان‌نگذر می‌باشد. مهمترین کاربردهای فیلترهای مایکروویو می‌توان تقریبا هر نوع سیستم مخابراتی مایکروویو، رادار و سیستم‌های اندازه‌گیری و... را نام برد[1].

شکل ۱-۲: نمونه ای از کاربرد های امواج مایکروویو

یک از مزایای مهم امواج مایکروویو در مخابرات، پهنای باند وسیع آن است. بنابر نظریه مخابرات مقدار اطلاعاتی که می‌توان انتقال داد مستقیما با پهنای باند موجود متناسب است. از طرفی برای برقراری یک ارتباط خوب بین دو نقطه، سیگنال باید دقیقا متمرکز و سپس به سوی آنتن گیرنده هدف گیری شود. لذا با توجه به اینکه فرکانس‌های مایکروویو این قابلیت را دارند، برای ارتباط نقطه به نقطه بی‌سیم ایده‌آلند.

۱-۲ مفاهیم پایه درباره فیلتر

در این قسمت نگاهی کوتاه به تعریف فیلتر، اساس کار فیلتر، تقسیم بندی فیلتر از نظر پاسخ فرکانسی، مفاهیم کلی فیلتر به عنوان یادآوری خواهیم داشت.

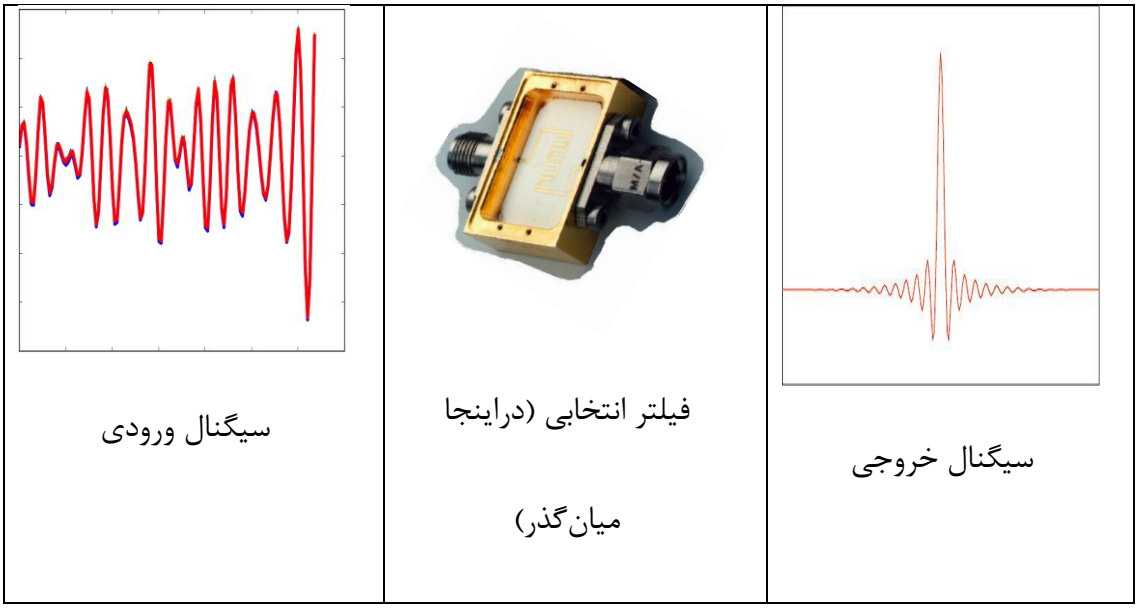
۱-۲-۱ تعریف فیلتر

همانگونه که از این نام و کاربردهای آن بر می‌آید برای جداسازی یک سیگنال از سیگنال‌های دیگر (که از دید ما نامطلوب است و به آن نیازی نداریم و با وجود آن نمی‌توان نتیجه مناسب و زیاد خوبی را گرفت) از فیلتر استفاده می‌کنیم. در الکترونیک از مدارهایی استفاده می‌شود تا فرکانس‌های اضافی که از دید طراح مزاحم به حساب می‌آیند حذف و یا حداقل کم رنگ تر شوند.(در مخابرات فرکانس‌های مزاحم و اضافی به عنوان نویز تعبیر می‌شوند.) و توان فرکانس مطلوب باید بیشتر از توان فرکانس نامطلوب شود.

شکل ۱-۳: محل قرارگیری فیلتر در سیستم‌های مخابراتی

۱-۲-۲ اساس کار فیلتر

اساس کار فیلترها جداسازی سیگنال‌ها بر اساس فرکانس و در واقع حذف نویز می‌باشد. به منظور تفهیم این عملکرد شکل ۱-۴ آورده شده است. همانطور که در شکل مشخص است قسمت‌های از سیگنال ورودی پس از عبور از فیلتر حذف ویا تضعیف شده است. و به طور کلی بخشی از سیگنال که برای ما مهم بوده است باقی مانده است.



شکل ۱-۴: اساس کار فیلتر

۱-۲-۳ تعاریف مشخصه‌های فیلتر

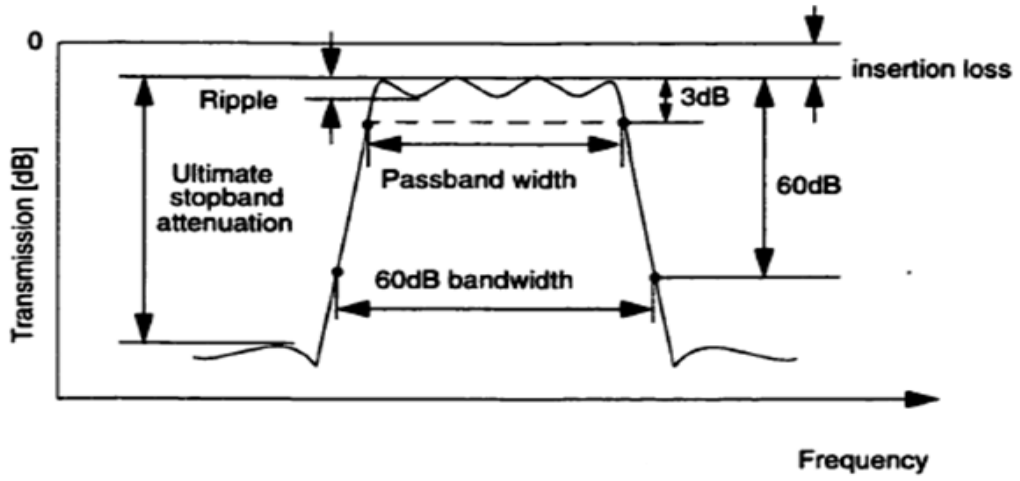
پهنای باند عبوری: گستره‌ای از فرکانس که در آن دامنه از مقدار حداکثر به اندازه ۳ دسی‌بل کمتر از مقدار بیشینه می رسد. در این فرکانس‌ها ورودی به خروجی انتقال می‌یابد.

پهنای باند توقف: گستره‌ای از فرکانس‌ها که در آن ورودی به صورت تضعیف شده به خروجی منتقل می‌گردد. و در حالت ایده‌آل از باند توقف سیگنالی عبور نمی‌کند.

تلفات عبوری[۱]: مقدار اختلاف حداکثر دامنه تابع تبدیل فیلتر از مقدار صفر دسی‌بل، که مقدار ایده‌آل آن صفر است.

ضریب تیزی: بیانگر میزان قدرت فیلتر در عبور سیگنال مربوطه و حذف سیگنال‌های زائد است.

[۱] Insertion loss



شکل ۱-۵: مشخصه فیلتر نوعی

فیلترها به طور کلی از نظر پاسخ فرکانسی به اقسام زیر تقسیم می‌شوند:

۱ – فیلتر پایین‌گذر (LPF[۱])

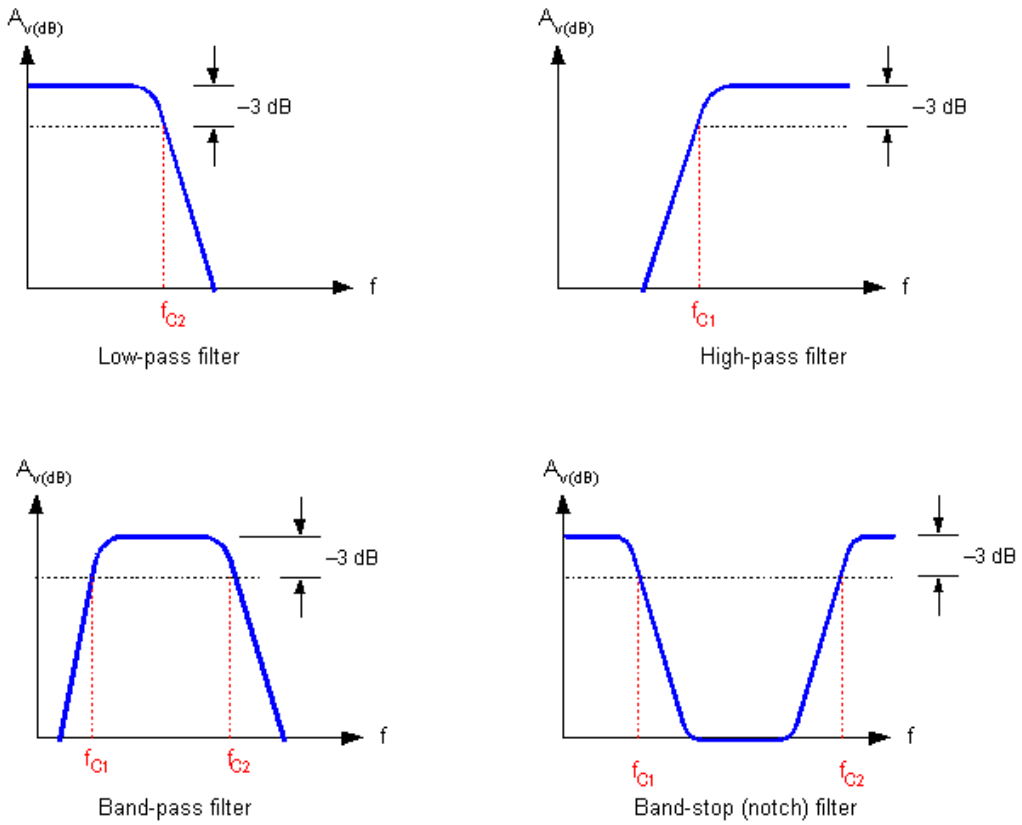
۲ – فیلتر بالاگذر (HPF[۲])

۳ – فیلتر میان‌گذر (BPF[۳])

۴ – فیلتر میان‌نگذر (BSF[۴])

شکل‌های هر یک از این فیلترها در شکل ۱-۶ آورده شده است.

[۱] Low Pass Filter
[۲] High Pass Filter
[۳] Band Pass Filter
[۴] Band Stop Filter



شکل ۱-۶: انواع فیلترها از نظر پاسخ فرکانسی

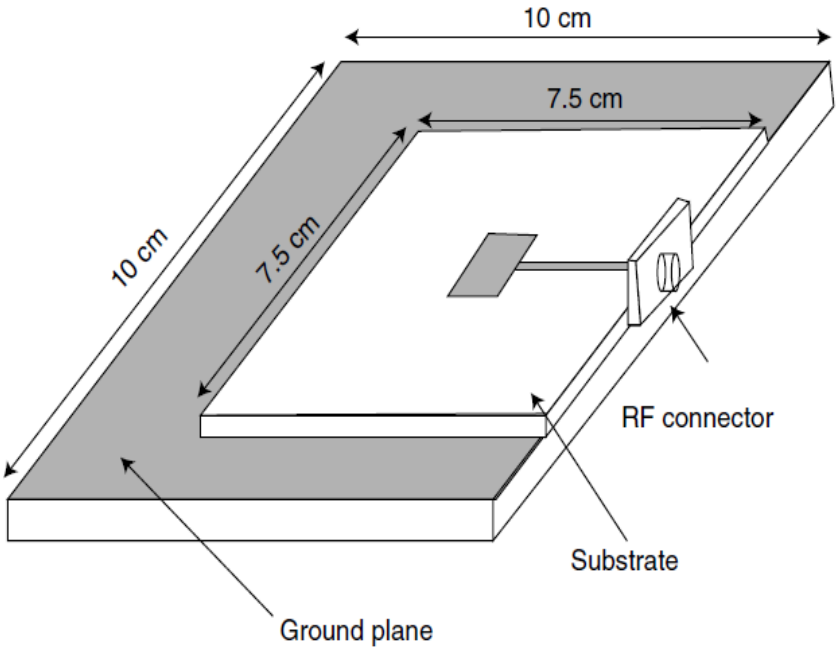
به دلیل استفاده‌ی زیاد از فیلترهای مایکروویو، مهندسین در صدد ساخت میکرو فیلترهای مایکروویو برآمدند، در ادامه چند نمونه از تکنولوژی‌های ساخت فیلتر همراه با بررسی اجمالی آورده شده است.

فیلترهای میکرواستریپ

یکی از انواع فیلترها که در سیستم‌های مخابراتی کاربرد فراوانی دارد مبتنی بر تکنولوژی میکرواستریپ می‌باشد. این فیلترها درحال حاضر تنها برای امواج میکروویو کاربرد دارند و استفاده آن‌ها در فرکانس‌های میلی‌متری به آسانی محقق نخواهد شد. بر خلاف تصور علمی که تاریخچه فیلترهای میکرواستریپ مربوط به سال‌های اخیر می‌شود، پیشینه این فیلترها به دهه ۱۹۵۰ برمی‌گردد. اگر چه تا دهه ۱۹۷۰ پیشرفت قابل توجهی در فیلترها به وجود نیامده

است[2].

در این زمان، پیشرفت تکنولوژی لیتوگرافی نوری[1] و همچنین منابع میکروویو کم هزینه حالت جامد در فرکانس‌های بالا، سبب توسعه محدوده کاری این فیلترها در کاربردهای میکروویو شد. شکل ۱-۷ نشان دهنده یکی از این فیلترها می‌باشد که از یک قطعه فلزی که توسط یک دی‌الکتریک از صفحه زمین جدا شده تشکیل شده است[2].



شکل ۱-۷: شمای یک سلول میکرواستریپی

انتخاب نوع هندسه این فیلترها بر اساس نوع مشخصات تشعشعی فیلتر مورد نظر می‌باشد. به عنوان مثال در این قبیل ساختارها قطعات مستطیلی، مربعی و دایره‌ای معمولا به علت مشخصات تشعشعی خوبشان مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حالیکه در جاهایی که پهنای باند وسیع‌تر مورد نیاز است از فیلترها نیم موج استفاده می‌شود. تمامی این اشکال هندسی سبب شکل‌دهی مناسب فیلترها از نظر زیبایی و کارایی خواهند شد و می‌توانند بر روی هر سطح فلزی مسطح یا غیر مسطح واقع شوند. به همین علت در سال‌های اخیر دارای کاربرد بیشتری در

[1] Photolithography