





**دانشگاه آزاد اسلامی**

**واحد تهران مرکزی**

**دانشکده فنی و مهندسی ، گروه برق**

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

**گرایش: الکترونیک**

**عنوان :**

طراحی فیلتر میانگذر موج صوتی سطحی برای کاربرد RFID TAG

**استاد راهنما :**

دکتر فرهاد رزاقیان

**استاد مشاور :**

دکتر علیرضا کاشانی نیا

**پژوهشگر :**

سحر سیمپاری

پائیز ۱۳۹۱

## تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده‌اند، دستم را گرفتند و راه رفتن در این وادی پر از فراز و نشیب را به من آموختند.

## تشکر و قدردانی

با تشکر از دانشگاه آزاد اسلامی، خالصانه‌ترین مراتب قدردانی خود را به استاد عزیز و گرانقدرم جناب آقای دکتر فرهاد رزاقیان که با متانت و مهربانی فراوان راهنمایی‌های این تحقیق را برعهده داشته تقدیم می‌دارم. همچنین از استاد مشاور جناب آقای دکتر علیرضا کاشانی نیا کمال تشکر را داشته و از خداوند بزرگ برای این بزرگواران آرزوی بهروزی و سعادت را مسئلت دارم. همچنین از اساتید گرامی گروه برق الکترونیک دانشگاه تهران مرکزی، جناب آقایان دکتر فرخی، دکتر کاشانی نیا، دکتر کنگرلو، دکتر جوادی، دکتر دانا و مرحوم دکتر قلی زاده که در طول دوران تحصیل افتخار بهره‌مندی از محضر ایشان را داشته‌ام سپاسگزاری می‌نمایم.

## فهرست مطالب

۱	چکیده.....
۲	مقدمه.....
۳	فصل یکم: بیان مسئله و پیشنهاد تحقیق.....
۳	۱-۱- بیان مسئله تحقیق.....
۹	۱-۲- اهمیت تحقیق.....
۱۰	۱-۳- روش تحقیق.....
۱۰	۱-۳-۱- نوع روش تحقیق.....
۱۰	۱-۳-۲- روش گردآوری اطلاعات.....
۱۱	فصل دوم: بررسی ساختار و ویژگی های قطعات SAW.....
۱۱	۱-۲- معرفی انواع موج و قطعات موج صوتی سطحی.....
۲۱	۲-۲- تئوری پیزوالکتریسته.....
۲۲	۲-۳- امواج الاستیک.....
۲۷	۲-۳-۱- واسط غیرایزوتروپیک نامحدود.....
۲۸	۲-۳-۲- مسئله موج سطحی در واسط محدود.....
۲۹	۲-۳-۳- شرایط مرزی سطحی.....
۳۲	۲-۴- فرم جابجایی برای امواج سطحی.....
۳۲	۲-۵- امواج سطحی با اثرات پیزوالکتریک.....
۳۵	۲-۵-۱- حل موج leaky.....
۳۷	۲-۶- روش های حل عددی.....
۳۸	۲-۷- مدلسازی قطعات موج صوتی سطحی.....



فصل چهارم: طراحی و شبیه سازی و مقایسه نتایج.....	۷۹
۴-۱- ساختارهای پیزوالکتریک در کوپلینگ با زیرلایه های متفاوت.....	۷۹
۴-۲- بررسی تاثیرات بکارگیری فلزات متفاوت در الکترودها.....	۸۵
۴-۳- بررسی تاثیرات تغییر ارتفاع زیرلایه پیزوالکتریک و الکترودهای فلزی بر روی پاسخ فرکانسی.....	۹۰
۴-۳-۱- تاثیر تغییرات ارتفاع زیرلایه پیزوالکتریک بر پاسخ فرکانسی.....	۹۰
۴-۳-۲- تاثیر تغییرات ارتفاع الکترودهای فلزی بر پاسخ فرکانسی.....	۹۲
۴-۴- مقایسه ساختارهای متفاوت.....	۹۴
۴-۵- فیلترها و مبدل های موج صوتی سطحی رایج.....	۱۰۳
۴-۵-۱- <b>single-phase unidirectional SAW transducer (SPUDT)</b> .....	۱۰۳
۴-۵-۲- <b>floating electrode unidirectional transducer (FEUDT)</b> .....	۱۰۵
۴-۵-۳- <b>DMS</b> فیلتر.....	۱۰۶
۴-۵-۴- شبیه سازی فیلتر دو پورته خط تاخیری با استفاده از مبدل های <b>FEUDT</b> .....	۱۰۹
۴-۵-۵- طراحی و شبیه سازی سه پیکره بندی فیلتر <b>DMS</b> .....	۱۱۱
نتیجه گیری.....	۱۱۸
فهرست منابع.....	۱۲۱
ضمیمه ۱.....	۱۲۷
ضمیمه ۲.....	۱۳۳
ضمیمه ۳.....	۱۳۵
فهرست اختصارات.....	۱۴۰
چکیده انگلیسی.....	۱۴۲

## فهرست جداول

- جدول ۱-۱: مواد رایج برای زیرساخت..... ۷
- جدول ۲-۱: ظرفیت های اجرایی SAW bandpass filter..... ۹
- جدول ۱-۲: سرعت انواع موج در برشهای مختلف برخی مواد..... ۱۹
- جدول ۲-۲: کاهش زیرنگاشت ها..... ۲۵
- جدول ۱-۳: ضرایب فیزیکی ZnO..... ۶۸
- جدول ۲-۳: پارامترهای شبکه منظم،  $\theta$  و فاصله d یک مرجع ZnO استاندارد..... ۷۷
- جدول ۱-۴: مقادیر فیزیکی پیکره بندی استفاده شده در شبیه سازی..... ۸۰
- جدول ۲-۴: constant loss در حضور زیرلایه الماس..... ۸۲
- جدول ۳-۴: constant loss در حضور زیرلایه glass..... ۸۳
- جدول ۴-۴: constant loss در حضور زیرلایه SiO<sub>2</sub>..... ۸۴
- جدول ۵-۴: constant loss در حضور زیرلایه GaAs..... ۸۴
- جدول ۶-۴: مقادیر پارامترهای فیزیکی رزوناتور طراحی شده جهت بررسی اثر مواد بکاررفته در الکترودهای فلزی..... ۸۸
- جدول ۷-۴: ابعاد المان های بکار گرفته شده..... ۸۹
- جدول ۸-۴: نتایج استخراج شده از پاسخ فرکانسی مواد فلزی مختلف بجای الکترودها بر روی ZnO و LiNbO<sub>3</sub>..... ۹۰
- جدول ۹-۴: مقادیر پارامترهای فیزیکی ساختار شبیه سازی شده برای بررسی اثر تغییرات ارتفاع ماده پیزوالکتریک..... ۹۱



جدول ۴-۱۰: نتایج استخراج شده از پاسخ فرکانسی های بدست آمده از شبیه سازی ساختارهای

مختلف ..... ۱۰۲

جدول ۴-۱۱: مشخصات فیزیکی رزوناتور دو پورتی طراحی شده شامل دو مبدل FEUDT ..... ۱۰۹

جدول ۴-۱۲: مقایسه پارامترهای خروجی سه فیلتر DMS شبیه سازی شده ..... ۱۱۷

## فهرست اشکال

شکل ۱-۱: بردارها مسیر انتشار را نشان می دهند (a) چندین خروجی و IDT ورودی (b) کانال آکوستیک موازی

مضاعف (c) رفلکتورهای نوع U-shaped acoustic (d) chevron ..... ۴

شکل ۲-۱: مشخصات فیلتر bandpass ..... ۶

شکل ۳-۱: فیلتر المان امپدانس ..... ۸

شکل ۱-۲: IDT در یک قطعه SAW ..... ۱۲

شکل ۲-۲: موج Rayleigh ..... ۱۳

شکل ۳-۲: IDT حالت تناوبی ..... ۱۴

شکل ۴-۲: مبدل دوسویه: خط تاخیر و فیلتر transversal ..... ۱۵

شکل ۵-۲: رزوناتور SAW با استفاده از رفلکتور ..... ۱۶

شکل ۶-۲: پیزوالکتریسیته در یک کریستال یونی ..... ۲۲

شکل ۷-۲: انواع موج الاستیک ..... ۲۳

شکل ۸-۲: سیستم مختصات مسائل موج سطحی ..... ۲۸

شکل ۹-۲: نمودار سرعت فاز نرمالیزه شده در صفحه xy ماده  $\text{LiNbO}_3$  ..... ۳۰

شکل ۱۰-۲: تغییرات جابجایی عمودی و طولی در ماده ایزوتروپیک ..... ۳۱

شکل ۱۱-۲: تغییرات جابجایی عمودی و طولی در ماده غیرایزوتروپیک ..... ۳۱

شکل ۱۲-۲: تغییرات موج ریلی در سطح و عمق ..... ۳۲

- شکل ۲-۱۳: سرعت فاز  $Leaky\ wave$  و  $Rayleigh$  بر ماده  $LiNbO_3$  بصورت تابعی از زاویه نسبت به محور  $x$ ..... ۳۵
- شکل ۲-۱۴: مدل تابع دلتا. خطوط میدان الکتریکی بعنوان منابع تابع دلتا تقریب زده می شوند..... ۳۹
- شکل ۲-۱۵: پاسخ یک فیلتر ساده با استفاده از مدلسازی تابع دلتا..... ۴۱
- شکل ۲-۱۶: میدان الکتریکی در حالت تقریبی و واقعی..... ۴۱
- شکل ۲-۱۷: مدار معادل میسون..... ۴۲
- شکل ۲-۱۸: مدار معادل یک  $SAW\ IDT$ ..... ۴۳
- شکل ۲-۱۹: انتشار متقابل امواج در مدل  $COM$ ..... ۴۵
- شکل ۲-۲۰: بازنمایی  $P$ -Matrix یک  $IDT$ ..... ۴۹
- شکل ۲-۲۱: گسسته سازی محدوده در  $FEM$ ..... ۵۱
- شکل ۲-۲۲: انواع المان ها تا ۳ بعد..... ۵۱
- شکل ۲-۲۳: تقریب میدان توسط المان های خطی و درجه دوم..... ۵۲
- شکل ۲-۲۴: (a) یک رزوناتور  $SAW$  تک پورته (b) مدار معادل رزوناتور..... ۵۵
- شکل ۲-۲۵: منحنی ادمیتانس یک رزوناتور  $SAW$  تک پورته..... ۵۵
- شکل ۲-۲۶: پارامترهای بکاررفته در محاسبه نرخ فلزکاری..... ۵۶
- شکل ۲-۲۷: ابعاد یک رزوناتور  $SAW$  تک پورته..... ۵۷
- شکل ۲-۲۸: کاهش مدل تا ۲ بعد..... ۵۸
- شکل ۲-۲۹: ساختار پرئودیک در یک رزوناتور..... ۵۹
- شکل ۲-۳۰: برش های مختلف کریستالی..... ۶۰
- شکل ۲-۳۱: زوایای اوپلر-چرخش های برش کریستالی..... ۶۰
- شکل ۲-۳۲: ساختار پرئودیک مش بندی شده..... ۶۴
- شکل ۲-۳۳: مدل  $FE$  ساختار پرئودیک..... ۶۴

- شکل ۲-۳۴: بردارهای میدان الکتریکی..... ۶۶
- شکل ۳-۱: ساختار کریستالی شش گوشه ای ZnO. اتم های قرمز بزرگتر اتم های زینک و اتم های کوچکتر، اتم های اکسیژن می باشند..... ۶۷
- شکل ۳-۲: دیاگرام ساده شده یک سامانه کاتدپرائی مگنترون RF. الکترون ها با اتم های گاز برخورد می کنند و سبب یونیزه شدن آنها می گردند. سپس این اتم های یونیزه شده نشانه را بمباران کرده و اتم های آن را از جای خود بیرون می رانند. این اتم ها مانند غبار حرکت کرده و روی زیرلایه تعیین شده همانند یک فیلم نازک نشست می کند..... ۷۰
- شکل ۳-۳: سیستم کاتدپرائی مگنترون RF در MRC..... ۷۲
- شکل ۳-۴: انعکاس معمول نسبت به طیف های طول موج برای یک فیلم ZnO..... ۷۵
- شکل ۳-۵: پرتوهای اشعه X که در یک کریستال متناوب با اتم ها تعامل برقرار می کنند..... ۷۶
- شکل ۳-۶: مثالی از اسکن XRD اکسید روی..... ۷۸
- شکل ۴-۱: پیکره بندی استفاده شده برای بررسی اثرات مواد زیرلایه بر پاسخ فرکانسی..... ۷۹
- شکل ۴-۲: ساختار رزوناتور مش بندی شده..... ۸۰
- شکل ۴-۳: فرکانس نامی تولید شده در حضور الماس..... ۸۱
- شکل ۴-۴: فرکانس نامی تولید شده بدون حضور الماس..... ۸۱
- شکل ۴-۵: فرکانس نامی تولید شده در حضور sapphire..... ۸۲
- شکل ۴-۶: فرکانس نامی تولید شده در حضور glass..... ۸۳
- شکل ۴-۷: فرکانس نامی تولید شده در حضور SiO<sub>2</sub>..... ۸۳
- شکل ۴-۸: فرکانس نامی تولید شده در حضور GaAs..... ۸۴
- شکل ۴-۹: سرعت موج صوتی در ماده پیزوالکتریک در کوپلینگ با زیرلایه های مختلف..... ۸۵
- شکل ۴-۱۰: ساختار طراحی شده جهت بررسی مواد متفاوت بکار رفته در الکترودهای فلزی..... ۸۹
- شکل ۴-۱۱: پیکره بندی فیلتر دو پورته با ارتفاع متفاوت لایه پیزوالکتریک..... ۹۱
- شکل ۴-۱۲: تغییرات فرکانس رزونانس (فیلتر میانی فیلتر) در مقابل تغییرات ارتفاع لایه پیزوالکتریک..... ۹۲

- شکل ۴-۱۳: ساختار شبیه سازی شده با ارتفاع الکترودهای مختلف که شامل ۱۸۷۱ المان است..... ۹۳
- شکل ۴-۱۴: میزان جابجایی حاصل شده در ارتفاع الکترودهای  $0.1 \mu\text{m}$  و در فرکانس  $12 \text{GHZ}$ ..... ۹۳
- شکل ۴-۱۵: تغییرات فرکانس کاری در مقابل تغییرات ارتفاع الکترودها..... ۹۴
- شکل ۴-۱۶: ساختار نوع ۱..... ۹۵
- شکل ۴-۱۷: پاسخ فرکانسی پیکره بندی نوع ۱..... ۹۵
- شکل ۴-۱۸: نمودار ادمیتانس پیکره بندی نوع ۱..... ۹۶
- شکل ۴-۱۹: ساختار نوع ۲..... ۹۶
- شکل ۴-۲۰: پاسخ فرکانسی پیکره بندی نوع ۲..... ۹۷
- شکل ۴-۲۱: نمودار ادمیتانس پیکره بندی نوع ۲..... ۹۷
- شکل ۴-۲۲: ساختار نوع ۳..... ۹۸
- شکل ۴-۲۳: پاسخ فرکانسی پیکره بندی نوع ۳..... ۹۸
- شکل ۴-۲۴: نمودار ادمیتانس پیکره بندی نوع ۳..... ۹۹
- شکل ۴-۲۵: ساختار نوع ۴..... ۹۹
- شکل ۴-۲۶: پاسخ فرکانسی پیکره بندی نوع ۴..... ۱۰۰
- شکل ۴-۲۷: نمودار ادمیتانس پیکره بندی نوع ۴..... ۱۰۰
- شکل ۴-۲۸: ساختار نوع ۵..... ۱۰۱
- شکل ۴-۲۹: پاسخ فرکانسی پیکره بندی نوع ۵..... ۱۰۱
- شکل ۴-۳۰: نمودار ادمیتانس پیکره بندی نوع ۵..... ۱۰۲
- شکل ۴-۳۱: تغییرات فرکانس مرکزی فیلتر در مقابل تغییرات ارتفاع لایه فلزی میانی..... ۱۰۳
- شکل ۴-۳۲: انواع SPUDT..... ۱۰۹
- شکل ۴-۳۳: مبدل FEUDT معرفی شده توسط Yamanouchi..... ۱۰۵
- شکل ۴-۳۴: فیلتر Longitudinally-coupled resonator..... ۱۰۶
- شکل ۴-۳۵: فیلتر IEF..... ۱۰۶
- شکل ۴-۳۶: فیلتر LCR شامل دو مبدل..... ۱۰۷
- شکل ۴-۳۷: رزوناتور دو پورته..... ۱۰۷

- شکل ۴-۳۸: فیلتر LCR شامل سه مبدل..... ۱۰۸
- شکل ۴-۳۹: ساختار سه بعدی خط تاخیر شامل د. مبدل FEUDT..... ۱۱۰
- شکل ۴-۴۰: نمودار تغییرات فرکانس رزونانس قطعه برحسب تغییرات تعداد الکترودهای شناور..... ۱۱۰
- شکل ۴-۴۱: نمودار تغییرات پهنای باند قطعه برحسب تغییرات تعداد الکترودهای شناور..... ۱۱۱
- شکل ۴-۴۲: نمودار تغییرات اتلاف قطعه برحسب تغییرات تعداد الکترودهای شناور..... ۱۱۱
- شکل ۴-۴۳: پیکره بندی فیلتر LCR شامل یک مبدل IDT ورودی و دو مبدل IDT خروجی..... ۱۱۲
- شکل ۴-۴۴: پاسخ فرکانسی فیلتر DMS شامل یک مبدل IDT ورودی و دو مبدل IDT خروجی..... ۱۱۲
- شکل ۴-۴۵: نمودار ادیتمیتانس فیلتر DMS شامل یک مبدل IDT ورودی و دو مبدل IDT خروجی..... ۱۱۳
- شکل ۴-۴۶: پیکره بندی فیلتر LCR شامل یک مبدل IDT ورودی و دو مبدل IDT خروجی و چهار شبکه رفلکتوری..... ۱۱۳
- شکل ۴-۴۷: پاسخ فرکانسی فیلتر LCR شامل یک مبدل IDT ورودی و دو مبدل IDT خروجی و چهار شبکه رفلکتوری..... ۱۱۴
- شکل ۴-۴۸: نمودار ادیتمیتانس فیلتر LCR شامل یک مبدل IDT ورودی و دو مبدل IDT خروجی و چهار شبکه رفلکتوری..... ۱۱۴
- شکل ۴-۴۹: ساختار فیلتر DMS شامل یک مبدل ورودی FEUDT و دو مبدل خروجی SPUDT..... ۱۱۵
- شکل ۴-۵۰: نمودار پاسخ فرکانسی فیلتر DMS با مبدل FEUDT..... ۱۱۶
- شکل ۴-۵۱: نمودار ادیتمیتانس فیلتر DMS با مبدل FEUDT..... ۱۱۶

## چکیده

در پژوهش حاضر تلاش شده است تا مفاهیم جامع و اساسی ادوات موج صوتی سطحی بطور کامل مطرح شده و روش های مختلف حل بررسی گردد. اساس این پژوهش بر مبنای ماده پیزوالکتریک اکسید روی است که بدلیل پارامترهایی چون کوپلینگ الکتروآکوستیکی نسبتا مناسب، پایداری حرارتی تقریبا خوب و البته هزینه پایین تر بدلیل در دسترس بودن در مقایسه با سایر مواد پیزوالکتریک رایج انتخاب گردیده است. با توجه به نیاز صنایع خصوصا مخابرات به ادواتی مانند فیلتر و رزوناتورهایی با فرکانس کاری بالا و پهنای باند باریک سعی در دسترسی به مواد جدیدتری بود که در کوپلینگ با ماده پیزوالکتریک پاسخ فرکانسی بهتری را منجر گردد. همچنین در این پژوهش مقایسه جامعی میان مواد مختلف فلزی که در مبدل ها و رفلکتورها بکار می روند صورت گرفته است و نیز پیکره بندی هایی شامل چند صفحه فلزی پیشنهاد و شبیه سازی گردید و نشان داده شده که نسبت به ساختارهای پیشین دارای پهنای باند باریکتر و فرکانس رزونانس بالاتری می باشند. در ادامه انواع رایج تر مبدل و فیلتر LCR که بعنوان فیلتر فرکانس بالا در صنعت تجهیزات مخابراتی کاربرد دارند معرفی و ساختارهای متفاوتی از آن ارائه گردید. مشاهده شد که استفاده از FEUDT در ساختار فیلتر می تواند فرکانس کاری را افزایش و پهنای باند و ادمیتانس را کاهش دهد.

## مقدمه

اولین مبدل صوتی در ۱۹۱۵ برای ردیاب های صوتی در زیردریایی ها ساخته شد که از اثر پیزوالکتریک در کوارتز برای تولید امواج صوتی در دریا استفاده می کرد. امروزه رزوناتورهای کوارتز در کاربردهای بسیاری استفاده می شوند. از جذابیت های امواج صوتی سرعت نسبتا پایین آن است که با توجه به اتلاف پایین منجر به تولید ادواتی با Q مناسب میگردد. 'IDT' نخستین بار در ۱۹۶۵ مطرح گردید [۱۱].

در سال های اخیر دامنه وسیعی از ادوات مانند خطوط تاخیر<sup>۲</sup>، فیلترهای میانگذر، رزوناتورها و اسپلاتورها با توجه به خواص امواج صوتی ساخته شده اند. این ادوات در بسیاری از سیستم ها مانند تجهیزات رادارهای حرفه ای و مخابراتی، تلویزیون های کابلی Tag، های شناسایی RF و .. بکار می روند. ممکن است استفاده از مواد جدید سبب افزایش فرکانس کاری فیلتر و کوچکتر شدن ابعاد آن شود که این مسئله در تجهیزات مخابراتی اهمیت فوق العاده ای دارد لذا انگیزه پژوهش حاضر بررسی شرایط امکان دسترسی به اهداف فوق می باشد که در ادامه فهرست شده اند.

---

<sup>۱</sup> Inter Digital Transducer

<sup>۲</sup> Delayline

## فصل یکم

### بیان مسئله و پیشنهاد تحقیق

#### ۱-۱- بیان مسئله تحقیق

در قطعا SAW<sup>۱</sup>، هدایت بین یک سیگنال الکتریکی و یک موج صوتی با استفاده از IDT یا همان مبدل، ایجاد می شود. IDT شامل دو فلز شانه ای شکل است که در هم رفته اند و در روی سطحی از زیر لایه پیزوالکتریک قرار میگیرند. IDT مستقیماً به آنتن tag متصل شده است که این آنتن سیگنال را از Reader دریافت و سیگنال پاسخ تولید شده توسط tag را به Reader میفرستد [۱].

SAW tag ها به طور کلی شامل دو قسمت هستند: ۱- یک IDT برای تولید و دریافت پالسهای SAW (یا چندین IDT اگر tag های ورودی و خروجی مجزا باشند). ۲- یک قسمت برای رمزی کردن سیگنال (بازرسی سیگنال<sup>۲</sup>) قبل از اینکه دوباره ارسال گردد. هدف در این پژوهش کار بر بخش نخست طراحی SAW tag و بهینه سازی عملکرد آن در محدوده فرکانسی بالای ۱.۵Ghz می باشد.

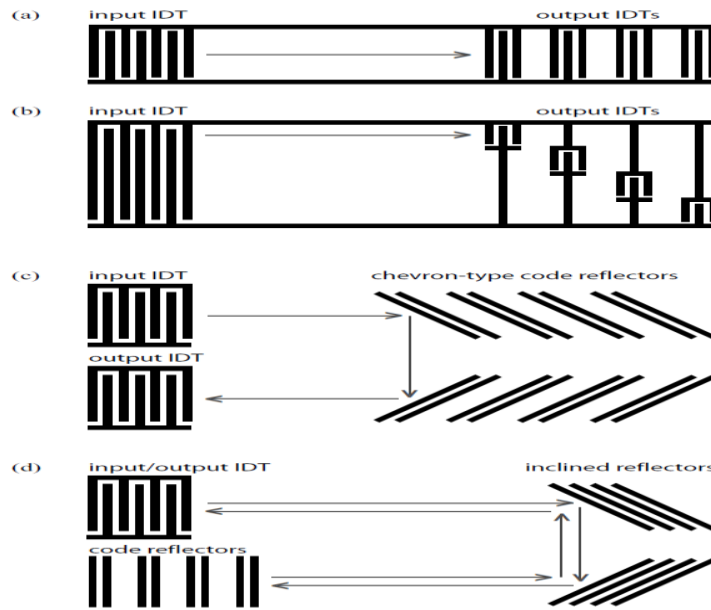
اولین SAW tag ها دارای یک IDT ورودی و چند IDT خروجی بودند که IDT ورودی و تمام IDT های خروجی روی یک خط قرار داشته و همه به busbar های (شین اصلی) مشترک متصل بودند که نمونه ای از آن در شکل زیر نشان داده شده است [۲], [۳]:

---

<sup>۱</sup> Surface Acoustic Wave

<sup>۲</sup> interrogation





شکل ۱-۱: بردارها مسیر انتشار را نشان می دهند. (a) چندین IDT خروجی و IDT ورودی (b) کانال آکوستیک موازی

#### مضاعف (c) رفلکتورهای نوع chevron (d) U-shaped acoustic

مشکل این ساختار این بود که مبدل های خروجی به عنوان مبدل ارسال عمل کرده و نیز انعکاسهای جزئی که به علت مبدل های خروجی ایجاد میگردد مشکل ساز است. برای اصلاح این شکل هندسی، مبدل خروجی به چند مبدل موازی تقسیم میگردد [۴] این کار باعث میشود در جهت عرضی فضای بیشتری نیاز داشته باشیم و در نتیجه تلفات افزایش می یابد (شکل ۱-۱. b). یک اصلاح دیگر استفاده از رفلکتورهای کد کننده مورب<sup>۱</sup> است که باعث میشود المانهای کد شده به یک کانال صوتی مشترک برگردند [۶], [۵] این کار با جایگزینی IDT های خروجی کد کننده با یک آرایه ای از رفلکتورها که بصورت نوع Chevron هستند حاصل میگردد (شکل ۱-۱. c). با استفاده از رفلکتورهای مورب از انعکاسهای چند گانه بین المانهای کد کننده جلوگیری میشود. این کار قبلاً برای جایگزینی مبدل های کد کننده با انعکاس دهنده های امواج صوتی صورت گرفته است. با استفاده از

<sup>۱</sup>chevron-type code reflectors

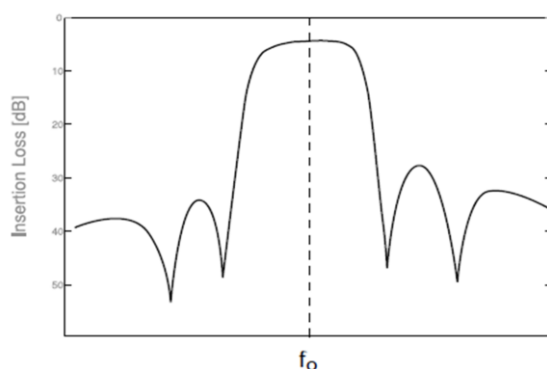
رفلکتورها بجای مبدل ها قادر خواهیم بود راندمان را بالا ببریم این کار با استفاده از اشغال سطح بیشتری از زیرلایه صورت میگیرد در این صورت امواج اکنون یک مسیر رفت و برگشت را از IDT به رفلکتورها و برعکس ایجاد میکنند. در این حالت IDT یکسانی برای ارسال و دریافت (ورودی و خروجی) بکار میرود. کاهش بیشتر طول tag می تواند توسط تا کردن کانال صوتی به داخل خود حاصل گردد [۷]. در طراحی های قبلی این کار با یک مسیر U شکل در کانال صوتی یا با استفاده از رفلکتورهای شیب دار انجام گرفته است (شکل ۱-۱ d). در طراحیهایی که ذکر شد از مبدل دو جهته استاندارد استفاده شده بود که موج تولیدی را به شکل یکسان در دو جهت و عمود بر الکتروود های انگشتی انتشار میداد [۸], [۵]. برای بعضی tagها، رفلکتورهای کد کننده باید در هر دو طرف IDT قرار بگیرند. قطعه بطور ذاتی تلفات دو جهته ای به اندازه ۳dB- دارند. بنابراین قرارداد رفلکتورها در دو طرف IDT فضای بیشتری را لازم می دارد و اندازه بزرگتری را ایجاد میکند. یک IDT تک جهته موج را در یک جهت انتشار می دهد. بنابراین تمام رفلکتورها در یک جهت قرار میگیرند و باعث میشود تلفات دو جهته ایجاد نگردد [۹]. یک اختراع مهم در کاهش اندازه، مبدل تک جهته تک فاز SPUDT<sup>۱</sup> بود. SPUDT بر اساس انعکاسهای داخلی در مبدل از طریق یک جهته بودن عمل میکند و این کار با جابجایی مرکز انتشار امواج به جایی که  $\lambda/8$  فاصله دارد حاصل میشود [۹]. بنابراین هدف این پژوهش بررسی انواع IDTSAW<sup>۲</sup>ها و انتخاب زیرلایه<sup>۳</sup> مناسب و طراحی بهینه جهت بهبود کیفیت و ارتقای سطح فرکانس کاری آن می باشد. بطور کلی فیلترهای SAW انواع مختلفی دارند که ساده ترین آنها از زیرساخت کوارتز استفاده می کند. استفاده از ماده پیزوالکتریک جهت کوپل کردن میدان های الکتریکی و مکانیکی است. همانطور که گفته شد IDTها بصورت متقارن دارای الکتروودهایی هستند که به دو bus-bar متصل اند. ولتاژ اعمال شده به IDT

<sup>۱</sup> Interdigital

<sup>۲</sup> Single Phase Unidirectional Transducer

<sup>۳</sup> Substrate

سبب تولید میدان الکتریکی در شکاف میان الکترودها می شود. اثر پیزوالکتریک موجود این میدان ها را با استرس مکانیکی که منبع تولید SAW هستند کوپل می کند. در مبدل خروجی میدان مرتبط با موج رخ داده ولتاژی را در الکترودها القا می کند و بنابراین یک ولتاژ مناسب در bus-bar های متصل به خروجی ظاهر می شود. این ادوات می توانند بعنوان فیلترهای میانگذر در نظر گرفته شوند. اگر فرکانس تغییر کند امواج تولید شده توسط منبع کاملاً هم فاز نیستند و مجموع دامنه نیز تغییر می کند بنابراین قطعه ویژگی میانگذری دارد. پهنای باند بصورت تخمینی  $1/T$  است که  $T$  طول مبدل در واحد زمان است (سرعت SAW / طول فیزیکی  $T$ ). شکل ۲ پاسخ فرکانسی یک فیلتر میانگذر را نشان می دهد.



شکل ۱-۲: مشخصه کلی یک فیلتر میانگذر.

حداکثر فرکانس امکان پذیر توسط پهنای الکترودها تعریف می شود. در فرکانس مرکزی الکترودها دارای فضای  $\lambda/2$  و عموماً پهنای  $\lambda/4$  هستند. کوچکترین پهنای خطی که تا کنون بدست آمده  $\mu\text{m}$  ۰.۳ است و برای SAW با سرعت  $3500\text{m/s}$  فرکانس مرکزی در حدود  $3\text{Ghz}$  است. مواد و زیر لایه هایی که برای ساخت ادوات SAW بکار می روند باید دارای ثابت کوپلینگ پیزوالکتریک ( $K^2$ ) مناسب باشند که بیان کننده قدرت کوپلینگ میدان های الکتریکی و مکانیکی

است. عموماً با داشتن  $K^2$  بزرگ insertion loss کمتر خواهد بود. ویژگی مهم دیگر ضریب دمایی تاخیر (TCD<sup>۱</sup>) است که مشخص کننده چگونگی تغییرات تاخیر با دما است. جدول ۱-۱ شامل بخشی از اطلاعات در مورد برخی از مواد متعارف است [۱۰]. اطلاعات تنها برای پهنای باند ماکزیمم مشخص شده است.

جدول ۱-۱: مواد رایج برای زیرساخت

Material	Max. bandwidth	TCD (ppm/deg C)
ST Quartz, 34° Y-X	4 %	0
LiNbO <sub>3</sub> , 128° Y-X	20 %	75
LiTaO <sub>3</sub> , X-112° Y	8 %	18
LiTaO <sub>3</sub> , 42° Y-X	20 %	32

Lithium niobate کوارتز دارای کوپلینگ ضعیفی است اما پایداری حرارتی آن خوب است. Lithium tantalite دارای خواص عکس کوارتز است و دارای کوپلینگ خوب اما پایداری حرارتی نسبتاً ضعیف است و پیروالکتریکی و پایداری حرارتی مناسب تری باشد در این زمینه استفاده نمود. ماده پیشنهادی در این پژوهش ZnO (اکسید روی) است. بنظر می رسد استفاده از یک لایه نازک ZnO بر روی لایه ای مانند Si یا GaAs که دارای خواص غیر پیروالکتریک هستند علاوه بر ایجاد خواص مناسب برای کاربرد در ادوات SAW به مجتمع سازی این فیلترها جهت صنایع مخابراتی کمک کند. فیلترهای میانگذر SAW انواع مختلفی دارند از جمله Transversal filter که فیلتری است که پاسخ ایمپالس آن براساس ترتیب همپوشانی های الکترودهای آن بدست می آید. این فیلترها دارای ویژگی هایی هستند که در کارایی سیستم موثراند:

- ریپل در باند، کم و در حدود ۰.۲db است.
- Rejection در باند توقف می تواند ۶۰db باشد.

<sup>۱</sup> temperature coefficient of delay

<sup>۲</sup> stopband