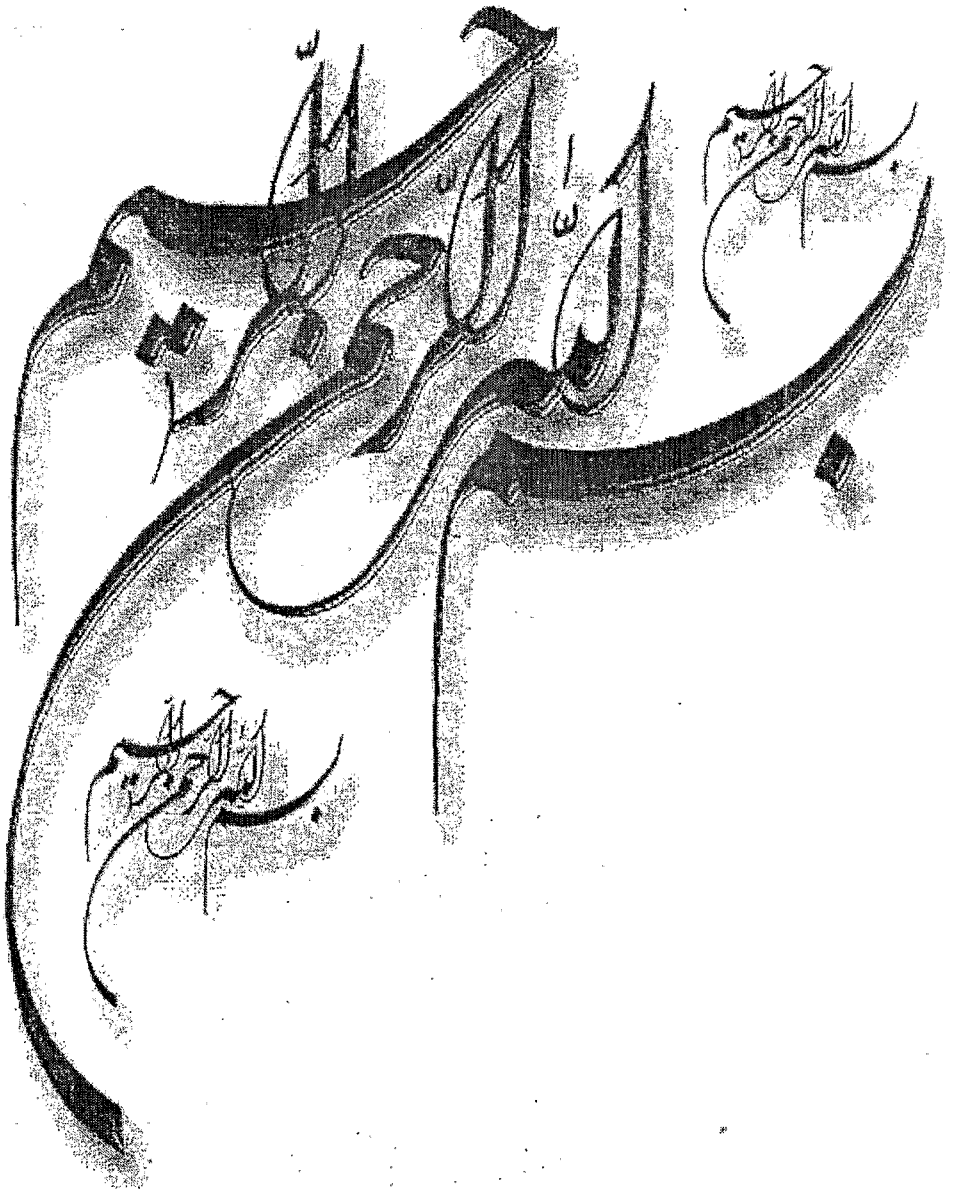
٨٧/١/١٠١٧٥٠
٨٧/١٠/٢٢



١٠٧٤٦٦

دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
دانشکده علوم
گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش لیزر

عنوان پایان‌نامه

موجک بهینه برای نوفه زدایی سیگنال بازگشتی لیدار بر مبنای لیزر $TEA\text{-}CO_2$ به روش ForWaRD

استاد راهنما،
دکتر علیرضا بهرامپور

دانشجو :
شراره ایزدنیا

۱۳۸۷/۱۰/۰۵

شهریور 86

۱۰۷۴۶۶

مدیریت تحصیلات تکمیلی
دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

دانشگاه ولی‌عصر(عج) رفسنجان
دانشکده علوم
گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی‌ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش لیزر
خانم شراره ایزدنیا

تحت عنوان
موجک بهینه برای نوفه زدایی سیگنال بازگشتی لیدار
بر مبنای لیزر $TEA\text{-}CO_2$ به روش ForWaRD

در تاریخ ۱۳۹۶/۱۰/۱۵ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی ..... به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد/ استادان راهنمای پایان نامه دکتر علیرضا بهرامپور با مرتبه ی علمی ..استاد.... امضاء

۳- استاد/ استادان داور داخل گروه دکتر سید مهدی بیضایی با مرتبه ی علمی ..استادیار... امضاء

۴- استاد/ استادان داور خارج از گروه دکتر ناصر شاه طهماسبی با مرتبه ی علمی دانشیار..... امضاء

۵- نماینده تحصیلات تکمیلی دکتر محمد شفیعی با مرتبه ی علمی ..استادیار... امضاء

حمد و سپاس بی‌کران، ایزد پاک را سزاست. آفریدگاری که عالم هستی، نشانه‌ای از قدرت بی‌انتهای او و گردش افلاک نمودی از حکمت اوست. سپاس خدای را که من را در انجام و نگارش این رساله یاری نمود.

بر خود واجب می‌دانم که صمیمانه‌ترین سپاس را به کسانی که من‌را در نگارش این رساله یاری نمودند تقدیم نمایم:

اول از هر کسی پدر و مادر عزیزم که در تمام مراحل زندگی همیشه یار و یاور من بوده‌اند و هم‌چنین استاد عزیزم جناب آقای دکتر بهرامپور به مانند پدری دلسوز در انجام این رساله من‌را همراهی کردند.

خواهران و برادر عزیزم(فریبا، فرزانه، فیروزه، علی و محمد رضا) همیشه قوت قلبم بودند و همچنین دوستان عزیزم خانم‌ها الهام وفایی نژاد،اعظم سامانی، نرجس رشیدی، زکیه قادری، ربابه فلاح نرگس، محبوبه رحمانی و لطیفه قرنجیک که بودنشان آرامش خاطر برای من بود و سایر عزیزانی که من‌را یاری دادند: آقایان علی‌اصغر عسکری، مهندس باقر مرعشی، مهندس علی اسکندری‌پور، دکتر علی‌محمد میرعلی، مجید اسفیداری، منصور فرهادی و خانواده‌های محترم محمدی، دره‌شیری و ... در نهایت باز هم از تمامی عزیزان کمال تشگر را دارم و از خداوند منان به خاطر تمام نعمت‌هایش سپاسگذارم.

تقدیم به:

مادرم به پاس نیکی‌ها و مراقبت‌هایی که تا آموختم کشید

پدرم به خاطر رنج‌هایی که تا شدم تحمل کرد

چکیده :

درلیدارهایی که با لیزر $TEA-CO_2$ کار می‌کنند، به دلیل استفاده از نیتروژن برای بالا بردن توان، یک دنباله در پالس اصلی ایجاد می‌شود که دقت اندازه‌گیری را کاهش می‌دهد. برای از بین‌بردن اثرات دنباله پالس ،از روش نرم‌افزاری دی‌کانولوشن که حساس به نوفه است، استفاده کرده‌ایم و به همین دلیل نوفه افزایش می یابد. این روش باعث شده که اطلاعات تا حد زیادی مختل شود. برای از بین بردن یا کاهش دادن نوفه روش ترکیبی $ForWaRD$ که در آن هم صافی فوریه وهم نظریه‌ی موجک می باشد، را به کار می‌بریم .در این پایان نامه اقدام به ساخت موجکی منطبق با سیگنالی که توسط گیرنده در لیدار به دست می آید، کرده‌ایم و از این موجک در روش $ForWaRD$ استفاده می‌کنیم. این کار باعث می‌شود که کاهش نوفه بهتر انجام شود و ما نتیجه دقیق‌تری را می‌توانیم به دست آوریم و به خواص دقیقی از منطقه مورد نظر دست یابیم. در نهایت نتایج به دست آمده از شبیه سازی‌های رایانه‌ای را با نتایجی که قبلاً با استفاده از موجک های شناخته شده به دست آمده مقایسه کرده و به بهتر بودن این روش پی برده می شود.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

پیشگفتار..... ۱

فصل اول: سیستم ها و لیدار

۱-۱) سیستم ها و خواص آن ها..... ۳

۱-۱-۱) سیستم خطی..... ۳

۱-۱-۲) سیستم تغییر نا پذیر با زمان..... ۴

۱-۱-۳) سیستم وارون پذیر..... ۴

۱-۱-۴) سیستم علی..... ۴

۱-۱-۵) سیستم حافظه دار..... ۴

۱-۱-۶) سیستم بدون حافظه..... ۴

۱-۱-۷) سیستم خطی تغییر ناپذیر با زمان..... ۴

۱-۲) آشکار سازی از راه دور..... ۵

۱-۲-۱) سیستم دو پایانه..... ۵

۱-۲-۲) سیستم تک پایانه..... ۵

۱-۳) لیدار..... ۶

۱-۴) اجزای لیدار..... ۷

۱-۴-۱) فرستنده..... ۷

۱-۴-۲) گیرنده..... ۷

۱-۴-۳) آشکار ساز..... ۸

۱-۵) پراکندگی و جذب..... ۸

۱-۵-۱) انواع پراکندگی های کشسان..... ۹

الف: پراکندگی تشدیدی..... ۹

ب: پراکندگی رایلی..... ۹

ج: پراکندگی مای..... ۱۰

۱-۵-۲) انواع پراکندگی های نا کشسان..... ۱۱

الف: پراکندگی فلورسانی..... ۱۱

ب: پراکندگی رامان..... ۱۱

۱-۵-۳) جذب..... ۱۳

الف:جذب و پراکندگی دیفرانسیلی..... ۱۳

۱-۶) انواع لیدار..... ۱۴

۱-۶-۱) لیدار رایلی..... ۱۴

۱-۶-۲) لیدار رامان..... ۱۵

۱-۶-۳) لیدار تشدیدی..... ۱۵

۱-۶-۴) لیدار جذب دیفرانسیلی..... ۱۵

۱-۶-۵) لیدار داپلری..... ۱۶

۱-۷) معادلات لیدار..... ۱۷

۱-۸) لیزر CO_2..... ۲۰

۱-۹) روش های به دست آوردن پاسخ ضربه در لیدار..... ۲۱

۱-۹-۱) تغییر شکل ورودی به دلتای دیراک (ضربه)..... ۲۱

۱-۹-۲) حذف اثرات دنباله پالس لیزری به روش دی کانولوشن..... ۲۳

الف: روش تبدیل فوریه..... ۲۳

ب: روش ماتریسی..... ۲۳

ج: انتگرال ولترا..... ۲۵

۱-۱۰) نوفه در لیدار..... ۲۶

۱-۱۰-۱) نوفه کوانتومی..... ۲۶

۱-۱۰-۲) نوفه اجزای لیدار..... ۲۶

۱-۱۰-۳) نوفه جریان تاریک..... ۲۶

۱-۱۰-۴) نوفه پس زمینه..... ۲۶

۱-۱۱) ارتباط نوفه و دی کانولوشن..... ۲۷

فصل دوم : موجک و روش های کاهش نوفه

۲-۱) تبدیل فوریه..... ۲۸

۲-۲) تبدیل فوریه پنجره..... ۲۹

۲-۳) تبدیل موجک..... ۳۰

۲-۳-۱) قاب (فریم)..... ۳۱

۲-۳-۲) موجک..... ۳۱

۲-۳-۳) آنالیز تفکیک چند گانه..... ۳۲

الف: تبدیل موجک پیوسته..... ۳۴

ب: تبدیل موجک گسسته..... ۳۵

۲-۳-۴) نمونه برداری..... ۳۶

۲-۳-۵) رابطه موجک با فیلتر..... ۳۷

۲-۳-۶) فیلتر بانک..... ۴۰

۲-۴) کاهش نوفه با استفاده از تبدیل فوریه (FoRD)..... ۴۳

۲-۵) کاهش نوفه به وسیله ی موجک (WVD)..... ۴۵

۲-۶) کاهش نوفه توسط ForWaRD..... ۴۹

۲-۷) ساخت موجک منطبق با سیگنال..... ۵۰

۲-۷-۱) انطباق جداگانه دامنه و فاز طیف موجک با پهنای باند محدود بردامنه

و فاز طیف سیگنال دلخواه..... ۵۱

۲-۷-۲) انطباق دامنه طیف موجک بر دامنه طیف سیگنال.....۵۷

۲-۷-۳) انطباق فاز طیف موجک بر فاز طیف سیگنال.....۵۹

فصل سوم : روش جدید طراحی موجک منطبق برسیگنال دلخواه

۳-۱) طراحی موجک.....۶۳

۳-۱-۱) انطباق هم زمان دامنه و فاز طیف موجک با پهنای باند محدود بردامنه

وفاز طیف سیگنال دلخواه.....۶۴

۳-۲)الگوریتم عددی.....۷۵

فصل چهارم : نتایج و شبیه سازی های کامپیوتری

۴-۱) شبیه سازی ها.....۷۹

۴-۲) نتیجه گیری.....۱۰۲

پیوست۱. مقاله ارائه شده در چهارمین سمینار جبر خطی به همراه کارگاه موجک...۱۰۳

پیوست۲. مقاله ارائه شده در کنفرانس فیزیک ایران ۱۳۸۶.....۱۰۸

مراجع.....۱۱۲

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

فصل اول

شکل ۱-۱ سیستم با ورودی $X(t)$ وخروجی $Y(t)$ ۴

شکل ۱-۲ اجزای تشکیل دهنده لیدار ۷

شکل ۱- ۳ پراکندگی تشدیدی ۹

شکل ۱-۴ پراکندگی رایلی ۱۰

شکل ۱-۵ پراکندگی مای ۱۰

شکل ۱-۶ پراکندگی فلورسانی ۱۱

شکل ۱-۷ پراکندگی رامان ارتعاشی ۱۳

شکل ۱-۸ جذب ۱۳

شکل ۱-۹ جذب و پراکندگی دیفرانسیلی ۱۴

شکل ۱-۱۰ مدهای مختلف CO_2 ..... ۲۰

شکل ۱-۱۱ سیستم قطع کننده پلاسما..... ۲۲

شکل ۱-۱۲ سیستم قطع کننده پلاسما..... ۲۲

شکل ۱-۱۳ کانولوشن پالس لیزر با پاسخ ضربه..... ۲۴

شکل ۱-۱۴ معکوس ماتریس..... ۲۴

فصل دوم

شکل ۲-۱ جعبه زمان- فرکانس هایزنبرگ برای دو پنجره $g_{u,\xi}$ و $g_{u,\gamma}$ ۳۰

شکل ۲-۲ نمایشی از زیر فضای تو در تو..... ۳۳

شکل ۲-۳ جعبه زمان- فرکانس هایزنبرگ برای دو موجک $\psi_{u,s}$ و ψ_{u_0,s_0}..... ۳۶

شکل ۲-۴ انواع فیلترها..... ۳۷

شکل ۲-۵ سیستم کاهنده نمونه..... ۴۰

شکل ۲-۶ سیستم افزاینده نمونه..... ۴۰

شکل ۲-۷ ساختار فیلتر بانک تجزیه..... ۴۱

شکل ۲-۸ ساختار فیلتر بانک ترکیب..... ۴۱

شکل ۲-۹ ساختار فیلتر بانک بازسازی کامل..... ۴۲

شکل ۲-۱۰ مربوط به اثبات قضیه ۱..... ۵۲

شکل ۲-۱۱ ماتریس A ۵۹

فصل چهارم

شکل ۴-۱ موجک میر..... ۸۰

شکل ۴-۲ طیف دامنه سیگنال در باند مثبت..... ۸۰

شکل ۴-۳ فاز سیگنال در باند مثبت..... ۸۱

شکل ۴-۴ سیگنال اصلی و موجک منطبق با سیگنال به روش رائو..... ۸۱

شکل ۴-۵ دامنه سیگنال اصلی و دامنه موجک منطبق بر سیگنال..... ۸۲

شکل ۴-۶ تأخیر گروه سیگنال و تأخیر گروه موجک منطبق بر سیگنال..... ۸۲

شکل ۴-۷ سیگنال اصلی و موجک منطبق با روش کمینه‌سازی هم‌زمان..... ۸۳

شکل ۴-۸ موجک منطبق بر سیگنال روش کمینه‌سازی هم زمان طیف و دامنه..... ۸۳

شکل ۴-۹ دامنه سیگنال و دامنه موجک منطبق بر سیگنال..... ۸۴

شکل ۴-۱۰ دامنه موجک منطبق بر سیگنال..... ۸۴

شکل ۴-۱۱ فاز موجک منطبق بر سیگنال..... ۸۵

شکل ۴-۱۲ فاز سیگنال و فاز موجک منطبق بر آن..... ۸۵

شکل ۴-۱۳ پالس لیزر..... ۸۷

شکل ۴-۱۴ پاسخ ضربه محیط..... ۸۷

شکل ۴-۱۵ پاسخ ضربه محیط و سیگنال دریافتی کانولو پاسخ ضربه با پالس..... ۸۸

شکل ۴-۱۶ پاسخ ضربه به دست آمده از روش دی‌کانولوشن تبدیل فوریه..... ۸۹

شکل ۴-۱۷ سیگنال دریافتی لیدار با نوفه..... ۸۹

شکل ۴-۱۸ پاسخ ضربه دی‌کانولوشن تبدیل فوریه با در نظر گرفتن نوفه..... ۹۰

شکل ۴-۱۹ کاهش نوفه با استفاده از صافی واینر با $\alpha = 2 \times 10^{13}$ ۹۱

شکل ۴-۲۰ کاهش نوفه با استفاده از صافی واینر با $\alpha = 250\times10^{13}$ ۹۱

شکل ۴-۲۱ کاهش نوفه با استفاده از صافی واینر با $\alpha = 300\times10^{13}$ ۹۲

شکل ۴-۲۲ کاهش نوفه با استفاده از صافی تیخونوف با $\tau = 2\times10^{12}$ ۹۲

شکل ۴-۲۳ کاهش نوفه با استفاده از صافی تیخونوف با $\tau = 130\times10^{12}$ ۹۳

شکل ۴-۲۴ کاهش نوفه با استفاده از صافی تیخونوف با $\tau = 300\times10^{12}$ ۹۳

شکل ۴-۲۵ میانگین مربع خطا بر حسب α ۹۴

شکل ۴-۲۶ مربع میانگین خطا بر حسب τ ۹۵

شکل ۴-۲۷ موجک منطبق با شکل (۴-۱۸) ۹۶

شکل ۴-۲۸ کاهش نوفه با روش WVD با استفاده از موجک Sym۷ ..... ۹۶

شکل ۴-۲۹ روش WVD با استفاده از موجک منطبق، شکل(۴-۲۵) ۹۷

شکل ۴-۳۰ استفاده از صافی تیخونوف با $\tau = 130\times10^{12}$ و موجک Sym۷ ..... ۹۸

شکل ۴-۳۱ استفاده از صافی واینر با $\alpha = 250\times10^{13}$ و موجک Sym۷ ..... ۹۹

شکل ۴-۳۲ موجک منطبق با شکل (۴-۲۳) ۱۰۰

شکل ۴-۳۳ روش ForWaRD با استفاده از صافی تیخونوف و موجک منطبق ۱۰۰

شکل ۴-۳۴ موجک منطبق با شکل (۴-۲۰) ۱۰۱

شکل ۴-۳۵ روش ForWaRD با استفاده از صافی واینر و موجک منطبق ۱۰۱

فهرست جدول ها

عنوان صفحه

فصل چهارم

جدول ۴-۱ : مشخصات سیستم لیداری مورد استفاده در شبیه‌سازی‌ها.....۸۶

پیشگفتار :

بشر همواره به دنبال روش‌هایی بوده که بتواند اطلاعات را از نقاط مختلف و معمولاً دور دست، به دست آورد. برای مثال به دنبال کشف مواد در زیر زمین یا نوع و غلظت مواد تشکیل دهنده دریا و جو و... می‌باشند و هم‌چنین از نظر نظامی شناسایی بسیاری مواد از راه دور لازم و ضروری است (مخصوصاً درجنگ). به‌این ترتیب بشر بر حسب نیازش انواع آشکار ساز ها از راه دور را ساخت، که با آن‌ها می‌توانستند، اطلاعات فیزیکی و شیمیایی را از نقاط دور دست به دست آورند. برای مثال شناسایی سطح سیارات و اشکال گوناگون آن‌ها و شناسایی وجود جسم در نقاط دور و تعیین این که ساکن یا در حال حرکت است و حتی تعیین سرعت آن‌ها. در واقع اختراع آشکارسازها از راه دور از یک پدیده فیزیکی و بسیار طبیعی به نام انعکاس گرفته شده است. همه ما بارها و بارها بازگشت صدا را در مقابل صخره‌های عظیم تجربه کرده‌ایم. نور خورشید هم با استفاده از همین پدیده است که از سوی ماه و در هنگام شب به ما می‌رسد. به طور کلی کارایی آشکارسازها بیشتر در تعیین فاصله یا حدود هدف می‌باشد و هم‌چنین در اهداف زمینی، هوایی، دریایی، فضایی و هواشناسی نیز کابرد دارد.

تفاوت اصلی انواع آشکارسازها از راه دور در نوع فرستنده می‌باشد، برای مثال اگر در فرستنده از امواج رادیویی استفاده شود، آشکارساز را آشکارساز رادیویی (رادار) می‌نامند، هم‌چنین در برخی از آشکارسازها از امواج میکرو ویو که گستره طول موج آن‌ها نسبت به طیف مادون قرمز و مرئی می‌باشد، استفاده می‌کنند. اگر فرستنده یک منبع نور باشد آن گاه آشکارساز نوری داریم. برای به دست آوردن اطلاعات از اتمسفر، آشکارسازهای نوری به کار می‌بردند. اما از سال ۱۹۶۰ که لیزر اختراع شد، لیزر را به عنوان فرستنده در آشکارساز از راه دور نوری قرار داده و به این ترتیب تحول عظیمی در آشکارسازهای نوری روی داد. لیدار[۱] که نوعی آشکارساز لیزری است، نتیجه همین تحول می‌باشد [۱]. با گذشت زمان وکشف انواع لیزر، به عنوان مثال لیزرهای با توان قابل تنظیم (رامان[۲] و رایلی[۳]) و یا با طول موج های قابل تنظیم (رنگ[۴] و دی‌اکسیدکربن[۵]) یا با طول موج‌های مشخص (فلورسانی[۶] و تشدیدی[۷]) لیدارها پیشرفت کردند و با تجزیه و تحلیل سیگنال‌های که توسط گیرنده آشکارسازی می شوند، می‌توان اطلاعات زیادی را از هدف موردنظر به دست آورد.

لیدار همان طور که در فصل اول خواهید دید، شامل سه قسمت است که در قسمت خروجی توسط آشکارساز، سیگنالی به دست می‌آید که اگر پاسخ ضربه آن‌را حساب کنیم، باز هم مطابق با مطالبی که در فصل اول آورده‌ایم، می‌توانیم اطلاعات را از محیط موردنظر کسب کنیم. ولی به علت وجود نوفه[۸] های مختلف، اطلاعات مختل می شوند. به این ترتیب محققان به دنبال کشف روش‌های مختلفی برای حذف اثرات این نوفه‌ها رفتند، تا بتوانند اطلاعات مختل نشده را از اطلاعات مختل شده به دست آورند. تحقیقات آن‌ها نتایج خوبی را در بر داشت، توانستند تا حد زیادی این اختلالات را از بین ببرند. به این ترتیب محققان وقتی روش‌های به دست آمده

---

۱ : Lidar (Light Detection And Ranging)
۲ : Raman
۳ : Rayleigh
۴ : Dye
۵ : Co_2
۶ : Fluoresence
۷ : Rsonance
۸ : Noise

برای از بین بردن اختلالات را به لیدارها اضافه کردند، توانستند نتایج بسیار خوبی را از آشکارسازی هدف مورده نظر به دست آورند.

شرحی از فصل‌های پایان‌نامه :

در فصل اول، ابتدا انواع سیستم‌ها و خواص آن‌ها را بیان کردیم. سپس برای‌آشنایی بیشتر و بهتر از لیدار انواع لیدارها و معادلات حاکم بر لیدار و نحوه کار آن‌ها را آوردیم. در ادامه چون لیداری که ما در نظر گرفتیم با لیزر $TEA-CO_2$ کار می‌کند. روش‌های حذف دنباله ناشی از نیتروژن که برای افزایش توان در لیزر $TEA-CO_2$ به کار رفته را بیان خواهیم کرد.

در فصل دوم تئوری موجک‌ها را توضیح داده و روش‌های کاهش نوفه با استفاده از صافی فوریه و با استفاده از تئوری موجک‌ها و روش $ForWaRD$ که ترکیبی از دو روش قبل است بیان شده است و در نهایت برخی از روش‌هایی که تا کنون برای ساخت موجک منطبق بر سیگنال ارائه شده را خواهیم پرداخت.

در فصل سوم روشی را که خودمان برای ساخت موجک مطابق با سیگنال به دست آورده‌ایم، بیان خواهیم کرد.

در فصل چهارم نتایجی که در فصل‌های قبل به دست آوردیم، به صورت شبیه‌سازی رایانه‌ای به صورت تعـدادی نمودار یا شکل ارائه خواهیم داد.

فصل اول
سیستم‌ها ولیدار

۱-۱) سیستم‌ها و خواص آن‌ها

هر فرایندی که شامل یک ورودی و یک خروجی باشد را سیستم گویند.
اگر سیگنال ورودی پیوسته باشد، آنگاه خروجی نیز پیوسته باشد، یک سیستم پیوسته در زمان است.
اگر ورودی یک سیگنال گسسته باشد و خروجی آن نیز گسسته باشد، یک سیگنال گسسته در زمان است. سیستم های بیان شده، ویژگی‌های خاصی دارند. در این جا به برخی از آن‌ها اشاره می‌کنیم [۲].

۱-۱-۱)سیستم خطی[۱] :

اگر X_0 و X_1 ورودی ها و Y_0 و Y_1 به‌ترتیب خروجی‌های سیستم ما باشند در صورتی که شرایط زیر برقرار باشد، سیستم خطی است.

$$aX_0 + bX_1 \rightarrow aY_0 + bY_0 \qquad (۱-۱)$$

$$X = 0 \Rightarrow Y = 0 \qquad (۱-۲)$$

---

[۱] : Liner system

۱-۱-۲) سیستم تغییر ناپذیر با زمان [۱]:

رفتار و مشخصات سیستم با زمان تغییر نکند، به عبارتی یعنی جا به‌جایی زمانی در ورودی به جا به جایی مشابهی در خروجی منجر شود.

$$X(t) \rightarrow Y(t)$$
$$X(t-t_0) \rightarrow Y(t-t_0) \qquad (۱-۳)$$

۱-۱-۳) سیستم وارون پذیر [۲]:

به ازای ورودی‌های متمایز، خروجی های متمایز بدهد.

۱-۱-٤) سیستم حافظه‌دار [۳]:

خروجی در هر زمان به ورودی در لحظات دیگر یعنی گذشته، حال و آینده بستگی دارد.

۱-۱-۵) سیستم بدون حافظه [٤]:

خروجی در هر زمان به ورودی در همان زمان رابطه دارد.

۱-۱-٦) سیستم علّی [۵]:

خروجی در هر زمان به مقادیر گذشته و حال ورودی بستگی دارد، در نتیجه هر سیستم علّی حافظه‌دار می باشد، زیرا به گذشته و حال ورودی بستگی دارد. اما هرسیستم حافظه‌داری حتماً علّی نیست، زیرا سیستم علّی به ورودی در آینده بستگی ندارد و سیستم حافظه‌دار شاید به آینده هم وابسته باشد.

۱-۱-۷) سیستم خطی تغییرناپذیربا زمان (LTI) :

این سیستم ترکیبی از سیستم‌های خطی و تغییر ناپذیر با زمان می‌باشد و خواص هر دو را دارد.
خروجی این نوع سیستم را می‌توان از کانولوشن ورودی در پاسخ ضربه به دست آورد.
در اینجا $h(t)$ پاسخ ضربه سیستم می‌باشد.

$$X(t) \rightarrow \boxed{h(t)} \rightarrow Y(t)$$

شکل ۱-۱: سیستم با ورودی $X(t)$ وخروجی $Y(t)$ [۲].

---

۱ : Time in variant system
۲ : Invertible system
۳ : Memorial system
٤ Un memorial system
۵ : Casual system