٢٩٧٤٨

بسم الله الرحمن الرحيم

۱۳۸۱ /۱/ ۲۰

017109

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات

طراحی و شبیه سازی یک ارتفاع سنج رادیوئی برای شرایط خاص

قربانعلی جعفرآبادی

استاد راهنما :

دکتر کیوان فرورقی

استاد مشاور :

مهندس علی گل محمدی

زمستان ۱۳۸۰

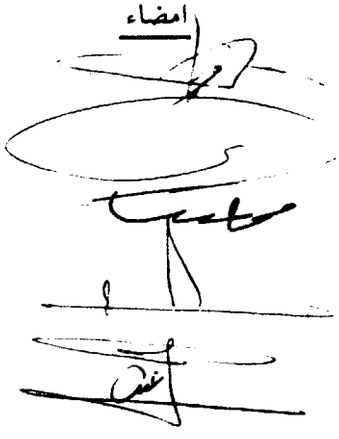
۳۹۷۴۵

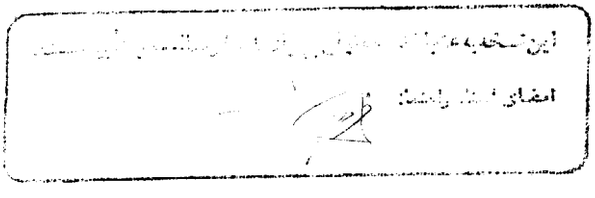
دانشگاه تربیت مدرس

تاییدیه هیات داوران

آقای **قربانعلی جعفرآبادی** پایان‌نامه ۶ واحدی خود را با عنوان **طراحی و شبیه‌سازی یک ارتفاع‌سنج رادیوئی برای شرایط خاص** در تاریخ ۸۰/۱۱/۲۳ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق باگرایش مخابرات پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	امضاء
۱ـ استاد راهنما :	آقای دکتر فرورقی	
۲ـ استاد مشاور :	آقای مهندس گل محمدی	
۳ـ استادان ممتحن :	آقای دکتر حکاک	
	آقای دکتر باستانی	
۴ـ مدیر گروه : (یا نمایندهٔ گروه تخصصی)	آقای دکتر غروی	





بسمه‌تعالی

آیین‌نامهٔ چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس، مبیّن بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

مادّهٔ ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

مادّهٔ ۲ در صفحهٔ سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد/رسالهٔ دکتری نگارنده در رشتهٔ ... است که در سال ... در دانشکدهٔ ... دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ... ، مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر ... و مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر ... از آن دفاع شده است.»

مادّهٔ ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهداکند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

مادّهٔ ۴ در صورت عدم رعایت مادّهٔ ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ‌شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرّس، تأدیه کند.

مادّهٔ ۵ دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در مادّهٔ ۴ را از محلّ توقیف کتابهای عرضه‌شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادّهٔ ۶ اینجانب قربانعلی جعفرآبادی دانشجوی رشته برق-مخابرات مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام‌خانوادگی: قربانعلی جعفرآبادی

تاریخ و امضا:

۸۰/۱۲/۱۵

سپاسگزاری

با سپاس از درگاه خداوند متعال، از زحمات پدر بزرگوار و مادر مهربانم و از کلیه اساتید محترم که در طول مقاطع تحصیلی مرا یاری نموده اند،کمال تشکر و قدر دانی را به عمل می آورم.

چکیده

طراحی و شبیه سازی یک ارتفاع سنج رادیوئی برای شرایط خاص

کاربرد اصلی یک ارتفاع سنج رادیوئی یا رادار ارتفاع سنج، اندازه گیری ارتفاع یک شئ نسبت به سطح زمین است. البته با توجه به دامنه و شکل موج بازگشتی، این دستگاه می تواند در مطالعات زمین شناسی، هواشناسی، نقشه برداری، سنجش از دور و بسیاری موارد دیگر،کاربرد گسترده ای داشته باشد. در این پایان نامه طراحی برای اندازه گیری محدوده ارتفاع (۲۰۰۰-۲۰) متر مورد نظرمی باشد. ر وشهای مختلف بررسی شده و نوع پالسی با مد پهنای پالس محدود انتخاب شده است. در این حالت سطح زمین باعث یک پهن شدگی و اعوجاج در پالس بازگشتی می شود.

در طراحی یک سیستم مناسب برای اندازه گیری و ردگیری ارتفاع و همچنین توسعه حوزه عملکرد ارتفاع سنج، آشنائی با شکل موج بازگشتی بسیار تعیین کننده است. نخست یک روش برای محاسبه پاسخ هر سطح دلخواه ارائه شده و پاسخ سطوح دارای یک تابع چگالی احتمال مشخص و تاثیر پارامتر های مختلف محیط و سیستم بر روی دامنه و شکل موج بازگشتی، محاسبه و شبیه سازی شده است. ضعف روشهای معمول ردگیری فاصله، برای کاربرد در ارتفاع سنجی، توسط شبیه سازی نشان داده شده و سپس روش آستانه نسبت (Ratio THresholding)، موسوم بهRTH برای اندازه گیری دقیق زمان ورود پالس بازگشتی ارتفاع سنج پیشنهاد شده ونتایج شبیه سازی آن آمده است. مزیت اصلی این روش پیاده سازی آسان آن است. در نهایت یک طراحی پایه برای گیرنده و فرستنده صورت گرفته و محاسبات مربوط به آنها انجام شده است.

واژه های کلیدی : ارتفاع سنج – رادار – شکل موج

عنوان	صفحه

مقدمه ۱

فصل اول : ارتفاع سنج FMCW ۵

۱-۱ : روابط ارتفاع سنج FMCW ۵

۱-۲ : تاثیر فرکانس داپلر ۸

۱-۳ : شمای بلوکی رادار ارتفاع سنج FMCW ۱۰

۱-٤ : پهنای باند ۱۱

فصل دوم : رادار ارتفاع سنج پالسی ۱۲

۲-۱ : کلیات ۱۲

۲-۲ : حداکثر فاصله بدون ابهام ۱٤

۲-۳ : کمترین ارتفاع قابل اندازه گی ۱۷

۲-٤ : دقت فاصله وقدرت تفکیک فاصله ۱۷

فصل سوم : روشهای دیگر ارتفاع سنجی و یک مقایسه ۲۰

۳-۱ : ارتفاع سنج فشاری ۲۰

۳-۲ : ارتفاع سنج لیزری ۲۲

۳-۳ : ارتفاع سنج صوتی ۲۲

۳-٤ : ارتفاع سنج ظرفیت ۲۳

۳-۵ : ارتفاع سنج اشعه کیهانی ۲٤

۳-٦ : ارتفاع سنج مغناطیسی ۲٤

۳-۷ : مقایسه ۲۵

فصل چهارم : شکل موج بازگشتی در رادار ارتفاع سنج پالسی ۳۰

٤-۱ : حالات مختلف عملکرد ارتفاع سنج پالسی ۳۰

٤-۲ : رادار ارتفاع سنج با پهنای شعاع محدود..... ۳۱

٤-۳ : رادار ارتفاع سنج با پهنای پالس محدود..... ۳۲

٤-٤ : شکل موج بازگشتی در حالت پهنای پالس محدود ۳۵

فصل پنجم : معادله رادار ارتفاع سنج و ملاحظات آنتن ٤۳

۵-۱ : معادله رادار ٤۳

۵-۲ : سطح مقطع راداری زمین..... ٤۷

۵-۳ : ملاحظات پارامتر های مختلف آنتن..... ۵۰

۵-۳-۱ : معادله بهره آنتن..... ۵۰

۵-۳-۲ : پهنای شعاع نیم توان آنتن ۵۱

۵-۳-۳ : پلاریزاسیون آنتن ۵٤

۵-٤ : محاسبه اندازه و شکل موج بازگشتی ۵۸

۵-۵ : شکل موج بازگشتی برای یک سطح ناهموار متقارن..... ٦۲

۵-٦ : شکل موج بازگشتی برای یک سطح ناهموار دلخواه..... ٦۷

۵-۷ : محاسبه اندازه و شکل موج بازگشتی به روش پاسخ ضربه..... ۷۱

۵-۷-۱ : متوسط پاسخ ضربه سطح صاف (FSIR) ۷۲

۵-۷-۲ : تابع چگالی احتمال ارتفاع عناصر پراکننده (PDF) ۷۷

۵-۷-۳ : پاسخ هدف نقطه ای سیستم (PTR) ۷۹

۵-۸ : نتایج شبیه سازی ۸۱

فصل ششم : اندازه گیری ارتفاع ۸۹

٦-۱ : مقدمه ۸۹

٦-۲ : ردگیری فاصله و روشهای مختلف آن ۹۲

٦-۲-۱ : ردگیری فاصله با دروازه دونیم ۹۲

٦-۲-۲ : ردگیر فاصله با لبه بالا رونده ۹۸

٦-۳ : روش آستانه نسبت ۱۰۱

٦-٤ : نتایج شبیه سازی روش آستانه ۱۰۵

فصل هفتم : ملاحظات سیستم و طراحی آن ۱۱۳

۷-۱: نویز ۱۱۳

۷-۱-۱ : عدد نویز و درجه حرارت نویز ۱۱٤

۷-۱-۲ : درجه حرارت نویز کل سیستم ۱۱۷

۷-۲ : گیرندگی با استفاده از کنترل بهره اتوماتیک (AGC) ۱۱۷

۷-۲-۱ : مشخصات اساسی آشکارساز ۱۲۰

۷-۲-۲ : تنظیم استاتیکی ۱۲۳

۷-۲-۳ : زمان صعود و پهنای باند حلقه ۱۲٤
۷-۳ : حساسیت مماسی سیگنال (TSS) ۱۲٦
۷-۳-۱ : تقویت قبل از آشکار سازی ۱۲۹
۷-۳-۲ : تنظیم ولتاژ آستانه ۱۳۵
۷-٤ : ملاحظات فرستنده ارتفاع سنج ۱٤۳
۷-۵ : طراحی سیستم توسط نرم افزار..... ۱٤٦
۷-٦ : نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۱٤۹
فهرست مراجع..... ۱۵۲
ضمیمه- الف..... ۱۵٤
ضمیمه- ب..... ۱۵۵

مقدمه :

ارتفاع سنج[1] دستگاهی است که در داخل یک شئ نصب می شود و ارتفاع آن را نسبت به یک سطح تعیین می کند. این شئ ممکن است یک هلیکوپتر، هواپیما، موشک، فضاپیما، ماهواره و یا هر وسیله پرنده دیگر باشد. این دستگاه نباید با ارتفاع یاب[2] که در سطح زمین استقرار دارد و برای اندازه گیری ارتفاع یک وسیله پرنده نسبت به سطح زمین بکار می رود، اشتباه گرفته شود. برای اندازه گیری فاصله یک وسیله پرنده از منطقه زیر آن و جلوگیری از برخورد آن با سطح زمین ، برای فرود اتوماتیک ،کنترل پرواز و ناوبری هواپیما، برای کنترل سیستم پرتاب موشک ویا انفجار آن و در بسیاری از موارد دیگر می توان از ارتفاع سنج استفاده کرد. اخیرا ارتفاع سنجها کاربرد گسترده ای در نقشه برداری از سطح زمین وتعیین خواص جغرافیایی دریاها و اقیانوسها و بطور کلی، سنجش از دور[3] پیدا کرده اند. اندازه گیری این خواص به منظور تعیین وضعیت آب و هوا و سرعت باد و میزان جذر و مد وجریانهای اقیانوس بکار می روند. همه این قابلیت ها با استمداد از اندازه و شکل موج بازگشتی امکان پذیر است. اما با وجود چنین کاربرد گسترده ای، در کشور ما در هیچ منبعی ندیدیم که به این موضوع پرداخته شده باشد و امیدواریم این پایان نامه بتواند به عنوان یک نقطه شروع در این حوزه مؤثر باشد. البته چنین کاربرد هایی در اغلب اوقات مستلزم دسترسی به تکنولوژی ماهواره و فضاپیما می باشد. رادارهای روزنه مصنوعی نیز که اغلب برای تعیین نقشه از زمین در کاربردهای نظامی و غیر نظامی بکار می روند، اندازه و شکل موج بازگشتی، همراه با فاصله از هر نقطه را مورد بررسی قرار می دهند.

---

[1] Altimeter

[2] Heigh Finder

[3] Remote Sensing

انواع و روشهای مختلفی برای اندازه گیری ارتفاع وجود دارد اما سه نمونه از پر کاربردترین آنها ارتفاع سنج رادیوئی (راداری)، فشاری ولیزری می باشند. یک ارتفاع سنج رادیویی یا راداری از اصول بکار رفته در رادار برای اندازه گیری ارتفاع یک جسم نسبت به ناحیه زیر آن (نه ازتفاع از سطح دریا) استفاده می کند. بنابراین به آنها ارتفاع سنجهای مطلق نیز می گویند. ارتفاع سنجهای راداری بسته به شکل موج بکار رفته و نحوه استخراج ارتفاع از موج بازگشتی به دو گروه عمده تقسیم می شوند؛ ارتفاع سنجهای موج پیوسته با مدولاسیون فرکانس[1] (FMCW) و ارتفاع سنجهای پالسی. در ارتفاع سنجی راداری چون هدف سطح زمین است، دارای سطح مقطع راداری بزرگ بوده و میزان توان بازگشتی زیاد است. بنابراین می توان از فرستنده های با توان کم و آنتن با بهره پائین استفاده کرد. از لحاظ میزان ارتفاع گاهی آنها را به دو دسته تقسیم می کنند؛ دسته اول ارتفاع پائین(حداکثر تا 3 کیلومتر) و دسته دوم ارتفاع بالا (بیشتر از 3 کیلومتر) می باشند. مجمع ارتباطات فدرال(FCC [1]) محدوده فرکانس 4300 MHZ را برای رادارهای ارتفاع سنج در نظر گرفته است.

این پایان نامه برای طراحی و شبیه سازی یک ارتفاع سنج مناسب برای شرایط خاصی طراحی شده است. تحت این شرایط محدودیت ارتفاع پائین برای اندازه گیری 20 متر است. حداکثر ارتفاع قابل اندازه گیری نیز 2000 متر می باشد. فرض شده است که دقت اندازه گیری فاصله نیز در حد متر باشد. یک نکته قابل توجه این است که ظاهرا به نظر می رسد که برخی از مطالبی که در طول پایان نامه آمده ، ضرورت چندانی برای تامین هدف پایان نامه ندارد. اما از آنجائیکه هیچ مرجع مستقل در مورد ارتفاع سنج مشاهده نشد، نگارنده با این بینش که جزوه مذکور بتواند به عنوان یک مرجع پایه برای ارتفاع سنج باشد، به این مطالب پرداخته است.

---

[1] Frequency Modulated Continuous Wave

در فصل اول ارتفاع سنج موج پیوسته با مدولاسیون فرکانس معرفی شده و توضیح مختصری در مورد اصول عملکرد آن آورده شده است. در فصل دوم به همان ترتیب فصل اول، نوع پالسی معرفی شده است. در فصل سوم انواع دیگر ارتفاع سنجهایی که به روش غیر رادیوئی کار می کنند، معرفی شده و در پایان این فصل یک مقایسه بین دو نوع ارتفاع سنج راداری پالسی و موج پیوسته با مدولاسیون فرکانس صورت گرفته است. با توجه به پارامتر های مقایسه و شرایط مورد نظر و نیز امکان توسعه حوزه عملکرد نوع پالسی برای کاربردهای متنوع، ما این نوع را انتخاب کرده ایم. بنابراین در فصلهای بعدی بحث انجام شده کاملا به نوع پالسی پرداخته است.

موضوع مورد بحث در فصل چهارم، شکل موج بازگشتی در رادار ارتفاع سنج پالسی است که در آن مدهای عملکرد ارتفاع سنج و شکل موج بازگشتی در هر مد آمده است. موضوع شکل موج در این فصل بیشتر از جنبه شماتیکی و دیداری مورد بحث قرار گرفته است.

در فصل پنجم نخست معادله رادار ارتفاع سنج پالسی مورد بررسی قرار گرفته و پارامتر های مختلف آن از جمله سطح مقطع راداری زمین و معادله بهره آنتن و ملاحظات پلاریزاسیون آن برای جایگزینی در معادله رادار استخراج شده است. در ادامه این فصل شکل موج بازگشتی و مقدار توان بازگشتی، این بار نه ازدید شماتیکی بلکه بصورت تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته و معادلات ریاضی آن بدست آمده است.این محاسبات در دو حوزه انجام شده است. نخست فرض کرده ایم که برای ناهمواری زمین بتوان یک معادله ریاضی تخمین زد و در حالت دیگر به جای معادله ریاضی، یک توزیع آماری برای ناهمواری سطح در نظر گرفته ایم. برای حالت اول هیچ راهی جز روش عددی وجود ندارد و ما نیز از همین روش بهره گرفته ایم. در مورد سطوح با توزیع آماری، معادلات ارائه شده در مقالات برای

---

[1] Federal Communication Consul

حالات خاصی بوده و همگی به صورت تقریبی هستند. اما ما برای حل انتگرال معادله رادار از روشهای عددی استفاده کرده ایم که نتایج آن هم دقیقتر است و هم اینکه کلی بوده و مربوط به شرایط خاصی نیست. توجه شود که بخش عمده ای از نتایج شبیه سازی که مربوط به شکل موج بازگشتی است، برای حفظ تسلسل ارائه مطالب، در پایان همین فصل آمده و به انتهای پایان نامه واگذار نشده است. این قسمت بخش عمده ای از تحقیق انجام شده را تشکیل می دهد.نتایج این بخش ما را به انتخاب یک سیستم مناسب برای اندازه گیری ارتفاع رهنمون ساخته است.

فصل ششم به نحوه استخراج ارتفاع و رد گیری آن پرداخته و از بین روشهای مختلف برای اندازه گیری زمان ورود پالس، روش جدیدی پیشنهاد شده که نتایج بدست آمده از شبیه سازی برای کاربرد این روش درارتفاع سنج رضایت بخش بوده و باز هم نتایج در پایان همین فصل آمده است. لازم به ذکر است که ما حداقل سیگنال به نویز لازم در ماکزیمم ارتفاع را 14 dB در نظر گرفته ایم.

فصل هفتم به ملاحظات سیستم و طراحی آن اختصاص دارد. در این فصل ملاحظات نویز، کنترل اتوماتیک بهره، مشخصات اساسی آشکار سازو مقادیر سیگنال به نویز لازم برای آشکارسازی در گیرنده مورد مطالعه قرار گرفته و یک فرستنده مناسب برای این سیستم پیشنهاد شده است. نرم افزار شبیه ساز پس از گرفتن مشخصات پارامتر ها و قسمتهای سیستم، مقدار پیش تقویت و حساسیت گیرنده را تحت شرایط سیگنال به نویز مذکور در خروجی، محاسبه کرده و از آنجا میزان توان لازم در فرستنده را حساب می کند.

فصل اول

ارتفاع سنج FMCW

۱- ۱ : روابط ارتفاع سنج FMCW

یک رادار CW یک موج پیوسته بدون مدولاسیون را ارسال و دریافت می کند. این رادار در این حالت نمی تواند فاصله را اندازه گیری کند.برای تحقق چنین عملی باید نوعی نشانه زمانی در سیگنال ارسالی بکار برده شود تا زمان رفت و برگشت سیگنال مشخص باشد. این نشانه گذاری زمانی می تواند بصورت تغییرات فرکانس سیگنال ارسالی بر حسب زمان باشد. در این صورت اختلاف فرکانس سیگنال ارسالی و دریافتی متناسب با زمان رفت و برگشت می باشد. هر چه انحراف فرکانس فرستنده در واحد زمان بیشتر باشد، دقت اندازه گیری زمان بالاتر می رود اما طیف فرکانسی موج ارسالی وسیعتر می گردد. ولی نمی توان فرکانس را در یک جهت و به طور پیوسته افزایش داد. بنابراین تناوب درمدولاسیون فرکانس الزامی است.مدولاسیون می