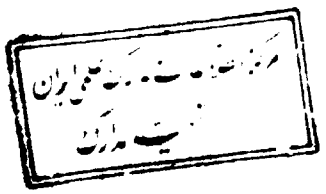
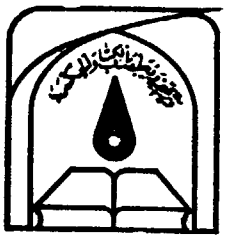
بسم الله الرحمن الرحيم

٢٧٥٩٥

۱۳۷۸ /۱۲/ ۱۴





دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
مهندسی برق - مخابرات

-5143

طراحی و ساخت آنتن ایستگاه زمینی برای سیستم ماهواره‌ای LEO

مهرداد پناهپور تهرانی

استاد راهنما:
دکتر محمد حکاک

زمستان ۱۳۷۸

۲۷۵۹۵

دانشگاه تربیت مدرس

تاییدیه هیات داوران

آقای **مهرداد پناهپور تهرانی** پایان‌نامه ۶ واحدی خود را با عنوان **طراحی و ساخت آنتن ایستگاه زمینی برای سیستم ماهواره‌ای** LEO در تاریخ ۷۸/۱۱/۱۶ 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 با گرایش مخابرات پیشنهاد می‌کنند. ۱۳ب ۱۱

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	امضاء
۱ـ استاد راهنما :	آقای دکتر حکاک	
۲ـ استاد مشاور :	—	
۳ـ استادان ممتحن :	آقای دکتر فرورقی	
	آقای دکتر اسفندیار مهرشاهی	
۴ـ مدیر گروه : (یا نمایندهٔ گروه تخصصی)	آقای دکتر ولایی	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان‌نامه / رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

بسمه تعالی

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 مهندسی برق - قدرت است که در سال ۱۳۷۸ در دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر محمد مهدی ، 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 اهدا کند. 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 مهرداد نیا هیبر تهرانی دانشجوی رشته مهندسی برق - قدرت مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام‌خانوادگی: مهرداد نیا هیبر تهرانی

تاریخ و امضا: ۷۸/۱۱/۲۳

تقدیم به عزیزترین عزیزانم،

پدر و مادر مهربانم

و

برادر و خواهرم

چکیده:

در این پروژه پس از بررسی انواع روشهای تراکینگ آنتن برای اینکه بتواند همواره با بیشترین قدرت دریافت و یا ارسال کند، از میان روشهای تراکینگ الکترونیکی و مکانیکی، تراکینگ به روش مکانیکی به کمک سیستم GPS برگزیده شد. بدین صورت که ایستگاه زمینی به محض دریافت اطلاعات مربوط به مختصات سه بعدی ماهواره (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح زمین) پس از یک پردازش زاویه Elevation و Azimuth را برای آنتن تعیین کرده و آن را تصحیح می‌کند. در بخش دیگری از پروژه اقدام به بررسی انواع آنتن جهت ساخت و نصب در چنین سیستمی پرداخته شد و پس از بررسی آنتن‌های Log Priodic Dipole Array, Conical Log Spiral و آنتن Yagi - Uda ، آنتن یاگی به جهت مشخصات مناسب برگزیده و ساخته شد. سپس در دو فرکانس 147 MHz (ارسال) و 400 MHz (دریافت) دو آنتن ساخته شد که پس از طراحی و ساخت توانسیتم با VSWR < 1.3 به ترتیب گین 10.7dB و 10.75dB بدست آوریم. البته لازم به ذکر است که آنتن فرستنده از ۴ المان و آنتن گیرنده از ۶ المان ساخته شده است. در ضمن برای اینکه آنتن بتواند پلاریزاسیون دایروی را دریافت کند هریک از آنتن‌ها به صورت متقاطع (صلیبی) ساخته شد و دو آنتن افقی و عمودی با اختلاف فاز ۹۰° با یک جمع کننده Wilkinson که آن هم در این پروژه طراحی و تست شد، جمع شده و آنتن یاگی متقاطع با AR=1.05 قادر به دریافت پلاریزاسیون دایروی می‌باشد.

کلمات کلیدی:

- آنتن یاگی متقاطع
- آنتن مارپیچی لگاریتمی مخروطی
- آنتن دایپل آرایه متناوب لگاریتمی
- تراکینگ مکانیکی
- تراکینگ الکترونیکی
- سیستم GPS
- تراکینگ به کمک سیستم GPS

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱

طرح ماهواره "مصباح" ۱

تکنولوژی و کاربرد ماهواره‌های کوچک ۳

پروتکل‌های ارتباطی ۷

کاربرد ماهواره‌های کوچک ۸

معرفی مشخصات پروژه ۸

فصل ۱

آنتن مارپیچی ـ لگاریتمی مخروطی (Conical-log-Spiral Antenna) ۱۱

(۱ـ۱) ساختار هندسی آنتن ۱۱

(۱ـ۲) مقایسه آنتن مارپیچی ـ لگاریتمی مخروطی با آنتن Helix ۱۲

(۱ـ۳) بررسی ثابت انتشار ۱۳

(۱ـ۴) ناحیه فعال آنتن ۱۵

(۱ـ۵) پترن آنتن ۱۶

(۱ـ۶) HPBW ۱۷

(۱ـ۷) گین آنتن ۱۸

(۱ـ۸) بررسی اثر F/B ۲۲

(۱ـ۹) Axial Ratio ۲۲

(۱ـ۱۰) مرکز فاز (Phase Center) ۲۳

(۱ـ۱۱) آنتن مارپیچی ـ لگاریتمی ـ مخروطی با دو بازو ۲۴

(۱ـ۱۲) امپدانس ورودی آنتن ۲۶

(۱-۱۳) ابعاد آنتن ۲۷
(۱-۱۴) طراحی آنتن مارپیچی ـ لگاریتمی مخروطی با شرایط اعلام شده ۲۹
(۱-۱۵) پیشنهادات ۳۰

فصل ۲

آنتن دایپل آرایه - متناوب لگاریتمی ۳۱
(۲-۱) ساختار فیزیکی آنتن ۳۱
(۲-۲) تغذیه آنتن LPDA ۳۳
(۲-۳) آنالیز LPDA ۳۵
(۲-۴) طراحی آنتن LPDA ۳۸
(۲-۵) مراحل طراحی آنتن LPDA ۴۱
(۲-۶) نتیجه گیری کلی ۵۱
(۲-۷) طراحی آنتن LPDA با شرایط اعلام شده ۵۱
(۲-۸) پیشنهادات ۵۲

فصل ۳

آنتن یاگی (Yagi - Uda Antenna) ۵۳
(۳-۱) مقدمه ۵۳
(۳-۲) تئوری آنتن یاگی ۵۷
(۳-۳) طراحی ۵۸
(۳-۴) بهینه کردن طراحی ۶۰
(۳-۴-۱) بهینه کردن طولها ۶۰
(۳-۴-۲) بهینه کردن فاصله‌ها ۶۱

(۳-۴-۳) بهینه کردن F/B ۶۲
(۳-۴-۴) بهینه سازی در سه حالت مختلف ۶۲
(۳-۴-۵) پهنای باند ۶۳
(۳-۴-۶) امپدانس ورودی ۶۴
(۳-۶) روش طراحی آنتن یاگی ۶۵
(۳-۷) طراحی آنتن یاگی در فرکانس 400MHz ۶۶
(۳-۸) تست آنتن طراحی شده در فرکانس 400MHz ۷۳
(۳-۹) طراحی آنتن یاگی در فرکانس 147MHz ۸۴
(۳-۱۰) تست آنتن طراحی شده در فرکانس 147MHz ۸۹
(۳-۱۱) پیشنهادات ۱۰۱

فصل ۴

بررسی روشهای مختلف تراکینگ آنتن و جهت‌یابی آنها ۱۰۴
(۴-۱) مقدمه ۱۰۴
(۴-۲) کاربردهای مختلف آنتنهای تراکینگ‌دار ۱۰۴
(۴-۳) تخمین زاویه ۱۰۵
(۴-۴) تکنیکهای تراکینگ ۱۰۸
(۴-۴-۱) Sequential-Lobe Comparison ۱۰۸
(۴-۴-۲) Simultaneous-Lobe Comparison ۱۰۹
(۴-۳) انواع روشهای تراکینگ الکترونیکی ۱۱۱
(۴-۴) تعریف تراکینگ الکترونیکی ۱۱۱
(۴-۵) تکنیکهای تراکینگ الکترونیکی ۱۱۲
(۴-۵-۱) روش فازی ۱۱۲

(۲-۵-۴) تئوری آرایه‌های فازی ۱۱۳
(۳-۵-۴) ساختار آنتنهای Phased-Array ۱۲۰
(۶-۴) روش زمانی Real-Time ۱۲۳
(۷-۴) روش فرکانسی ۱۲۵
(۸-۴) روش سوئیچ‌کردن بین فیدها ۱۲۷
(۹-۴) تقسیم‌بندی شکل دهنده‌های بیم آنتن از لحاظ فرکانس ۱۲۸
(۱-۹-۴) شکل‌دهنده‌های RF ۱۲۸
(۲-۹-۴) شکل دهندهٔ بیم در فرکانس IF ۱۲۹
(۳-۹-۴) شکل دهنده‌های بیم بصورت دیجیتال ۱۳۰
(۱۰-۴) مقایسهٔ روش‌ها ۱۳۱
(۱۱-۴) معرفی سیستم GPS ۱۳۱
(۱-۱۱-۴) GPS چیست ۱۳۱
(۲-۱۱-۴) ساختار سیستم GPS و عملکرد آن ۱۳۲
(۱-۲-۱۱-۴) بخش فضائی سیستم GPS ۱۳۴
(۲-۳-۱۱-۴) بخش کنترل ۱۳۵
(۳-۲-۱۱-۴) بخش USER ۱۳۵
(۳-۱۱-۴) انواع سرویسهای GPS ۱۳۶
(۴-۱۱-۴) روش تراکینگ به کمک سیستمهای GPS ۱۳۷
(۱۲-۴) انتخاب یک سیستم تراکینگ مناسب ۱۳۹
(۱۳-۴) پیشنهادات ۱۴۰
فهرست منابع ۱۴۲
واژه‌نامه ۱۴۴
Abstract ۱۴۴

مقدمه

معرفی طرح ماهواره "مصباح"

در پی پیشرفت روزافزون مخابرات و نیاز بیش از پیش بشر به ارتباطات و کسب اطلاعات سرانجام در کشورمان نیز طرحی بنام "طراحی و ساخت ماهواره کوچک مخابراتی LEO مصباح"، مطرح شد. که این در واقع اولین پروژه ساخت ماهواره درکشور می‌باشد. لذا تجربیات کسب شده در این طرح با توجه به اینکه کل پروژه در داخل کشور طراحی و ساخته می‌شود می‌تواند باعث گردد که کشور از لحاظ تکنولوژی ساخت ماهواره پیشرفت مناسبی داشته باشد. اهداف این طرح عبارتند از :

۱- ساخت ماهواره LEO و استقرار آن در مدار.

۲- اجرای فعالیتهای علمی و تحقیقاتی و آموزشی با ماهواره‌های سبک در باند آماتور.

۳-کسب تجربه ساخت سیستمهای ماهواره‌ای STORE & FORWARD

مواردی که در این طرح بایستی ساخته شوند عبارتند از :

۱- طراحی و ساخت ماهواره

۲- طراحی و ساخت ایستگاه مرکزی

۳- طراحی و ساخت ترمینالهای REMOTE

۴- طراحی و ساخت ایستگاه تله متری و کنترل زمینی

۵- سازمان دهی پرتاب

و مشخصات طرح عبارتند از:

۱- از یک ماهواره تشکیل می‌شود.

۲- دارای یک ایستگاه مرکزی برای جمع‌آوری دیتا و کنترل ترافیک سیستم است.

۳- سیستم دارای یک مجموعه کنترل زمینی است که اطلاعات تله متری را دریافت می‌کند.

۴- دارای حداکثر ۱۰۰۰ ترمینال REMOTE است.

۵- مدار به صورت دایره‌ای و با ارتفاع کم است. (۸۹۳km)

۶- ناحیه سرویس دهی اصلی ایران است.

۷- نوع پوشش تک بیمی است.

۸- روش دسترسی به کانال TDMA است.

۹- امکان ذخیره سازی اطلاعات تا MByte ۱ را دارا می‌باشد.

۱۰- از کدینگ کانولوشنال و دکدینگ و تیربی استفاده می‌گردد.

۱۱- توان تشعشعی ماهواره روی زمین حداکثر $-152dBW/m^2$ می‌باشد.

۱۲- پرتاب ماهواره به روش Piggyback انجام می‌گردد.

۱۳- در باند فرکانسی رادیو آماتور ماهواره‌ای عمل می‌نماید.

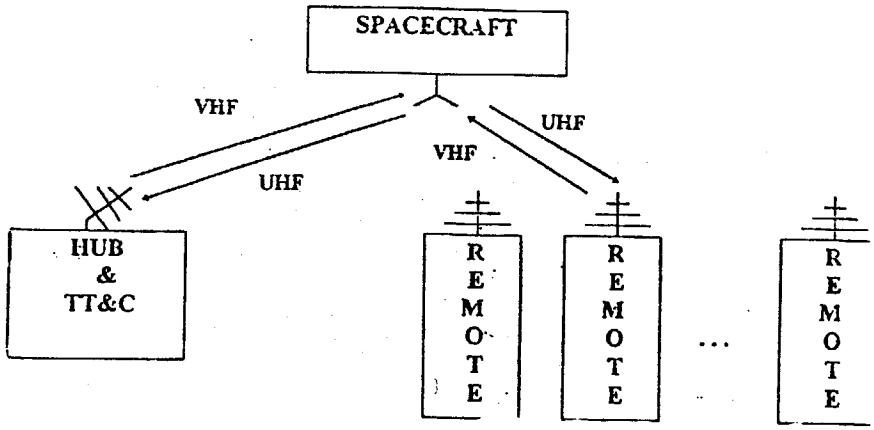
۱۴- وزن ماهواره کمتر از ۱۰۰ کیلوگرم است.

لذا با توجه به حجم زیاد کار در این پروژه، پایان نامه کارشناسی ارشد اینجانب به راهنمایی جناب آقای دکتر محمد حکاک که ناظر طرح فوق می‌باشند تحت عنوان "طراحی و ساخت آنتن ایستگاه زمینی برای سیستم ماهواره LEO" مطرح شد.

اما قبل از اینکه به مشخصات درخواستی این پروژه بپردازم به طور مختصر به بررسی تکنولوژی ماهواره‌های کوچک می‌پردازم.

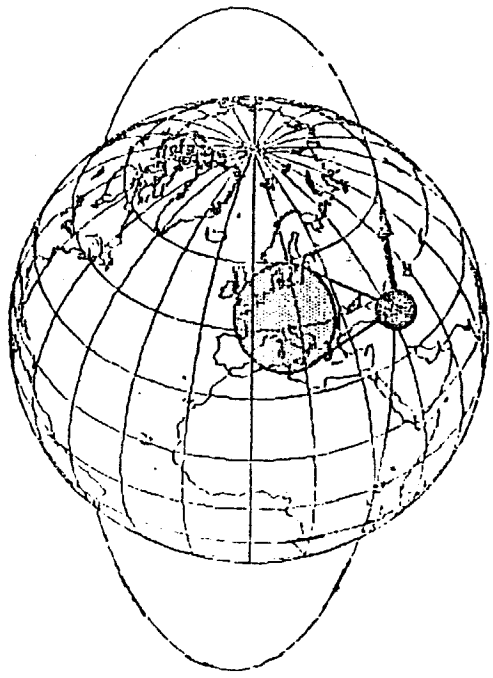
تکنولوژی و کاربرد ماهواره‌های کوچک

بطور کلی ساختار یک شبکه ماهواره‌ای مانند طرح مصباح که در باند UHF&VHF کار می‌کند به صورت زیر می‌باشد.



شکل ۱: ساختار کلی شبکه ماهواره‌ای

و نیز نحوه قرارگرفتن یک ماهواره LEO به صورت شکل زیر است .



شکل ۲: مدار قطبی LEO

پارامترهای اصلی ماهواره نصب شده در مدار LEO به قرار زیر است .

۱- توانایی پردازشی:

- دمدولاسیون (قابلیت جبران اختلاف فاز ناشی از پدیده دوپلر)

- فشرده سازی

- ذخیره سازی

- دمدولاسیون مجدد

- ارسال به سمت پائین

۲- مشخصات کلی حرکت ماهواره:

- تنظیم زاویه صفحه مدار ماهواره با صفحه استوا

- تنظیم پریود چرخش ماهواره به دور زمین

- تنظیم مدت زمان قابل رؤیت بودن ماهواره

- توانایی بیشترین سرویس دهی

۳- مشخصات ایستگاه زمینی بعنوان استفاده کننده

- پیچیدگی کم در ساخت ایستگاه زمینی

- مشخص بودن فرکانس DownLink , Uplink

- مشخص بودن نوع کدینگ و بیت ریت.

معمولاً سیستمهای مخابراتی ماهواره‌ای دارای چند نوع لینک مخابراتی می‌باشند به شرح زیر:

۱- لینک مخابراتی اصلی بین ماهواره و ایستگاه مرکزی: این لینک فرمانها و اطلاعات کنترلی را از ایستگاه زمینی به ماهواره و اطلاعات Payload اصلی ماهواره و تغییرات نرم‌افزار ماهواره را ارسال و دریافت می‌کند.

۲- لینک مخابراتی دیتا که اطلاعات را از ایستگاه زمینی استفاده کننده دریافت و به ایستگاه زمینی مرکزی ارسال می‌کند. همچنین این لینک قسمتی از PayLoad اصلی ماهواره و تغییرات نرم‌افزار ماهواره را به ایستگاه زمینی منتقل می‌کند.

۳- لینک مخابراتی برای انتقال اطلاعات به طور مستقیم بین دو ایستگاه زمینی استفاده کننده.

در این طرح از لینک مخابراتی نوع سوم استفاده نمی‌شود.

Pay Load ماهواره وظیفه تقویت رادیویی در لینک بین ایستگاههای زمینی را انجام می‌دهد و از دو بخش ترانسپوندر و آنتن تشکیل می‌شود. و وظایف آن به شرح زیر است:

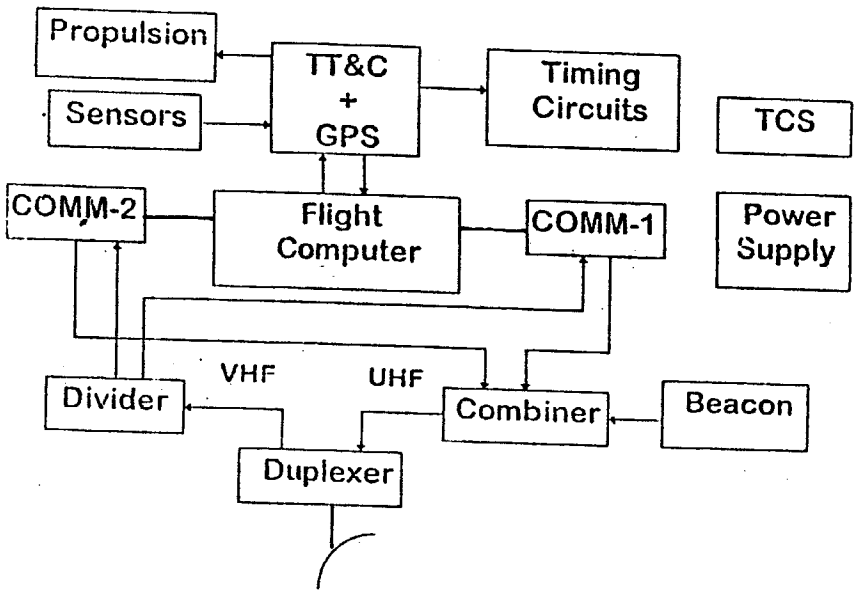
۱- دریافت کاریر ارسالی در باند فرکانسی با پلاریزاسیون تعیین شدن از ایستگاه مرکزی.

۲- تقویت کاریر دریافتی و محدود کردن نویز.

۳- تغییر فرکانس از Uplink به Downlink.

۴- تقویت سیگنال و رساندن آن به توان موردنظر جهت ارسال مشخصات فنی PayLoad شامل باند فرکانسی و پلاریزاسیون، پوشش، EIRP، $\frac{G}{T}$ گیرنده و مدت زمان کارکرد می‌باشد.

شکل زیر مشخصات داخل یک ماهواره LEOکه در طرح مصباح استفاده خواهد شد را نشان می‌دهد.



شکل ۳: بلوک دیاگرام ماهواره