پیاده‌سازی و آزمون گیرنده رهگیری مونوپالس ایستگاه زمینی دریافت از ماهواره‌های سنجش از راه دور

محمدعلی لطیف‌زاده [۱]، محمدرضا عاروان [۲]، سیدحسین محسنی ارمکی [۳]

[۱]دانشجوی دکتری مهندسی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، mal_1358@ yahoo.com
[۲]دانشیارمجتمع دانشگاهی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر arvan@mut.ac.ir
[۳]دانشیارمجتمع دانشگاهی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر mohseni@mut.ac.ir

چکیده

روشهای مختلفی برای ردیابی ماهواره‌ها در ایستگاه زمینی استفاده می‌شود که هر کدام از آن‌ها مزایا و معایبی دارند. شناخته شده ترینو دقیق‌ترین آنها، روش ردیابی مونوپالس است. این مقاله به تشریح مراحل طراحی،پیاده‌سازی و آزمون بلوک رهگیری مونوپالس سامانه ایستگاه زمینی دریافت از ماهواره‌های سنجشیمی‌پردازد. ایستگاه زمینی از روش مونوپالس تک پنجره در باند X و روش چهار آنتن تغذیه در باند S بهره‌برداری می‌نماید . برای جلوگیری از خطای حاصل از تغییر دامنه و فاز سیگنال‌های مونوپالس از یک مبدل مونواسکن استفاده شده است. در سیستم گیرنده رهگیری یک پردازش‌گراز خانواده ARM به کار گرفته شده است. درنهایت نیز کارایی و عملکردسیستم با استفاده از بلوک بورسایت فرستنده زمینی مورد تأیید و اثبات قرار می‌گیرد.

کلیدواژه

پدستال،ایستگاه‌زمینی‌ماهواره،ردیابی‌خودکار،مونوپالس.

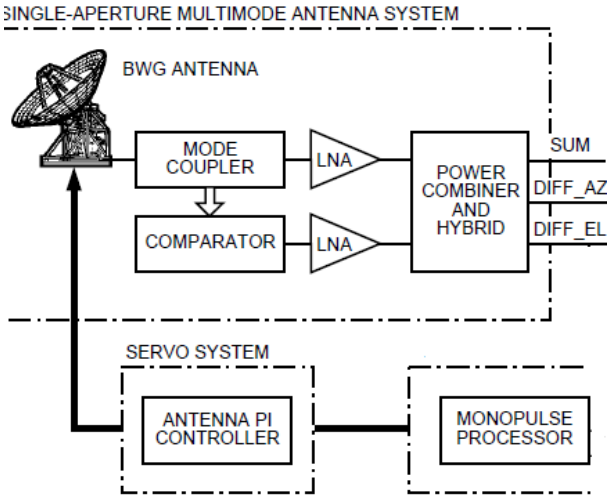
مقدمه

ماهواره‌های سنجش از دور کاربردهای زیادی درتصویربرداری، شناسایی منابع زمینی، بررسی آتش‌سوزی،کاربردهای دفاعی و ... دارند. از آنجا که ماهواره‌های سنجشی در مدار LEO قرار دارند، ازاین‌رو ردیابی ماهواره توسط ایستگاه زمینی اهمیت بسیار زیادی دارد، زیرا درصورت عدم دقت در ردیابی ماهواره، حجم زیادی ازاطلاعات دریافتی ازبین می‌رود.

ایستگاه زمینی دریافت از ماهواره‌های سنجشی متشکل از دو بخش اصلی دریافت داده و پردازش داده می‌باشد. ماموریت بخش دریافت داده که در حقیقت، سخت افزار فیزیکی ایستگاه است، دریافت مداوم داده، ضمن رهگیری خودکار ماهواره است. ساختار کلی بخش دریافت داده ایستگاه زمینی با آنتن نوع بازتابنده مطابق شکل(۱) است. آنتن به عنوان اولین بلوک در این بخش از ویژگی و حساسیت خاصی برخوردار است. نقش آنتن ضمن دریافت سیگنالهای مخابراتی، تولید سیگنالهای خطا، جهت ردیابی خودکار است. در ردیابی خودکار برای صفر کردن خطای پداستال از سیگنال مخابراتی بازخورد گرفته می‌شود. روشهای متفاوتی جهت تولید سیگنال خطا وجود دارد. در[۳]روش‌های گوناگون ردیابی ماهواره شامل ردیابی برنامه ای ،ردیابی پله ای ، ردیابی جاروب مخروطی ،ردیابی هوشمند و ردیابی مونوپالس مرور شده است و برای هر روش نمونه کارهای پیاده‌سازی شده موردبحث قرار گرفته است. دقیق‌ترین روش ردگیری، الگوریتم مونوپالس است[۱]. مبنای الگوریتم مونوپالس، تولید دو الگوی تشعشعی جمع و تفریق می‌باشد. دو ساختار تغذیه جهت تولید الگوهای فوق معرفی شده است. ساختار اول بر مبنای آرایه‌ای از آنتنهای تغذیه بوده که حداقل آن چهار آنتن جهت تولید سیگنال خطای سمت و ارتفاع است. در این ساختار از اختلاف خروجی چهار آنتن تغذیه که دارای آفست مشخص نسبت به مرکز آنتن هستند، استفاده می‌شود. هر یک از آنتنهای تغذیه، سیگنال ارسالی از ماهواره را از یک موقعیت کمی متفاوت و با اختلاف توان اندکی نسبت به هم دریافت می‌کنند. توان دریافتی آرایه آنتنها به یک بلوک به نام مقایسه‌گر مونوپالس، اعمال تا در خروجی آن الگوهای جمع و تفاضل تولید گردد. الگوی تشعشعی تفاضلی، خطای نشانه‌روی آنتن را مشخص می‌کند. اگر سیگنال ناشی از الگوی تفاضلی صفر باشد، آنتن رو به هدف است ولی اگر سیگنال ناشی از الگوی تفاضلی غیر صفر باشد، خطای نشانه‌روی تولید می‌شود. تغییرات سیگنال خطای الگوی تفاضلی، حول محور تراز آنتن در بازه پهنای پرتو نیم توان الگوی جمع، خطی است،

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۲۴

لذاحس‌گر مونوپالس برای انحرافات کوچک آنتن، بصورت خطی عمل می‌نماید[۲]. ساختار دوم بر مبنای مودهای تولید شده درون یک آنتن است که با تحریک تعدادی از آنها می‌توان الگوی مد نظر را تولید نمود[۹]. در این مقاله فرض بر آن است که ایستگاه زمینی از یک بازتابنده ده متری نصب شده روی یک پداستال El/Az استفاده می‌نماید. در اغلب ایستگاه‌های زمینی دریافت از ماهوارهای سنجشی از دو باند فرکانسی استفاده می‌شود. باند x که پهنای طیفی آن در بازه ۸۰۰۰ تا ۸۴۰۰ مگاهرتز تنظیم شده است و باند s که پهنای طیفی آن در بازه ۲۲۰۰ تا ۲۳۰۰ مگاهرتز قرار می‌گیرد. به منظور افزایش اطمینان از رهگیری ماهواره، معمولاً عملیات رهگیری در هردو باند انجام می‌شود. به علت پهن‌تر بودن پهنای پرتو باندs ایتدا رهگیری در نقطه طلوع در این باند شروع شده و سپس با توجه به باریک بودن پهنای پرتو باند x جهت افزایش دقت، سیگنالهای خطای این باند مورد بهره‌برداری واقع می‌شود. این مقاله، به معرفی و پیاده سازی بلوک گیرنده رهگیری مونوپالس ایستگاه زمینی دریافت از ماهواره‌های سنجشی می‌پردازد.



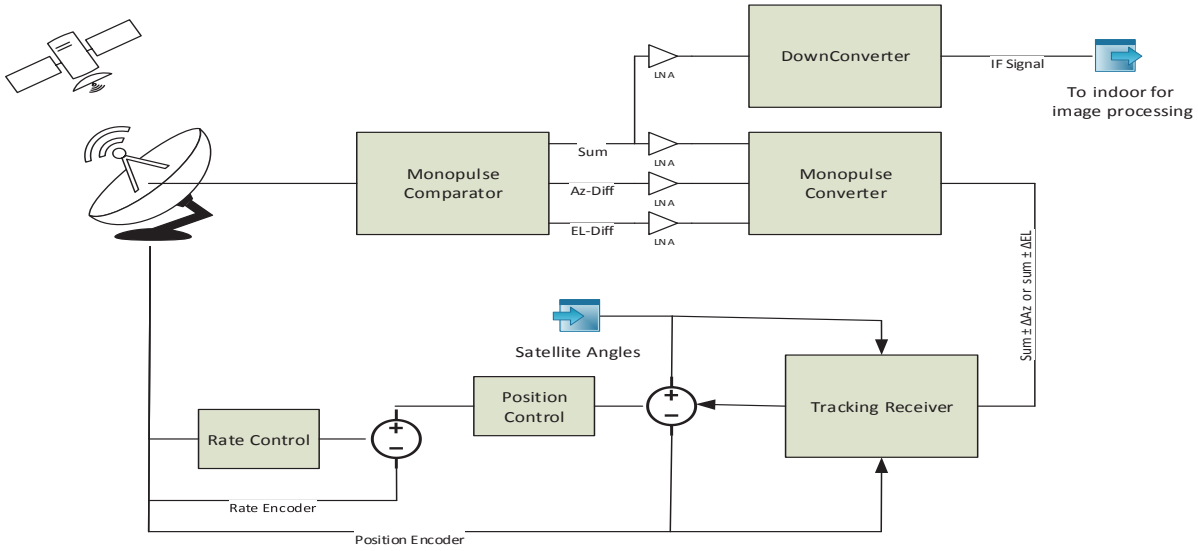
شکل(۱)=ساختار بخش دریافت داده ایستگاه زمینی

بسترهای متفاوتی جهت پیاده سازی گیرنده رهگیری وجود دارد. در[۴] پیاده‌سازی یک گیرنده رهگیری مونوپالس، در قالب یک تراشه قابل‌برنامه‌ریزی‌روی[۶]FPGA ارائه شده است. در این مقاله خطای رهگیری با استفاده از سه سیگنال سمت، فراز و فاصله توسط واحد پردازش سیگنال مونوپالس استخراج می‌شود ولی نحوه اندازه‌گیری خطای مونوپالس در آن بیان‌نشده است. در یک مدار جدید گیرنده رهگیری مونوپالس دیجیتال برای تدابیر پشتیبانی الکترونیک[۵]پیاده‌سازی شده است. در این روش مدار پردازشگر با مقایسه قله سیگنال‌های چهارگانه مونوپالس تنها قادر است جهت رادار ردگیر را اصلاح کند و مقدار انحراف را استخراج نمی‌کند.. در[۵]یک گیرنده رهگیری برای باند وسیع برای الگوهای مختلف (تئوری، شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده) سیگنال‌های مونوپالسب ررسی شده است در این مقاله معادلات الگوهای یادشده به‌صورت تئوری استخراج شده‌اند. آقای گورونسکی تجربیات خود در حیطه ردیابی خودکار برای کنترل شبکه ایستگاه‌های فضایی آمریکا[۳]را در[۶]ارائه نموده است. ایشان در[۷]برای آنتن بزرگ DSN-34سیستم نشانه‌روی مونوپالس را با هدف کمینه کردن مقدار لغزش منابع احتمالی خطا مثل نویز باد، نویز انکودرها، نویز گیرنده، خطای دمدولاسیون، اختلاف‌فاز بین سیگنال‌های جمع و تفاضل، شیفت محور بورسایت، عمق صفر آنتن تغذیه و ...)در خطای نشانه‌روی، طراحی و آنالیز کرده است در[۸]روش مونوپالس چهار فید برای ردیابی ماهواره‌های ارتفاع پایین با استفاده از الگوهای واقعی تحلیل و شبیه سازی شده است. مادر این مقاله معرفی، شبیه سازی، پیاده سازی و تست سیستم مونوپالس ایستگاه زمینی دریافت از ماهواره‌های سنجشی را ارائه خواهیم کرد. در ادامه در بخش (۲) ساختار ایستگاه زمینی بیان می‌شود. در بخش (۳) آنتن تغذیه و مقایسه‌گر مونوپالس ایستگاه زمینی ارائه شده است. بخش (۴) به ساختار مبدل مونوپالس و بخش (۵) به گیرنده رهگیری ایستگاه زمینی اختصاص دارد. در بخش (۶) نتایج حاصل از آزمون سامانه با بورسایت آورده شده است. در(۷)نتایج حاصل از شبیه‌سازی و داده‌های واقعی آزمون مورد مقایسه و راستی‌آزمایی واقع شده است.

ساختار سامانه ایستگاه زمینی

دیاگرام بلوکی سیستم ایستگاه زمینی در شکل (۲) نشان داده شده است. سیگنال RF در باندهای Sو X توسط آنتن تغذیه دریافت ووارد مجموعه مقایسه‌گر مونوپالس جهت تولید سیگنال‌های تفاضلی و سیگنال جمع می‌گردد. برای تولید سیگنال خطا به منظور هدایت صحیح محور آنتن در راستای ماهواره از دو زیر سیستم مبدل مونوپالس و گیرنده رهگیری استفاده شده است. وظیفه مبدل مونوپالس ترکیب صحیح سیگنال‌های خطای سمت و فراز با سیگنال جمع و تک کاناله نمودن سیستم مونوپالس است. گیرنده رهگیری سیگنال خطای مدوله شده بصورت RF را دریافت نموده و در خروجی سیگنال خطای DC را جهت اعمال به سرو موتور تولید می‌نماید. از طرف دیگر به منظور پایش سیگنال حامل اطلاعات ارسالی از ماهواره، در هر باند از یک مبدل کاهنده جهت تبدیل طیف

[۶] System On Programmable Chip (SOPC)
[۵] Electronic Support Measure(ECM)
[۳] NASA Deep Space Network Antenna.

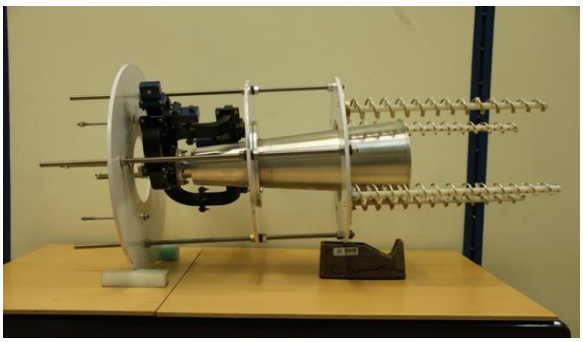


شکل ۱. دیاگرام بلوکی حلقه بسته سامانه ردیاب ایستگاه زمینی

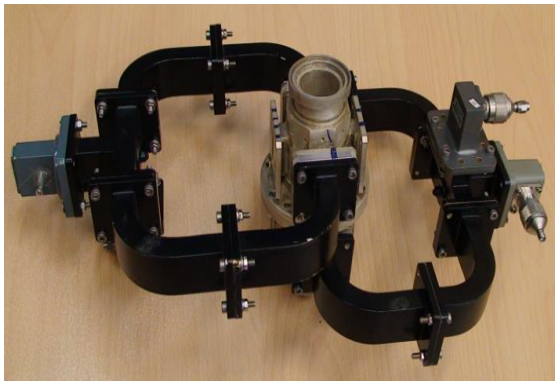
سیگنال RF به فرکانس میانی IF (۷۲۰مگاهرتزدر باند ,Xو ۷۰مگاهرتزدر باندS)استفاده شده است.

آنتن تغذیه و مقایسه‌گرمونوپالس

معمولاً در این نوع ایستگاه‌ها، آنتن بازتابنده توسط دو نوع آنتن تغذیه، مطابق شکل(۳) روشن می‌شود. آنتن تغذیه باند x که معمولاً از نوع آنتن بوقی چند موده است. مود اصلی جهت تولید الگوی جمع و مود فرعی جهت تولید الگوی تفاضلی استفاده می‌شود. بنابراین جهت استخراج سیگنال تفاضلی، استخراجگر مود، مورد استفاده واقع می‌شود[۱۰]. با توجه به اینکه قطبش آنتن ایستگاه زمینی، دایروی است معمولاً مود TE11 جهت الگوی جمع و مود TE21 جهت الگوی تفاضل استفاده می‌شود. بدین لحاظ استخراجگر مود TE21 مطابق شکل(۴) در انتهای موجبر متصل به آنتن تغذیه باندx مورد نیاز است. آنتن تغذیه باندs متشکل از یک آرایه چهارتایی از آنتن مارپیچی است که به منظور تولید الگوهای جمع و تفاضل نیاز به یک مقایسه‌گر مونوپالس می‌باشد.

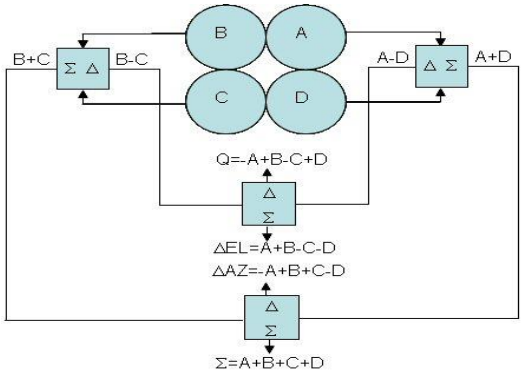


شکل۳.-مجموعه آنتن تغذیه بازتابنده ایستگاه زمینی[۹].



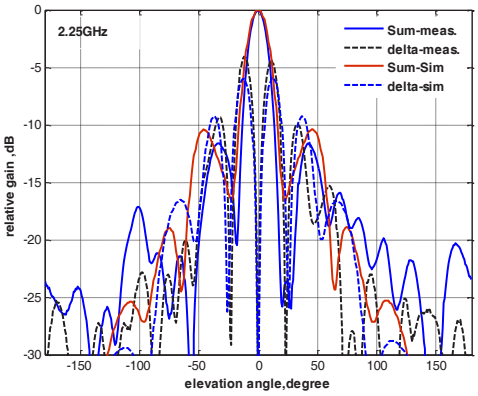
شکل۴.استخراجگر مودTE21[۱۰].

در حقیقت مقایسه‌گر مونو پالس زیر سیستمی است که چهار سیگنال ورودی را به گونه‌ای جمع برداری می‌نماید که سه خروجی جمع و تفاضل در سمت و فراز مطابق شکل (۵)ایجاد نماید. مرسوم‌ترین عنصر در مقایسه‌گر مونوپالس هایبرید ۱۸۰ درجه است. قطعه مذکور عنصری چهار پورتی است که دو پورت ورودی و دو پورت خروجی دارد. پورت‌های خروجی چنان عمل می‌کنند که در یک ترمینال مجموع سیگنال ودر ترمینال دیگر تفاضل سیگنال‌های ورودی ظاهر می‌شود.هایبرید ها ساختارهای متفاوتی دارند که بسته به باند فرکانسی و مشخصات الکتریکی انتخاب می‌گردند. در باند S، با توجه به پهنای باند۱۰۰ مگاهرتز در فرکانس مرکزی ۲۲۵۰ مگاهرتز، از مقایسه‌گر هایبرید حلقوی مبتنی بر خط ریزنوار استفاده می-شود

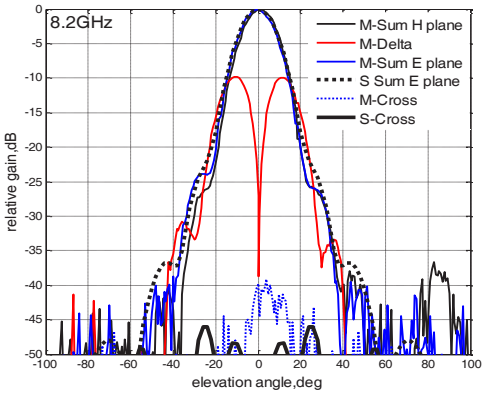


شکل۵. ساختار مقایسه‌گر مونوپالس

با توجه به آنکه آنتن، اولین زیر سیستم در ایستگاه زمینی است، مشخصات آن در عملکرد ایستگاه، تاثیر به‌سزایی دارد. بنابراین ضریب بازدهی آن یکی از گلوگاههای طراحی است. عنصر کلیدی در بازدهی آنتن، نحوه روشنایی سطح بازتابنده است. کنترل سطح روشنایی بازتابنده، توسط مشخصات هندسی آنتن تغذیه و در نهایت الگوی تشعشعی آن انجام می‌شود. شکل(۶) الگوی تشعشعی آنتن تغذیه باند S و الگوی تشعشعی آنتن تغذیه باند X در شکل(۷) نشان داده شده است.



شکل ۶: الگوی تشعشعی شبیه سازی و اندازه گیری آنتن تغذیه باندS



شکل ۷: الگوی تشعشعی شبیه سازی و اندازه گیری آنتن تغذیه باندX[۹]

مبدل مونواسکن

خروجی‌های مقایسه گر مونوپالس سه سیگنال جمع، تفاضل سمت و تفاضل فراز هستند. در الگوریتم مونوپالس با استفاده از این سیگنال‌ها، موقعیت هدف استخراج می‌گردد. مطابق رابطه (۱) جهت استخراج زاویه هدف نسبت به محور عمود، نیاز به شناسایی اختلاف دامنه و فاز سیگنال تفاضل نسبت به سیگنال جمع می‌باشد

$$\frac{\Delta}{\Sigma}=\frac{1-e^{-j\phi}}{1+e^{-j\phi}}=j\tan(\frac{\phi}{2}) \qquad (۱)$$

به منظور پردازش و آشکار سازی سیگنال‌های فوق و استخراج سیگنال خطا باید سیگنال RF (سیگنال تفاضل و سیگنال جمع) به یک فرکانس میانی IF (۷۲۰ مگاهرتزدر باندx و ۷۰ مگاهرتزدر باندS) تبدیل گردد. با توجه به اینکه سیگنال‌های خطا از اختلاف فاز و دامنه حاصل می‌شوند هرگونه تغییر (علی الخصوص در فاز) در مسیر انتقال سیگنال، باعث اختلال در شناسایی زاویه هدف می‌گردد. لذا برای جلوگیری از این اختلال، بهتر است که یک مسیر برای انتقال سیگنال استفاده گردد. برای این کار،بر حسب یک جدول زمانی سیگنال‌های تفاضل بر سیگنال جمع سوار شده به این مسیر هدایت می‌شوند. این وظیفه سیستم مبدل مونو اسکن[۴]ست.

زیر سیستم MSC در حقیقت نوعی مدولاسیون AM روی سیگنال حامل جمع ایجاد می‌نماید. در صد مدولاسیون نشان دهنده میزان انحراف هدف از محور آنتن است. در حقیقت این زیر سیستم Δ/Σ رابطه (۱) را تولید می‌نماید. در شکل (۸) دیاگرام بلوکی زیر سیستم مبدل مونو اسکن ساخته شده نشان داده شده است در این زیر سیستم با مدیریت پالس که توسط پردازشگرانجام می‌شود ابتدا سیگنال SUM(RF) که حاوی اطلاعات ارسالی از ماهواره می‌باشد، وارد سیستم شده و پس از تقویت وارد یک تقسیم کننده توان می‌شود. بعد از تقسیم، در یک مسیر ((SUM(IF) که مسیر اصلی پردازش اطلاعات است به IF تبدیل شده و وارد بخش پردازش تصویر می‌شود .در مسیر دیگر این سیگنال وارد یک تزویج کننده شده تا سیگنال خطا بر روی آن سوار شود. سیگنال‌های خطای سمت و فراز، بعد از ورود و تقویت، وارد سوئیچ مدولاتور دو فازه[۵]می‌شوند. در این سوئیچ با اعمال سیگنال کنترلی از خارج، یکی از ورودی‌های خطا با فاز 0° یا 180° انتخاب شده و به خروجی منتقل می‌شود. بعد از آن سیگنال خروجی تقویت شده و وارد تغییردهنده فازدیجیتالی می‌شود. تغییردهنده فازشش بیتی، اختلاف فاز بین مسیر اطلاعات و خطا را که قرار است در تزویج کننده با یکدیگر ترکیب شوند، تصحیح می‌نماید. سیگنال

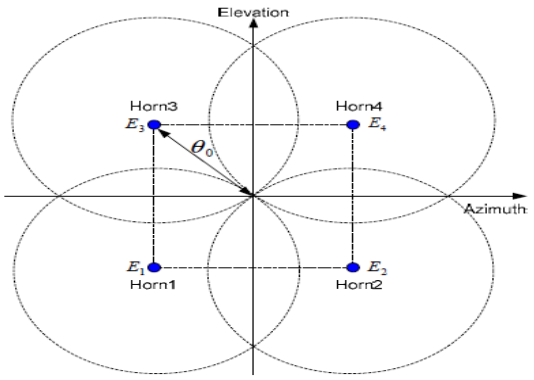
[۴] Mono Scan Coverter MSC:

[۵] Bi-Phase Modulator

تفاضل بعد از خروج از تغییردهنده فازدیجیتالی، تقویت شده و وارد تزویج کننده می‌شود تا بر روی سیگنال مجموع سوار شود و سیگنال (Sum ± ΔAz or Sum ± ΔEL) تولید و وارد بخش گیرنده رهگیری شود. در شکل (۹) نمای سیستم مونواسکن پیاده سازی شده آورده شده است .در نمای چپ بخشهای مخابراتی شامل سوییچ ها ،مدولاتور دو فازه تزویج کننده و ... آورده شده و در نمای راست تصویر بخشهای کنترلی شامل تغذیه ، سینتی سایزر ، بخشهای کنترل و فرمان تغییردهنده فاز و... نمایش داده شده است.

گیرنده رهگیری

گیرنده رهگیری انحراف محورهای پدستال از ماهواره را با استفاده از سیگنال‌های مونوپالس (جمع و تفاضل) و موقعیت ماهواره و پدستال(در محورهای سمت و فراز)استخراج می‌کند. فرض می‌کنیم مکان هندسی مرکز چهار آنتن تغذیه نسبت به محور آنتن روی پدستال مانند **Error! Reference source not found.** می‌باشد،



شکل ۱۰. مکان هندسی مراکز چهار آنتن تغذیه نسبت به محور آنتن

اگر تابع سیگنال دریافتی آنتن i را f_i فرض کنیم روابط مربوط به سیگنال جمع و سیگنال‌های تفاضلی سمت و فراز در سیستم مونوپالس دامنه به‌صورت زیر به‌دست می‌آیند.

$$E_{Sum} = \frac{f_1 + f_2 + f_3 + f_4}{2} \qquad (۲)$$

$$E_{Az\text{-}Diff} = \frac{(f_1 + f_4) - (f_2 + f_3)}{2} \qquad (۳)$$

$$E_{El\text{-}Diff} = \frac{(f_1 + f_2) - (f_3 + f_4)}{2} \qquad (۴)$$

سیگنال‌های خطای سمت و فراز با استفاده از سه سیگنال تولیدشده در معادله‌های فوق به‌صورت زیر به‌دست می‌آیند.

$$E_{Az\text{-}Error} = \frac{E_{Az\text{-}Diff}}{E_{Sum}} \cong k_{m1} \frac{\psi_{err}}{\theta_{hp}} \qquad (۵)$$

$$E_{El\text{-}Error} = \frac{E_{El\text{-}Diff}}{E_{Sum}} \cong k_{m2} \frac{\theta_{err}}{\theta_{hp}} \qquad (۶)$$

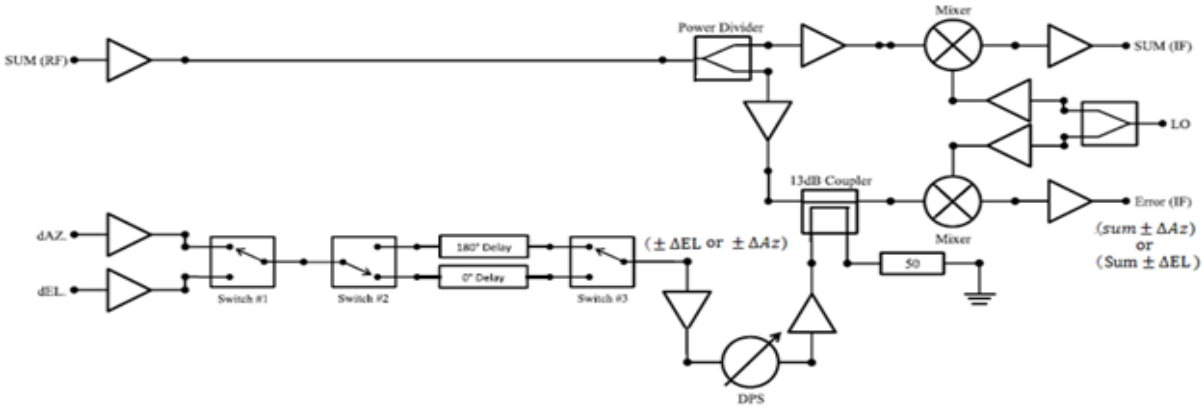
که θ_{err} و ψ_{err} زوایای انحراف آنتن از ماهواره در محورهای سمت و فراز و θ_{hp} عرض بیم نصف توان آنتن است.

با توجه به روابط بالا در می‌یابیم که انحراف زاویه ای در هر محور متناسب با نسبت سیگنال تفاضل آن محور با سیگنال جمع می باشد که به آن شیب مونوپالس می گویند .لذا برای استخراج خطا کافی است شیب مونوپالس را استخراج نماییم.

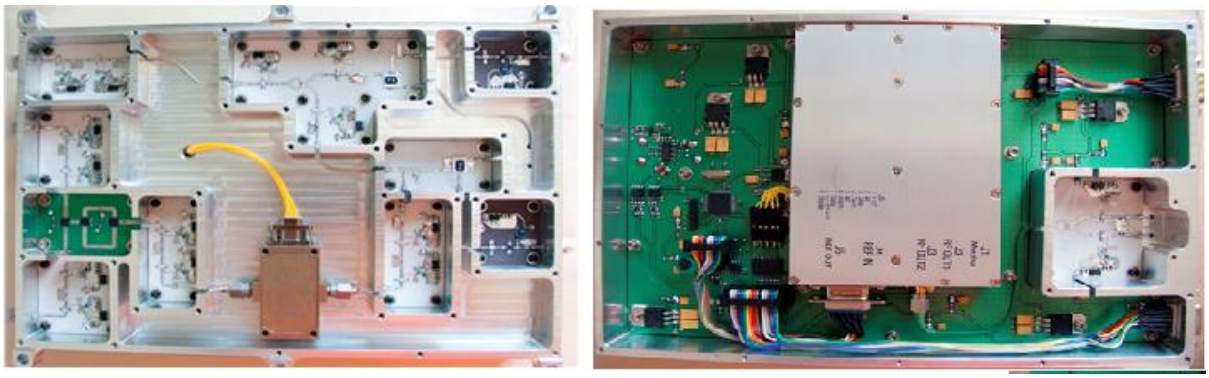
درسیستم مونوپالس ایستگاه زمینی توجه به شکل (۱۱) در هر مرحله سیگنال‌های جمع و تفاضل در هر دو باند S وX بعد از عملیات مدولاسیون و هم‌فاز شدن در قالب یک سیگنال از چهار حالتSUM ± ΔAZ or ΔEL وارد بخش گیرنده رهگیری می‌گردد

درسیستم مونوپالس ایستگاه زمینی توجه به شکل (۱۱) در هر مرحله سیگنال‌های جمع و تفاضل در هر دو باند S وX بعد از عملیات مدولاسیون و هم‌فاز شدن در قالب یک سیگنال از چهار حالتSUM ± ΔAZ or ΔEL وارد بخش گیرنده رهگیری می‌گردد.

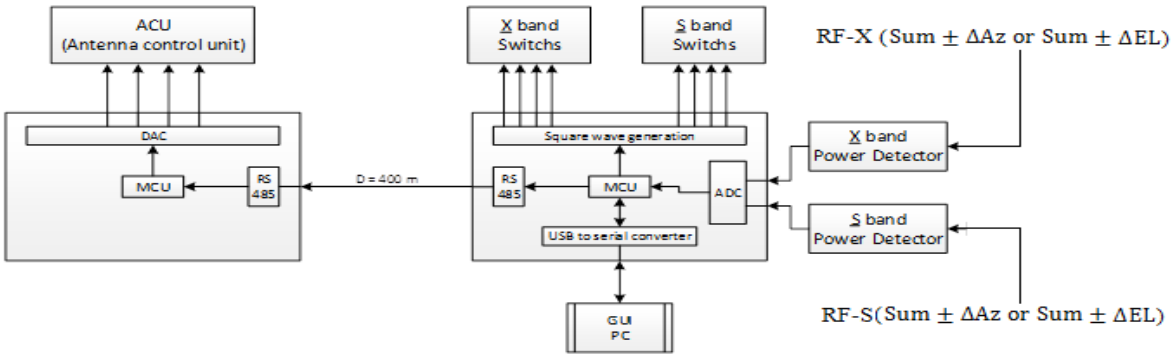
در گیرنده رهگیری ابتدا درواحد Power Detector دامنه سیگنال مخابراتی به ولتاژ آنالوگ تبدیل و وارد بخش پردازش می‌شود.در واحدپردازش از یک پردازشگر خانواده ARM استفاده شده است. واحد پردازش ابتدا ولتاژ آنالوگ را به دیجیتال تبدیل و بر اساس جدول زمانی مدیریت عمل مدولاسیون(Square Pulse Generator)، که توسط همین واحدبرای عمل مدولاسیون واحد مونواسکن تولیدشده است ولتاژ آنالوگ مربوطه رابه یکی از حالات چهارگانهSUM ± ΔAZ or ΔEL اختصاص می دهد . پردازشگر با جمع وتفریق ساده روی چهار حالت دریافتی در هر دوره تناوب (هر چهار پالس ساعت)،سیگنال‌های مونوپالس را استخراج نموده و با محاسبه شیب مونوپالس واعمال ضرایب مربوطه در هر باند انحراف زاویه ای در هر محور رااستخراج می‌کند. زوایای انحراف در هر محور با استاندارد سریال به محل پدستال ارسال و توسط پردازشگر آن واحد به سرو درایو اعمال می گردد. در شکل (۱۲) نمای سیستم پیاده‌سازی شده ارائه‌شده است.



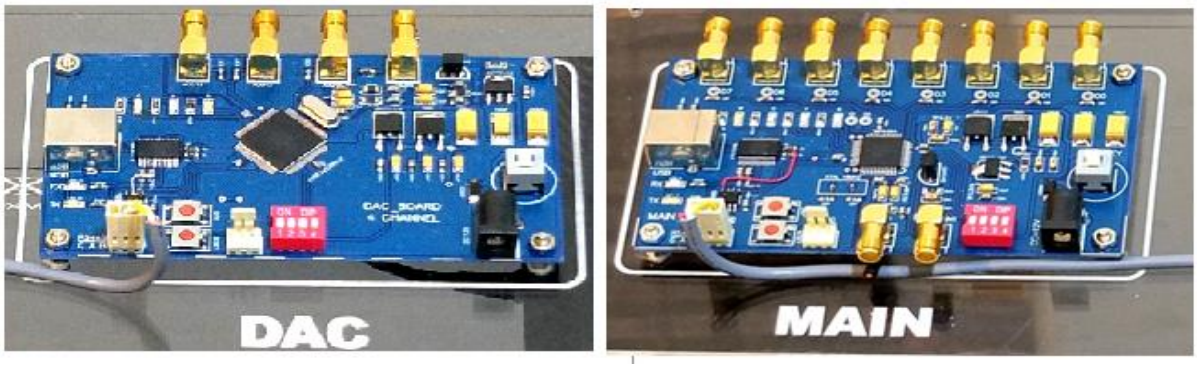
شکل ۸: دیاگرام بلوکی سیستم مونو اسکن ساخته شده



شکل۹. سیستم مونواسکن پیاده سازی شده



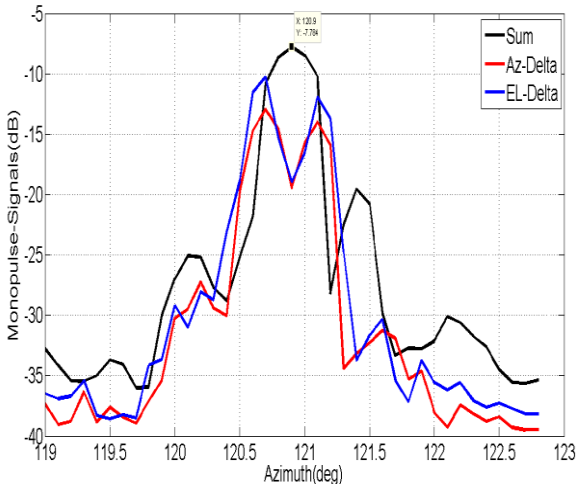
شکل ۱۱. دیاگرام بلوکی گیرنده رهگیری پیاده سازی شده



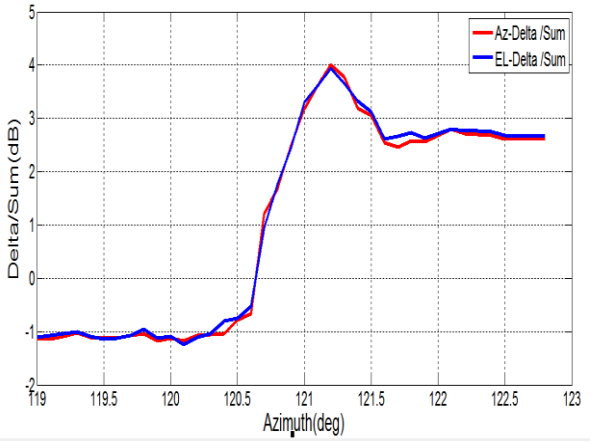
شکل ۱۲. گیرنده رهگیری پیاده سازی شده

آزمون سامانه

بعد از انجام مراحل طراحی و آزمون زیر بخش‌ها، مجموعه آنتن مونوپالس روی پدستال ایستگاه نصب و راه‌اندازی می‌شود. برای آزمون و تنظیم سامانه از یک سیستم فرستنده (باند S و X) در فاصله میدان دور از پدستال بهره‌برداری می‌گردد. در آزمون این مقاله، زوایای بورسایت این فرستنده در محور سمت Az=120.9نسبت به شمال و در محور فراز EL=0.78 نسبت به افق می‌باشد. قبل از آزمون با استفاده از این سامانه (بورسایت)کلیه مراحل تنظیم و کالیبره کردن سیستم مونوپالس (تنظیمات تغییر دهنده فاز ، ضرایب و ...) انجام می-شود .درآزمون بورسایت، پدستال بازاویه فراز ثابت (EL=0.78) محور سمت را حول نقطه بورسایت ردیابی می کند .در این آزمون فرکانس بیکن ارسالی از طرف بورسایت ۸۲۰۰ MHz می باشد. در شکل (۱۳) و شکل(۱۴)مسیر حرکت پدستال ، سیگنال‌های جمع و تفاضل مونوپالس به همراه شیب مونوپالس که در این آزمون استخراج شده، ارائه شده است .



شکل۱۳-الگوی تشعشعی اندازه‌گیری شده آنتن ایستگاه توسط بورسایت



شکل۱۴-میزان شیب مونوپالس جهت استخراج خطا

نتیجه گیری

با توجه به سیگنال های جمع و تفاضل مونوپالس که در آزمون بورسایت استخراج شد بهره مجموعه آنتن حدود بیشتر از ۵۱ دسیبل است و عمق نول حدود ۱۶ دسیبل که نزدیک به نتایج حاصل از شبیه سازی و آزمون در اتاق آنتن (بدون حضور بازتابنده) می باشد. از نمودار شیب مونوپالس اخذ شده این موضوع ثابت می‌شود که که این شیب در محدوده پهنای پرتو نیم توان آنتن تقریبا خطی و تقریبا متناسب با انحراف در محور سمت و فراز است اختلاف بین الگوی تفاضل سمت و فراز و اختلاف بین عمق نول شبیه سازی و اندازه‌گیری ناشی انعکاس زمین در محور فراز است .

مراجع

[1] Sherman, S.M. and D.K. Barton, Monopulse principles and techniques. 2nd ed. 2011, Boston: Artech House. xvii, 395 p.

[2] Dybdal, R., Communication satellite antennas: system architecture, technology, and evaluation. 2009: McGraw-Hill

[3] .Hawkins, G., D. Edwards, and J. McGeehan. Tracking systems for satellite communications. in IEE Proceedings F (Communications, Radar and Signal Processing). 1988. IET.

[4] Pang, L., et al. A high performance SoPC based digital receiver for monopulse tracking radar. in Signal Processing (ICSP), 2012 IEEE

[5] Tan, A.-C., M.-W. Chia, and K. Rambabu, Design of ultra-wideband monopulse receiver. IEEE transactions on microwave theory and techniques, 2006. 54(11): p. 3821-3827.

[6] Gawronski, W., Modeling and control of antennas and telescopes. 2008: Springer Science & Business Media.

[7] Gawronski, W, Gudim, M., et al., Design and performance of the monopulse pointing system of theDSN 34-meterbeam-waveguide antennas. Telecommunications and Mission Operations Progress Report, 1999. 42: p. 138.

[8] Nateghi, J., L. Mohammadi, and G.R. Solat. Analysis of the four-horn monopulse for LEO satellite tracking using the exact model. in 11th International Conference on Advanced Communication Technology. 2009.

[9] S. H. Mohseni Armaki, F. Hojat Kashani, J. R. Mohassel, M. Naser-Moghadasi,"Design and realization of tracking feed antenna system" Electronic Express,Vol. 8 (2011) No. 12,pp.907-915

[10] S. H. Mohseni Armaki1), F. Hojat Kashani1), M. Naser-Moghadasi,"Optimum Shape and size of slots for TE21 Tracking Mode Coupler" Electronic Express, Vol. 8 (2011) No. 9,pp.657-662