

طراحی یک دوربین موج میلیمتری پسیو^۱ در باند فرکانسی W

سید طه سید صدر

دانشجوی کارشناسی مخابرات

انجمن علمی مهندسی برق

دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرری

STS_SADR@Yahoo.com

مرتضی کازرونی

دانشجوی دکتری مخابرات

دانشکده ی مهندسی برق

دانشگاه علم و صنعت ایران

MR_Kazerooni@Yahoo.com

تهران صندوق پستی ۳۱۷۳-۱۴۱۵۵

چکیده: پیشرفتهای روزافزون تصویربرداری موج میلیمتری باعث شده تا این فناوری نوین علاوه بر فعالیتهای نظامی جایگاه ویژه ای در فعالیتهای غیر نظامی نیز پیدا کند. پیشرفت روزافزون فناوری نیمه هادی ها، سبب شده تا اندازه، وزن و قیمت این سیستمها تا حد امکان کاهش و کیفیت و کاربرد آنها افزایش پیدا کند. در این مقاله با بکارگیری جدیدترین فناوریهای موجود، بخشهای مختلف یک دوربین موج میلیمتری پسیو در باند فرکانسی W مورد تحلیل و طراحی قرار می گیرد، این دوربین دارای یک آنتن آرایه فازی^۲ و پردازشگر فاز و فرکانس جهت تبدیل خروجی آنتن به سیگنال آنالوگ مرتبط با تصویر و سپس پردازش آن توسط ادوات الکترونیکی و تبدیل آن به سیگنال دیجیتالی و نهایتا ارسال به کامپیوتر و نمایش تصویر گرفته شده توسط موج میلیمتری در مونیتر خواهد بود.

کلمات کلیدی: دوربین موج میلیمتری پسیو، موج میلیمتری، تصویربرداری، آشکارسازی، لنز *Rotman*، پردازشگر

۱- مقدمه

سیستمهای تصویربرداری مادون قرمز^۳ دارای قابلیت تصویربرداری در شب و در غبار و دود ناشی از عملیتهای جنگی میباشند. همانطور که در شکل (۱) ملاحظه می شود این سیستم تصویربرداری که در میان هوای مه آلود و بارانی به طور جدی تضعیف می شود، مشکلاتی را در تصویربرداری ایجاد می نماید بنابراین این محدودیت می تواند اشکالاتی را در استفاده از سنسورهای مادون قرمز در هواپیما ها و یا سیستمهایی که نیاز به دید در هوای ابری دارند ایجاد کند. شکل (۱) نشان می دهد که در فرکانسهای موج میلیمتری (۳۰-۳۰۰) GHz تحت وضعیت نامطلوب هوا شفافیت تصویر بطور نسبی باقی می ماند و مسیر تضعیف شده بوسیله ی باران و مه را در نواحی مختلف فرکانسی نشان می دهد. این خاصیت موج میلیمتری باعث می شود که به عنوان یک تکنیک تصویربرداری در هوای نامطلوب مورد استفاده واقع شود.

1) Passive Millimeter Wave (PMMW)

2) Phased Array Antenna

3) Infrared (IR)

اولین پیشرفته‌ها در مورد رادیومترهای^۱ موج میلیمتری در سال ۱۹۵۰ صورت گرفت، ولی این سیستمها پرحجم، سنگین، دارای حساسیت حرارتی کم و همچنین قدرت تفکیک پذیری پایین بودند. در سالهای اخیر، پیشرفت سریع فناوری در نیمه هادیها سبب شد تا اندازه و وزن این سیستمها به طور چشمگیری کاهش پیدا کند. اکنون سیستمهای رادیومتری با نویز حرارتی کم به اندازه ی ۵۰۰ درجه کلوین با استفاده از تعدادی دیود، میکسر و ترانزیستور ساخته شده از گالیوم آرسناید^۲ و یک آشکارساز ویدئویی ساخته می شوند و کاهش بیشتر در اندازه و وزن با یکپارچگی در شکل تراشه ها با استفاده از MMIC^۳ ها امکان پذیر شده است. تکنیک تصویربرداری در وضعیتهای مختلف جوی اهمیت این فناوری را برای مصارف نظامی و غیرنظامی پررنگتر نموده است.

در این مقاله سعی کرده ایم تا بخشهای مختلف یک دوربین تصویربرداری موج میلیمتری پسیو را که در فرکانس (۷۵.۵ – ۹۳.۵)GHz به واسطه ی استفاده از انتشار گرمای طبیعی از موجودات زنده و غیرزنده که دمای آنها از صفر درجه کلوین بیشتر است عمل می کند، مورد تحلیل و بررسی قرار دهیم.

۲- کاربردها و مزایای استفاده از تصویربرداری موج میلیمتری پسیو

تصویربرداری موج میلیمتری پسیو یک شیوه از شکل گیری تصویر بلادرنگ و آشکارسازی پسیو است که از انتشار یا تشعشع طبیعی موج میلیمتری از صحنه و اشیاء نشأت می گیرد. اگرچه برخی تصویربرداریهما همانند سیستم تصویربرداری رادیومتریک میکروویو، سیستم تصویربرداری مادون قرمز، اشعه ی X و ... برای چندین دهه شکل گرفته است ولی فناوری سنسورهای جدید در محدوده ی فرکانس موج میلیمتری باعث افزایش نرخ تصویربرداری بالا در این حیطه شده است. توانایی شکل دادن تصویر در روز یا شب، در هوای صاف یا وضعیت با دید ضعیف از قبیل مه رقیق، گرد و غبار یا ابر و دود، طوفان شن و حتی عبور از انواع پوششهای لباس جهت شناسایی اشیاء پنهانی از نمونه قابلیتهای این فناوری می باشد.

از کاربردهای نظامی می توان به قابلیت تصویربرداری در شرایط نامساعد و با دید ضعیف شامل مراقبت، دقت در هدف گیری، دریانوردی و جهت یابی، فرود هواپیما، راهبری فرودگاه، سوخت گیری در میان ابرها، عملیات جستجو و نجات، تشخیص سلاحهای سرد و گرم مخفی شده در محیطهای شلوغ و پر ازدحام (مانند فرودگاهها)، پهلوگیری کشتی، بازرسی، مبارزه با قاچاق، کشف ادوات جنگی استتار شده و پیدا کردن مکانهای مین گذاری شده اشاره نمود. در مورد کاربردهای غیر نظامی نیز می توان به کنترل ترافیک بزرگراهها، ناوبری زمینی با دید کم، تشخیص نشستی و لکه ی نفتی در آب دریا و همچنین استفاده از دوربین موج میلیمتری به عنوان زنده یاب اشاره نمود.

۳- عملکرد کلی سیستم

بلوک دیاگرام سیستم به طور کلی در شکل (۲) نشان داده شده است. آنتن مربعی شکاف دار^۴، یک آنتن آرایه ی فازی می باشد که از یک ورق دی الکتریک از جنس پلی اتیلن^۵ به ضخامت ۷.۶۲mm تشکیل شده و دو پوشش مسی دو طرف دی الکتریک را احاطه کرده است روزنه های کوچک ایجاد شده بر روی یک طرف آنتن بوسیله ی روش فتولیتوگرافی^۶ حکاکی شده اند (شکل ۳). این آنتن از جبهه ی موج^۷ برخوردار نمونه برداری می کند و میدانی را بین سطوح موازی خود تشکیل می دهد این میدان بوسیله ی عناصر تقویت کننده ی LNA^۸ تقویت شده و بوسیله ی دو لنز Rotman پردازش می شود. تصویر توسط دیودهای موج میلیمتری که اصولاً از خانواده ی دیود گان^۹ می باشند آشکار

1) Radiometer (تابش سنج)
2) Gallium Arsenide (GaAs)
3) Monolithic Microwave IC
4) Slotted Square Antenna

5) Polyethylene
6) Photolithography
7) Wave Front
8) Low Noise Amplifier

9) Gunn diode

می گردد و سپس سیگنال پیوسته ی حاصل بوسیله ی مدبل A/D^۱ به سیگنال دیجیتالی تبدیل ، درون یک ویدئو پردازش و در مونیتر کامپیوتر به نمایش در می آید.

۴- جزئیات عملکرد سیستم

۴-۱- آنتن گیرنده

تشعشع موج میلیمتری برخوردی ، بر روی آنتن بوسیله ی آرایه ای از روزنه های مستطیلی تزویج میگردد . تشعشع برخوردی به آنتن بوسیله ی این آرایه ها نمونه برداری می شود و هر روزنه ممکن است به عنوان یک منبع انتشار جداگانه در نظر گرفته شود. میدان داخل این موجبر^۲ مربعی ، بر اساس اینکه هر روزنه به عنوان منبع در جهت تقویت یا تضعیف بقیه ی منابع تشعشع می کند ، تعیین می گردد. دسترسی به امواج در زیر آنتن ممکن است و می توان وضعیت فازی و فرکانسی آن را مشخص نمود. فاز، توسط زاویه ی برخورد موج در راستای افقی تعیین می شود. برخورد عادی موج به آنتن، یک فاز در تغذیه ها که در عرض ورودی ثابت است پدید خواهد آورد . حدود ۲۳۲ منبع تغذیه روی آنتن اولین مرحله ی تقویت کنندگی را انجام می دهند. درک این مطلب وقتی که به عملکرد پردازشگر فاز (لنزهای Rotman) نگاه می کنیم ، به سادگی امکان پذیر است. فرکانس نیز بوسیله ی زاویه ی برخورد تشعشع در یک وضعیت عمودی تعیین می شود. فرکانس تزویج شده در آنتن توسط رابطه ی زیر بدست می آید:

$$nd + d \sin \theta = k \lambda \quad (۱)$$

$$\lambda = C/f \quad (۲)$$

که در آن n ضریب انعکاس دی الکتریک ، d فضای روزنه ، θ زاویه ی تابش ، k عدد صحیح ، λ طول موج ، C سرعت نور و f فرکانس می باشد.

۴-۲- مراحل تقویت سازی

امواج نمونه برداری شده قبل از ورود به پردازشگر فاز با استفاده از LNA تقویت می شوند (شکل ۴). LNAها در یک مجموعه ی ۸ کاناله ساخته شده و در یک پکیج بسته بندی می گردند^۳ هر کانال از ۳ تراشه ی مجزای LNA ساخته میشود که هر کدام دارای بهره ی ۲۰dB می باشند (۶۰dB = ۳ × ۲۰dB) و بعد از محاسبه ی مقدار افت ، در مجموع حدود ۵۵dB بهره می دهد. عملکرد ذکر شده در شکل (۵) و (۶) ارائه شده است. تلاشهای زیادی برای برطرف نمودن تداخل امواج بین تقویت با بهره ی بالا به دلیل نزدیک بودن آنها در یک بسته ی هشت تایی صورت گرفته است. باید توجه داشت که سیگنال ارسالی به پردازشگر فاز ، سیگنالی گسسته خواهد بود.

۴-۳- پردازشگر فاز

پردازشگر فاز یک لنز Rotman است. پردازشگر ، سیگنال نمونه برداری شده توسط آنتن را در ورودی دریافت میکند. لنز از یک سطح محدب در طرف ورودی و یک سطح مقعر در طرف خروجی تشکیل شده است (شکل ۷). به منظور داشتن توزیع یکسان و یکنواخت فاز ، در ورودی لنز یک پوشش نواری^۴ وجود دارد که سطح محدب لنز را تغذیه میکند.

1) Analog/Digital

2) Waveguide

3) Octapak

4) Bootlace

انتشار هر یک از ۲۳۲ منبع به داخل لنز منتقل می شود و پس از تمرکز و همگرایی از سطح مقعر ۱۹۲ خط به پورتهای خروجی منتقل می شوند. ۱۹۲ خط خروجی مجدداً توسط LNA تقویت شده و به پردازشگر فرکانس ارسال می گردند. تعداد پکیجهای مورد نیاز (Octapak) برای تقویت سیگنالهای خارج شده از پردازشگر فاز ۲۴ عدد می باشد (۱۹۲ / ۸ = ۲۴).

۴-۳-۱- لنز Rotman

کاربردهای متعددی در ارتباطات نیازمند آنتنهایی با پرتو^۱ چندگانه و قابلیت هدایت پرتو می باشند. لنزهای Rotman بعنوان شبکه های فرم دهنده ی پرتو برای آنتنهای آرایه خطی از کارایی بالایی برخوردار هستند ، در این لنزها پارامترهای S برای تعیین گلبه های کناری^۲ و تلفات ورودی محاسبه می گردند شکل (۸) نیمه ای از این لنز را که در باند فرکانسی W طراحی شده است نشان می دهد. برای ساختن این لنز از آلیاژ آلومینیوم^۳ استفاده شده است.

۴-۴- پردازشگر فرکانس

برای اینکه لنز Rotman بعنوان یک پردازشگر فرکانس مورد استفاده قرار گیرد ، باید قادر باشد تا وضعیت بازنمایی فرکانس تشعشع موج میلیمتری را که در راستای عمودی به آنتن برخورد می نماید مشخص کند. چون از این لنز بیشتر جهت پردازش فاز استفاده می شود باید راهی پیدا شود تا بازنمایی بر پایه ی فاز به بازنمایی بر پایه ی فرکانس تبدیل شود. این امر بوسیله ی اضافه کردن یک بخش تأخیر دهنده در پردازشگر انجام شده است.

۴-۵- مدارهای پردازش کننده فرکانس

در قسمت خروجی پردازشگر فرکانس ، دیودهای آشکارساز موج میلیمتری سیگنال ۹۰GHz را به یک ولتاژ DC ، جهت اندازه گیری و تبدیل آن به یک سیگنال دیجیتالی ، اعمال می کنند. ولتاژ تقریباً DC که توسط دیودهای آشکار ساز بوجود می آید با استفاده از مالتی پلکسر کم نویز^۴ که دارای ۶۴ کانال ۷ بیتی می باشد به اطلاعات دیجیتالی یا رقمی تبدیل می شود ، اطلاعات از روی بافرهای^۵ بر روی تراشه به یک برد قابل بازخوانی^۶ انتقال داده می شوند. عملکرد این برد ، استفاده از تراشه های FPGA برای بافر کردن و سپس شکل دادن سیگنال موازی به سیگنال سریال ساده ، میباشد.

۴-۶- سیستم اکتساب دیتا^۷

کد تصویرساز تحت ویندوز NT کار می کند بنابراین از طریق بارگذاری^۸ ، سه جریان دیتا را در باس PCI یک کامپیوتر جای می دهیم. کامپیوتری که این دوربین موج میلیمتری پسو را کنترل می کند دارای ریزپردازنده Pentium-IV ، دو عدد باس PCI مستقل از هم و چهار پردازشگر می باشد.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله به فرکانس موج میلیمتری اشاره کردیم که توسط شرایط نامساعد جوی تحت تأثیر قرار نمی گیرد و به

- | | |
|-----------------------|-------------------|
| 1) Beam | 5) Buffer |
| 2) Side lobes | 6) Read out Board |
| 3) aluminum | 7) Data |
| 4) Low Noise MUX Chip | 8) Loading |

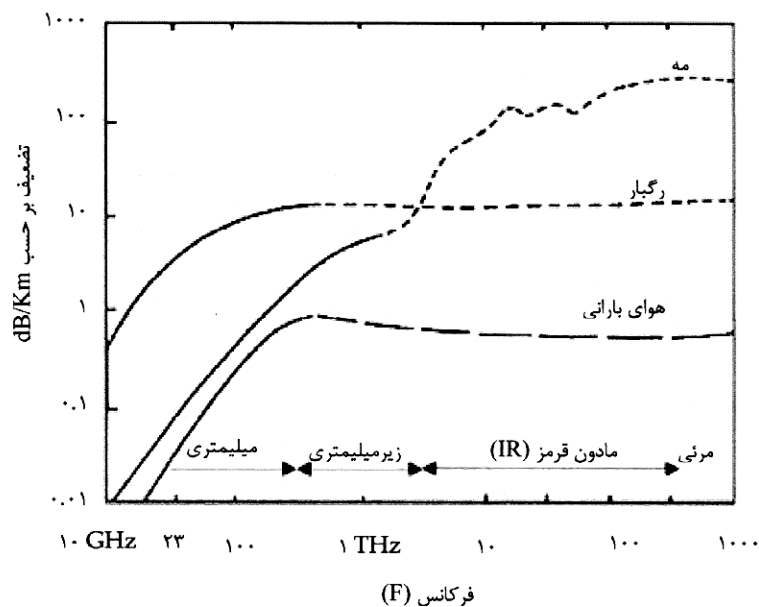
کاربردها و مزایای سیستمهای تصویربرداری موج میلیمتری اشاره نمودیم ، سپس طراحی یک دوربین موج میلیمتری پسیو را با تحلیل جزئیات عملکرد سیستم به انجام رسانده ایم ، مشخصات کلی سیستم را در شکل (۹) و عملکرد آن را در شکل (۱۰) بطور خلاصه بیان نموده ایم. در مقابل طراحی ساده ی یک دوربین موج میلیمتری پسیو به معایب برخی از سیستمهای تصویربرداری مشابه که باعث پررنگتر شدن نقش این سیستمها شده است ، اشاره می نماییم : نا توانی تصویربرداری در شرایط نامساعد جوی ، فرکانس کار به مراتب بالاتر از فرکانس کار سیستمهای موج میلیمتری و در نتیجه پیچیده تر شدن طراحی ، وسیع و حجیم بودن اینگونه سیستمها که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی باشند و حمل و نقل آنها به سختی انجام می گیرد همچنین گاهی ممکن است پرتوهای این سیستمها برای تکنسین دستگاه و دیگر موجودات زنده زیان آور باشند.

۶-سپاسگزاری

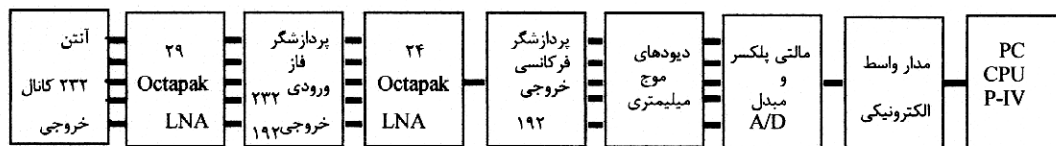
بر خود لازم می دانیم که از حمایتها و همکاریهای گروه مخابرات و معاونت محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرری، همچنین از دانشکده ی برق دانشگاه علم و صنعت ایران تشکر و قدردانی نماییم.

۷-مراجع

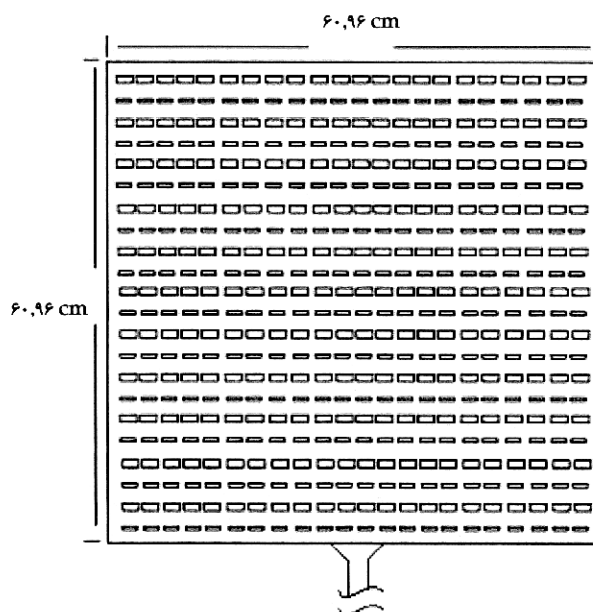
- [1] S.Clark , C.Martin , P.Costianes , " Real time wide field of View Passive Millimeter Wave Imaging Camera " , IEEE Computer Society , AIPR' 03 , PP.250 ,Oct.2003.
- [2] C.Martin , S.Clark , J.Lovberg , J.Galliano , "Real-time wide field of view Passive Millimeter-Wave Imaging " , SPIE Vol.4719 , PP.341, 2002
- [3] D.G.Gleed , R.Appleby , N.A.Salmon , S.Price , R.N.Anderton , " Operational issues for Passive Millimeter Wave Imaging Systems " , SPIE Vol.3064 , PP.23 , Apr.1997.
- [4] L.Yujiri , H.Agravante , " Millimeter Wave Camera " , SPIE Vol.3064 , Apr.1997.
- [5] L.Yujiri , M.Shoucric , P.Meffa " Passive Millimeter Wave Imaging " , IEEE Microwave Magazin , Sep.2003.
- [6] W.L.Stewart , " Passive Millimeter Wave Imaging Considerations for Tactical Aircraft " , IEEE AESS Magazine , Dec.2002.
- [7] D.D.Ferris , N.Currie , " Overview of Current Technology in MMW Radiometric Sensors for low enforcement applications " , SPIE Vol.4032 , 2000.



شکل (۱) تضعیف امواج در بازه فرکانسی (۱۰ - ۱۰۰۰) GHz در شرایط مختلف آب و هوایی بر حسب دسی بل بر کیلومتر

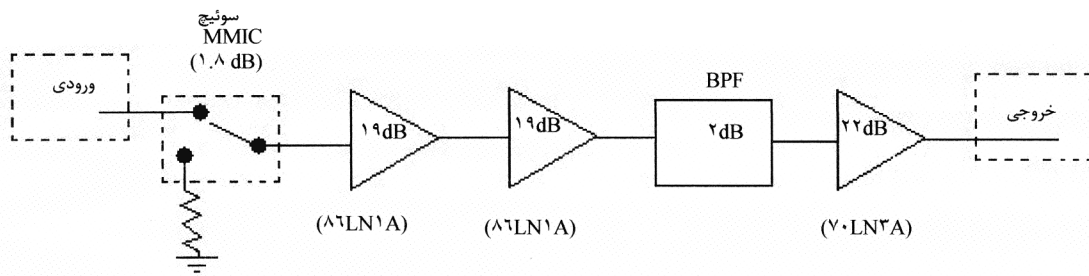


شکل (۲) فلوچارت سیستم دوربین موج میلیمتری پسیو



شکل (۳) نمونه آنتن آرایه فازی با ابعاد $(۶۰.۹۶ \times ۶۰.۹۶) \text{ cm}^2$

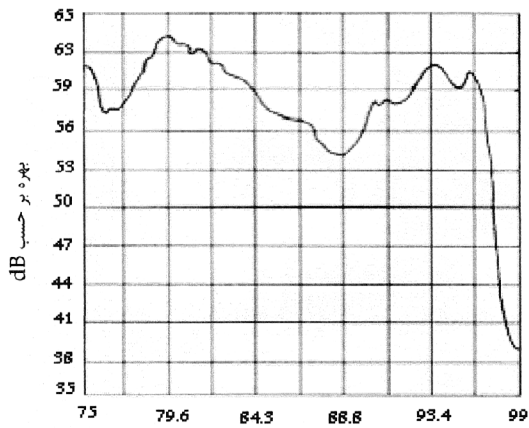
دی الکتریک از جنس پلی اتیلن و به ضخامت ۷.۶۲mm احاطه شده توسط دو صفحه مسی



شکل (۴) مراحل تقویت سیگنال

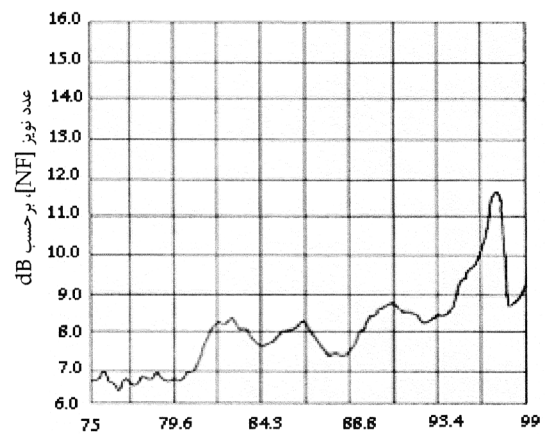
اهداف تعیین شده :

بهره ی سیگنال کوچک $> 53 \text{ dB}$ فرکانس مرکزی 86 GHz
 پهنای باند 18 GHz عدد نویز (noise figure) $< 7 \text{ dB}$



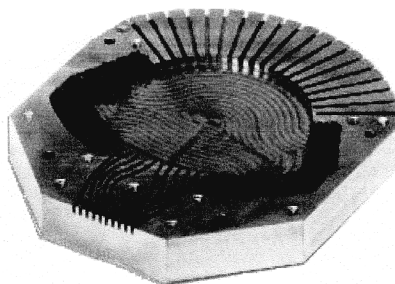
فرکانس بر حسب GHz

شکل (۶) بهره ی Octapak طبق نتایج بدست آمده

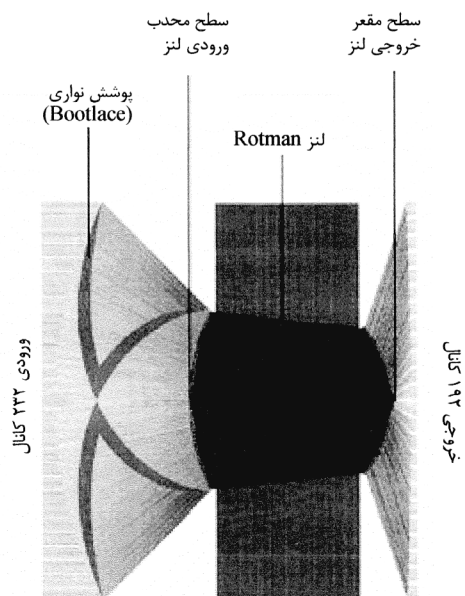


فرکانس بر حسب GHz

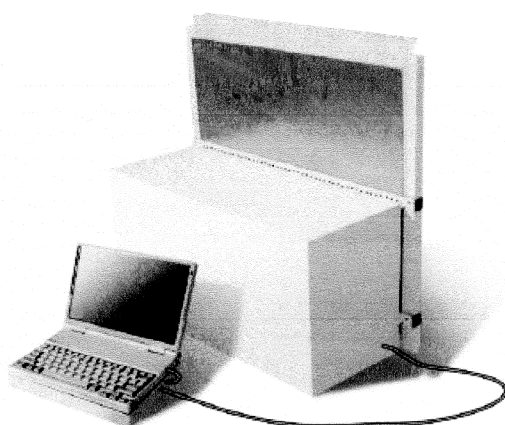
شکل (۵) عدد نویز Octapak طبق نتایج بدست آمده



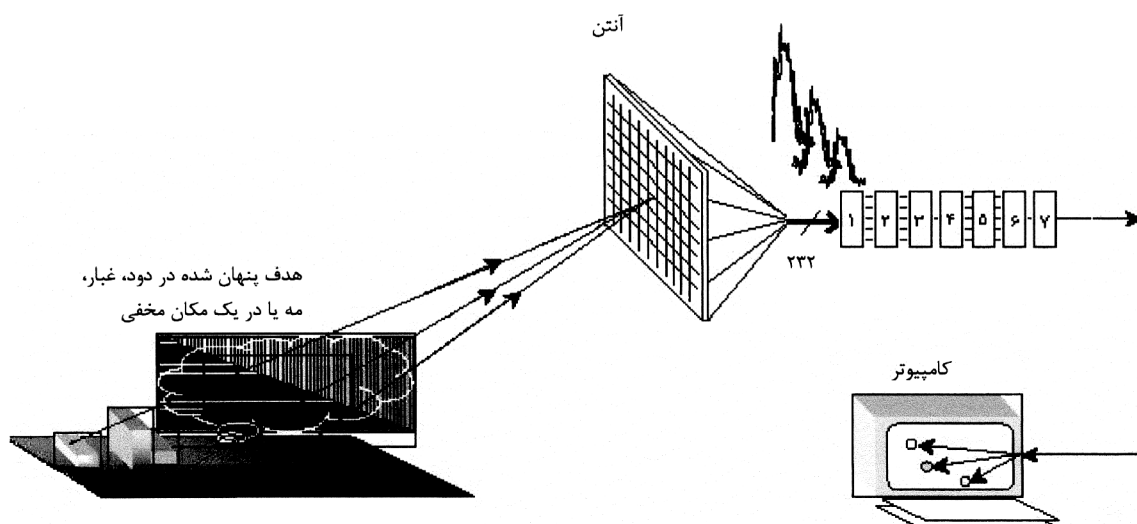
شکل (۸) لنز Rotman طراحی شده در باند فرکانسی W



شکل (۷) پردازشگر فاز



شکل (۹) مشخصات کلی سیستم
 فرکانس کار دوربین (۷۵/۵ - ۹۳/۵) GHz
 آهنگ تصویربرداری ۳۰ فریم در ثانیه
 تفکیک پذیری با زاویه ۰.۲۳ درجه
 حساسیت سنسورها ۲.۱ درجه ی کلون
 میدان دید $۳۰^{\circ} \times ۲۰^{\circ}$
 مساحت آنتن ۶۰.۹۶×۶۰.۹۶ cm^۲
 اندازه ی صفحه ی نمایش ۱۲۸ × ۱۹۲ پیکسل
 وزن سیستم حدود ۶۵ کیلوگرم



شکل (۱۰) عملکرد کلی سیستم تصویربرداری موج میلیمتری

(۵) دیودهای آشکارساز موج میلیمتری	(۱) تقویت کننده ی کم نویز (LNA)
(۶) مالتی پلکسر و مبدل سیگنال آنالوگ به دیجیتال	(۲) پردازشگر فاز
(۷) مدارهای واسط الکترونیکی	(۳) تقویت کننده ی کم نویز (LNA)
	(۴) پردازشگر فرکانس