

حاشا
الرحمن الرحيم



دانشکده برق و رباتیک

رشته برق مخابرات، گرایش مخابرات سیستم

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارزیابی عملکرد اخلاص گر پرتابی و تاثیر آن بر روی رادارهای رهگیری و موشک‌های راداری

نگارنده: پوریا مرادی

استاد راهنما

دکتر سید مسعود میررضایی

استاد مشاور

دکتر سید محمد علوی

تیر ۱۳۹۸

تقدیم به :
همه‌ی شهدای مدافع حرم

سپاس‌گزاری...

اکنون که مراحل پژوهش، تدوین و نگارش پایان‌نامه به پایان رسیده است نمی‌توانم معنایی بالاتر از تقدیر و تشکر بر زبانم جاری سازم و سپاس خود را در وصف پدر و مادر عزیزم که وجودم جز هدیه وجودشان نیست آشکار نمایم. از خانواده عزیزتر از جانم متشکرم که درطول زندگی و دوران تحصیل همراه و مشوقم بودند و با ایثار و از خودگذشتگی و تحمل زحمات این راه یاری‌ام نمودند.

از اساتید فرهیخته و فرزانه (دکتر سید مسعود میررضایی و دکتر سید محمد علوی) که با نکته‌های دلاویز و گفته‌های بلند، صحیفه‌های سخن را علم‌پرور نمودند و همواره راهگشای نگارنده در اتمام و اکمال پایان‌نامه بوده‌اند تقدیر و تشکر می‌نمایم. همچنین از (مهندس محمدعلی رضازاده) که در تمام مراحل این پایان‌نامه مرا از تجربه و علمشان بی‌نصیب نگذاشتند قدردانی و تشکر می‌نمایم.

پوریا مرادی

تیر ۱۳۹۸

تعهد نامه

اینجانب پوریا مرادی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته برق مخابرات برق و رباتیک دانشگاه شاهرود، نویسنده پایان نامه با عنوان ارزیابی عملکرد اخلاق گر پرتابی و تاثیر آن بر روی رادارهای رهگیری و موشک های راداری ، تحت راهنمایی سید مسعود میررضایی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های دیگر پژوهش گران، به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب این پایان نامه، تا کنون توسط خود، یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارایه نشده است.
- حقوق معنوی این اثر، به دانشگاه صنعتی شاهرود تعلق دارد، و مقالات مستخرج با نام “ دانشگاه صنعتی شاهرود “ یا “ Shahrood University of Technology “ به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده اند، در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در تمام مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تمام مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته (یا استفاده شده است)، اصل رازداری و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

پوریا مرادی

تیر ۱۳۹۸

مالکیت نتایج و حق نشر

- تمام حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی، در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در این پایان نامه بدون ذکر منبع مجاز نمی باشد.

چکیده

یکی از مهم‌ترین موضوعات ارائه شده در جنگ الکترونیک برای مقابله با رادارهای رهگیری و موشک‌های هدایت راداری زمین به هوا و هوا به هوا، شناخت و به کارگیری درست اقدامات ضد الکترونیک (ECM)^۱ بر پایه‌ی اخلاص موثر در این سامانه‌ها می‌باشد. اکثر ارزیابی‌ها و مدل‌سازی‌های ریاضی اخلاص گرهای هواپایه براساس ماموریت‌های تاکتیکی، مربوط به حالت اخلاص از راه دور (SOJ)^۲ یا از راه نزدیک که به صورت خود محافظ (SPJ)^۳ و اخلاص اسکورت (E.J)^۴ می‌باشد، در نظر گرفته و محاسباتی مربوط به اخلاص گر پرتابی^۵ برای تهدیدها ارائه نشده است. در این پایان‌نامه برای ارزیابی عملکرد اخلاص گر پرتابی مقابل تهدیدها، با توجه به آشکارسازی تهدید توسط گیرنده هشدار دهنده راداری^۶ و تعیین نوع آن، ابتدا به بررسی و مدل‌سازی ریاضی ۸ تهدید از ۴ باند فرکانسی S، C، X و Ku پرداخته شده و نحوه اثرگذاری این اخلاص گر در برابر آنان مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که برای تهدیدی مانند موشک Amraam در فاصله 12 Km، مدت زمان 10.27 s مختل می‌باشد.

کلمات کلیدی:

جنگ الکترونیک، اقدامات ضد الکترونیک، اخلاص گرهای هواپایه، اخلاص گر پرتابی، گیرنده هشدار دهنده راداری،

^۱ Electronic Counter Measures

^۲ stand-off jamming

^۳ Self-Protection Jammer

^۴ Escort Jammer

^۵ Expendable Jammer

^۶ Radar warning receiver

فهرست مطالب

س	فهرست تصاویر
ف	فهرست جداول
۱	۱ مقدمه
۲	۱.۱ مروری بر کارهای انجام شده
۳	۲.۱ اهداف تحقیق
۳	۳.۱ ساختار پایان نامه
۵	۲ جنگ الکترونیک
۵	۱.۲ اقدامات پشتیبانی الکترونیکی
۶	۱.۱.۲ جمع آوری اطلاعات الکترونیکی
۶	۲.۱.۲ جمع آوری اطلاعات رادیویی
۷	۲.۲ اقدامات ضد الکترونیکی
۸	۱.۲.۲ چگونگی مختل شدن تهدید
۸	۲.۲.۲ فاصله بی تأثیری
۹	۳.۲.۲ آگاهی از نتیجه حمله الکترونیکی انجام شده
۹	۴.۲.۲ تقسیمات حمله الکترونیکی
۹	۳.۲ اقدامات ضد ضد الکترونیکی
۱۰	۴.۲ فرم معادله رادار
۱۲	۵.۲ مقدمه‌ایی بر اخلاص
۱۴	۶.۲ اصول اولیه معادله اخلاص
۱۴	۷.۲ اخلاص گر پرتابی
۱۷	۳ اخلاص گر پرتابی
۱۷	۱.۳ سناریوی عملیاتی
۱۹	۲.۳ سامانه پدافندی Hawk

۲۰	..... حساسیت گیرنده	۱.۲.۳
۲۲	..... سامانه پدافندی Sa-2	۳.۳
۲۳	..... سامانه پدافندی Sa-3	۴.۳
۲۵	..... سامانه پدافندی Sa-8	۵.۳
۲۷	..... موشک هوا به هوا Sparrow	۶.۳
۲۸	..... موشک هوا به هوا AMRAAM	۷.۳
۳۱	..... سیستم دفاع موشکی Aegis	۸.۳
۳۵		۴ شبیه‌سازی
۳۵	..... شبیه‌سازی تهدیدات	۱.۴
۴۵		۵ نتایج و پیشنهادات
۴۵	..... نتایج	۱.۵
۴۸	..... پیشنهادات	۲.۵
۴۹		مراجع

فهرست تصاویر

۷	طیف الکترومغناطیسی [۱۴]	۱.۲
۱۰	طبقه‌بندی حمله الکترونیکی	۲.۲
۱۳	استفاده از SOJ در سناریوی جنگ الکترونیک	۳.۲
۱۵	GEN-X [۲۱]	۴.۲
۱۶	اخلال‌گر کششی [۶]	۵.۲
۱۶	BriteCloud [۲۶]	۶.۲
۱۸	مدل عملکرد سیستم	۱.۳
۱۹	سناریوی عملیاتی [۱]	۲.۳
۲۰	موشک نیمه فعال Hawk	۳.۳
۲۳	رادار رهگیر Sa-2 [۱۷]	۴.۳
۲۵	رادار رهگیر sa-۳ [۱۷]	۵.۳
۲۶	رادار رهگیر Sa-8 [۱۷]	۶.۳
۲۸	موشک AIM-7 [۲۲]	۷.۳
۲۹	موشک AIM-120 [۲۳]	۸.۳
۳۱	سامانه دفاع موشکی Aegis [۲۷]	۹.۳
۳۲	رادار موج پیوسته AN/SPG-62 [۲۸]	۱۰.۳
۳۶	شبیه‌سازی سامانه Hawk به ازای $SNR_{min} = 14dB$ و $P_j = 3W$	۱.۴
۳۷	شبیه‌سازی سامانه Hawk به ازای $SNR_{min} = 20dB$ و $P_j = 3W$	۲.۴
۳۷	شبیه‌سازی سامانه بهینه‌سازی شده Hawk به ازای $SNR_{min} = 20dB$ و $P_j = 3W$	۳.۴
۳۸	شبیه‌سازی سامانه پدافندی Sa-2 به ازای $SNR_{min} = 10dB$ و $P_j = 1W$	۴.۴
۳۸	شبیه‌سازی سامانه پدافندی Sa-2 به ازای $SNR_{min} = 20dB$ و $P_j = 1W$	۵.۴
۳۹	شبیه‌سازی سامانه پدافندی Sa-3 به ازای $SNR_{min} = 10dB$ و $P_j = 1W$	۶.۴
۳۹	شبیه‌سازی سامانه پدافندی Sa-3 به ازای $SNR_{min} = 20dB$ و $P_j = 1W$	۷.۴
۳۹	شبیه‌سازی سامانه پدافندی Sa-8 به ازای $SNR_{min} = 10dB$ و $P_j = 1W$	۸.۴

۴۰	شبیه‌سازی سامانه پدافندی 8 - Sa به ازای $SNR_{min} = 20dB$ و $P_j = 1W$	۹.۴
	شبیه‌سازی موشک نیمه فعال sparrow به ازای $SNR_{min} = 14dB$ و $P_j = 1W$	۱۰.۴
۴۰	..... 3W	
	شبیه‌سازی موشک نیمه فعال sparrow به ازای $SNR_{min} = 20dB$ و $P_j = 1W$	۱۱.۴
۴۱	..... 3W	
۴۱	شبیه‌سازی موشک فعال Amraam به ازای $SNR_{min} = 10dB$ و $P_j = 1W$	۱۲.۴
۴۲	شبیه‌سازی موشک فعال Amraam به ازای $SNR_{min} = 20dB$ و $P_j = 1W$	۱۳.۴
	شبیه‌سازی موشک نیمه فعال RIM - 156 به ازای $SNR_{min} = 14dB$ و $P_j = 1W$	۱۴.۴
۴۲	..... $P_j = 3W$	
	شبیه‌سازی موشک نیمه فعال RIM - 156 به ازای $SNR_{min} = 20dB$ و $P_j = 1W$	۱۵.۴
۴۳	..... $P_j = 3W$	
۴۳	شبیه‌سازی رادار رهگیر 1 - SPY به ازای $SNR_{min} = 10dB$ و $P_j = 1W$	۱۶.۴
۴۴	شبیه‌سازی رادار رهگیر 1 - SPY به ازای $SNR_{min} = 20dB$ و $P_j = 1W$	۱۷.۴
۴۷	..... مدل پرتاب	۱.۵

فهرست جداول

۲۰	پارامترهای موشک نیمه فعال Hawk	۱.۳
۲۱	حداقل سیگنال به نویز مورد نیاز	۲.۳
۲۴	پارامترهای رادار رهگیر sa-2	۳.۳
۲۴	پارامترهای رادار رهگیر sa-3	۴.۳
۲۶	پارامترهای رادار رهگیر sa-8	۵.۳
۲۷	پارامترهای موشک نیمه فعال Sparrow	۶.۳
۳۰	پارامترهای موشک فعال AMRAAM	۷.۳
۳۳	پارامترهای موشک نیمه فعال RIM-156	۸.۳
۳۳	پارامترهای رادار رهگیر SPY-1	۹.۳
۴۶	مدت زمان اخلاص در برد آشکارسازی با توجه به سرعت تهدید	۱.۵
۴۸	مدت زمان اخلاص در برد آشکارسازی با توجه به بیم رادار تهدید	۲.۵

فصل ۱

مقدمه

مقدمه فصل، مرور کلی بر روش‌های حفاظت از جنگنده در برابر تهدیدات هدایت راداری و مقایسه آنان به منظور شناسایی نقاط ضعف و قوت آنها می‌باشد. در نهایت هم خلاصه‌ایی از فصل‌های پایان‌نامه ارائه شده است.

هوایماهای نظامی مدرن اهداف اصلی برای موشک‌های سطح به هوا و هوا به هوای هدایت رادیویی (RF)^۲ می‌باشند. متحرک بودن سامانه‌های پدافندی موشکی سطح به هوا و مجهز نمودن آنان به سیستم‌های دقیق ردیابی RF و همچنین بهینه‌سازی سیستم‌های قدیمی با فناوری‌های جدید در تجهیزات الکترونیکی مدرن، به تهدیدات بزرگی برای سامانه‌های دفاعی تبدیل شده‌اند. دام فعال مصرفی برای حفاظت موثر از جنگنده ایی که روی آن نصب شده است، با ایجاد یک هدف کاذب، موشک را گمراه کرده و از پلت فرم محافظت می‌کند. آنها می‌توانند تقریباً برای تمام سیستم‌های نظامی که از استاندارد پرتاپ کننده چف و فلیر استفاده می‌کنند، متصل شوند [۱].

در مباحث جنگ الکترونیک مجموعه اقداماتی که هدف آنها مختل کردن هوایی و یا دریایی توسط دشمن می‌باشد، حمله الکترونیکی راداری نامیده می‌شود. اخلاص گر مهمترین سیستم در مجموعه سیستم‌های حمله الکترونیکی می‌باشد. طبقه بندی‌های مختلفی در مورد سامانه‌های اخلاص گر راداری انجام شده است که در ادامه به آنان پرداخته می‌شود [۲].

اخلاص گرها به دو گونه فعال و غیر فعال تقسیم می‌گردند. در اخلاص گرهای فعال فرستنده

^۲Radio Frequency

وجود دارد که با ارسال سیگنال به رادار تهدید، شروع به اخلاص آن می‌نماید. اما در اخلاص گره‌های غیر فعال فرستنده‌ایی وجود ندارد و اخلاص گر تنها با استفاده از خواص ذاتی خود مانند چف^۱ و فلر^۲، توجه رادار تهدید را از هدف دور کرده و به خود جلب می‌نماید [۳].

۱.۱ مروری بر کارهای انجام شده

در حال حاضر سیستم های اقدام متقابل یک‌بار مصرف^۳ نمی‌توانند از جنگنده در برابر تهدیدات مدرن هدایت راداری محافظت کنند. روش اصلی اقدامات متقابل راداری در برابر اکثر جنگنده‌ها، استفاده از تکنولوژی چف، دام های کششی و جمینگ الکترونیکی می باشد [۱]. هریک از این روش ها دارای نقص هایی مانند: هزینه بالا، مسائل مربوط به امکان پذیر بودن و محدودیت های اجرایی می باشند.

چف یک اقدامات متقابل قابل مصرف غیر فعال می‌باشد که در برابر تهدیدات هدایت راداری استفاده می‌شود که شامل میلیون‌ها الیاف از جنس فایبر گلاس با روکش آلومینیوم می‌باشد که در طول‌های مختلف برای ایجاد بیشترین اثر در برابر یک فرکانس رادار برش داده شده است [۵]. این روش به تعداد کمی از تهدیدات مربوط می‌شود که طول موج آن‌ها مربوط به طول موج انعکاس یافته از چف می‌باشد. فضای ابری ایجاد شده توسط چف در برابر سامانه‌هایی که از رادار داپلر استفاده می‌کنند، سریع کاهش سرعت می‌دهد و عملاً بی‌تاثیر می‌باشد. دام های کششی [۶]، سیستم هایی با توانایی بسیار بالایی هستند، اما تعداد کمی از آن ها روی جنگنده نصب می‌شود و همچنین قدرت مانور جنگنده را نیز کاهش می‌دهند و هزینه های اجرایی نسبتاً بالایی دارند.

پادهای اخلاص گر [۷] هم توانایی‌های زیادی برای اخلاص رادارها دارند اما با توجه به پیشرفت موشک‌های جدید که دارای قابلیت قفل کردن روی منبع‌ایی^۴ که اخلاص می‌شوند را دارا می‌باشند، عملاً کارایی آنان کاهش می‌یابد.

با استفاده از تکنولوژی جدید اخلاص گر پرتابی، توسعه نوع جدیدی از اقدامات متقابل یک‌بار مصرف با محدودیت‌های کمتر ارائه می‌شود. در حال حاضر کشورهای مختلف، تکنولوژی دام‌های فعال یک‌بار مصرف را گسترش داده‌اند [۱][۱۲]. از جمله این کشورها می‌توان به دام فعال یک‌بار مصرف GEN-X آمریکا، Brite Cloud توسط اتحادیه اروپا، ASPD توسط اسرائیل، KRET توسط روسیه و اشاره نمود.

در [۱] دام فعال یکبار مصرف^۵، داخل پرتاب‌کننده چف و فلیر قرار می‌گیرد و به همان

^۱Chaff

^۲Flare

^۳expendable counter measure

^۴Lock On Jam

^۵Expendable Active Decoy

صورت هم مصرف می شود. تکنولوژی EAD با استفاده از فناوری DRFM^۱، سیگنال های منتشر شده از رادار تهدید را با استفاده از گیرنده خود دریافت و ذخیره نموده و سپس همان سیگنال را با توانی بیشتر از سیگنال بازگشتی از جنگنده در فضا و به سمت رادار برای ایجاد هدف کاذب منتشر می کند [۱۵].

سامانه پیشنهادی در این پایان نامه در حالت استفاده و برنامه ریزی توسط گیرنده هشدار دهنده راداری^۲، سیگنال ارسالی از تهدید را براساس نوع باند فرکانسی، PRF و انرژی آن دسته بندی می کند و پس از مشخص شدن نوع تهدید، اخلاص گر پرتابی مناسب برای کاهش برد رهگیری رادار و افزایش سطح نویز در گیرنده رادار و منحرف کردن موشک، پرتاپ می شود.

۲.۱ اهداف تحقیق

در حال حاضر عمل اخلاص نویز برای فریب تهدیدهای هدایت راداری توسط پادهای اخلاص گر که زیر جنگنده قرار دارند انجام می شود. نسل جدید رادارهای رهگیری و موشک های راداری پیشرفته ایی مانند AMRAAM^۳ دارای حالت قفل بر روی اخلاص گر می باشند و به محض این که اخلاص شوند، این حالت را فعال نموده و به سمت جنگنده حرکت و آن را نابود می کنند. با توجه به پیشرفت کشورهای آمریکا، روسیه و به تازگی اتحادیه اروپا به تکنولوژی ساخت اخلاص گر پرتابی و استفاده از آن، ارزیابی عملکرد این سامانه مقابل تهدیدهای مختلف و فراهم سازی استفاده و ساخت عملیاتی این سامانه در جنگ الکترونیک، امری حیاتی می باشد.

۳.۱ ساختار پایان نامه

در فصل دوم، به تقسیم بندی جنگ الکترونیک و جایگاه اخلاص گر پرتابی در آن پرداخته شده و در ادامه، بررسی اصول اخلاص صورت گرفته است. فصل سوم، اخلاص گر پرتابی پیشنهادی معرفی و ارزیابی تهدیدات ارائه می شود. در فصل چهارم، شبیه سازی تهدیدها صورت گرفته و در نهایت در فصل پنجم، نتیجه گیری و پیشنهادها بیان می شود.

^۱Digital radio frequency memory

^۲Radar Warning Receiver

^۳advanced medium range air-to-air missile

فصل ۲

جنگ الکترونیک

افزایش روز افزون سلاح‌های جدیدی که توسط سامانه‌های الکترونیکی و مخابراتی طراحی، کنترل و هدایت می‌شوند موجب گسترش زمینه‌ای از علوم موسوم به جنگ الکترونیک شده است. جنگ الکترونیک، جلوگیری از استفاده موثر امواج الکترومغناطیسی توسط دشمن، و بهره‌برداری صحیح امواج الکترومغناطیسی توسط نیروهای خودی می‌باشد [۱۶][۲][۱۴][۱۸]

ساختار جنگ الکترونیک هوایی به طور کلی شامل ۳ بخش زیر می‌باشد:

۱. اقدامات پشتیبانی الکترونیکی^۲

۲. اقدامات ضد الکترونیکی^۳

۳. اقدامات ضد ضد الکترونیکی^۴

۱.۲ اقدامات پشتیبانی الکترونیکی

ماموریت (ESM) از چهار قسمت یک‌پارچه زیر تشکیل شده است :

^۲ Electronic Support Measures

^۳ Electronic Counter Measures

^۴ Electronic Counter Counter Measures

- سیستم جستجو و رهگیری فضایی سیگنالی (Homing)
- سیستم اعلام هشدار تهدید (Target Warning)
- سیستم اعلام سمت تهدید (Direction Finding)
- سیستم هدف گیری تهدید (Target Acquisition)

بخش ESM شامل کلیه فعالیت های جمع آوری اطلاعات سیگنالی (SIGINT) موجود در فضای الکترومغناطیسی یک منطقه نبرد بوده است که بنا به نیاز عملیاتی متشکل از دو گروه زیر می باشد:

- اطلاعات سیگنالی موسوم به اطلاعات الکترونیکی (ELINT)
- اطلاعات سیگنالی موسوم به اطلاعات مخابراتی (COMINT)

جمع آوری اطلاعات سیگنالی، تابع شرایط جنگی نبوده و چه در زمان صلح و چه در زمان بحران، به منظور مراقبت های کنترلی از سوی هرگونه تهدید غیر منتظره صورت می پذیرد. (اطلاعات اکتسابی جهت تجزیه و تحلیل عملیاتی در رده های بالاتر مورد بهره برداری عملیاتی قرار خواهد گرفت)

۱.۱.۲ جمع آوری اطلاعات الکترونیکی

ELINT به معنی جمع آوری کلیه اطلاعات سیگنالی رادارهای فعال در حوزه پدافندی و یا آفندی منصوب بر روی هواپیماها، جنگنده ها و شناورهای دشمن می باشد مانند:

- رادارهای هشدار دهنده اولیه
- رادارهای هشدار دهنده ثانویه
- رادارهای قفل شونده و کنترل آتش پدافندی
- رادارهای رهگیری اهداف در یگان های پروازی

جدول (۱.۲) مربوط به تقسیم بندی طیف الکترومغناطیسی از نظر جنگ الکترونیک می باشد.

۲.۱.۲ جمع آوری اطلاعات رادیویی

COMINT به معنی جمع آوری کلیه اطلاعات سیگنالی منتشر از سامانه های مخابراتی مرسوم و متداول بین یگان های نظامی و امنیتی حریف می باشد.

Frequency Range	EW Frequency Band	Radar Design Frequency Band
0-250 MHz	A	HF/VHF
250-500 MHz	B	UHF
500-1000 MHz	C	UHF
1-2 GHz	D	L
2-3 GHz	E	S
3-4 GHz	F	S
4-6 GHz	G	C
6-8 GHz	H	C
8-10 GHz	I	X (8-12.5 GHz)
10-20 GHz	J	Ku (12.5-18 GHz)
20-40 GHz	K	K (18-26.5 GHz)
40-60 GHz	L	Ka (26.5-40 GHz)
60-100 GHz	M	40-100 Millimeter

شکل ۱.۲: طیف الکترومغناطیسی [۱۴]

۲.۲ اقدامات ضد الکترونیکی

بخش ECM شامل کلیه اقدامات و فعالیت‌های ضد الکترونیکی می‌باشد که از طریق انتشار سیگنال‌های نویز و یا فریب الکترونیکی دشمن به وسیله امواج پیوسته^۱ و پالسی، صورت می‌پذیرد. قبل از مطرح ساختن تکنیک خاصی از حمله الکترونیکی، نیاز به شناخت اثرات ناشی از اهداف، روش‌ها و محدودیت‌های آن می‌باشد که در درک جزئیات ما را یاری می‌نمایند. مشکل اساسی در بهره‌برداری عملیاتی از حمله الکترونیکی ناشی از این حقیقت است که اعمال آن به منظور مختل‌سازی شبکه پدافندی و... از فاصله دور انجام پذیرفته و آگاهی از تاثیر آن با توجه به عدم اطلاع دقیق از خصوصیات و پارامترهای حساسه‌ها به راحتی میسر نمی‌باشد. بنابراین اصول حمله الکترونیکی تحت سه عنوان زیر مطرح می‌گردد:

- چگونگی مختل شدن تهدید
- فاصله بی‌تاثیری (نقطه سوزش)^۲
- آگاهی از نتیجه حمله الکترونیکی انجام شده

^۱ Continuous wave

^۲ Burn Through

۱.۲.۲ چگونگی مختل شدن تهدید

حمله الکترونیکی تلاش می کند تا اطلاعاتی که سیستم های راداری از طریق انعکاس امواج دریافت می کنند را کاهش دهد که این امر را به دو طریق انجام می دهد :

اخلال نویز

در روش اخلال نویزی، سطح نویز پیرامون سیگنال هدف زیاد شده و در نتیجه برد رهگیری رادار تهدید کاهش می یابد. در این روش اخلال گر به دنبال آن است که برد رادار تهدید را در جهت های مورد نظر خود به حدی کم کند که سامانه های جنگی خودی در محیطی که از دید رادار دشمن پنهان می باشد، قرار گیرند.

اخلال فریب

اخلال گر فریب توان قابل توجهی ندارد. این اخلال گر توان خود را طوری هوشمندانه ارسال می کند تا برای رادار مانند یک هدف به نظر بیاید، بنابراین در صفحه نمایشگر رادار تعداد زیادی هدف به وجود می آید و هدف اصلی به نوعی مخفی می شود. این روش در برابر رادارهای جدید که از تکنیک هایی مانند پرش فرکانسی استفاده می کنند، ناتوان می باشد.

۲.۲.۲ فاصله بی تاثیری

علی رقم این که جنگنده ممکن است در هر موقعیتی تحت پوشش مراقبت رادار قرار گیرد، ولی عمدتاً حمله الکترونیکی در مسافتی معین از سامانه راداری موثر بوده و به کار گرفته می شود. به تعبیر دیگر، نسبت قدرت امواج اخلال گر به قدرت پژواک هدف (سیگنال برگشتی رادار) به طور دائم متغییر بوده و به نقطه ای ختم می شود که پس آن حمله الکترونیکی تاثیر گذار خواهد بود. اصولاً در فاصله دور از تهدید پیروزی با اخلال گر و در فاصله نزدیک پیروزی با رادار می باشد. برای محاسبه نقطه ای که پس از آن اقدامات ضد الکترونیکی در سیستم رادار اخلال ایجاد کند، حالتی در ادامه بررسی می شود که جنگنده های مهاجم خود حامل اخلال گر باشند.

با توجه به فرمول قدرت امواج الکترومغناطیسی در هر نقطه در فضا داریم :

$$s = \frac{P_t \cdot G_t}{4\pi \cdot R^2} \quad (1.2)$$

که P_t توان فرستنده، G_t گین آنتن فرستنده و R فاصله آنتن تا نقطه مورد نظر در فضا می باشد. همان طور که می دانیم سیستم رادار براساس بازتاب امواج الکترومغناطیسی قادر به آشکار سازی اهداف می باشد. میزان امواج منعکس شده بستگی به میزان سطح قابل انعکاس هدف

دارد که به آن سطح مقطع راداری^۱ گفته می‌شود. لذا خواهیم داشت :

$$s = \frac{P_t \cdot G_t \cdot \sigma}{(4\pi \cdot R^2)^2} A \quad (۲.۲)$$

A سطح موثر آنتن گیرنده می‌باشد.

نظر به این که سیگنال ارسالی سیستم حمله الکترونیکی و سیگنال بازگشتی از هدف، مسافت مشابهی را تا ورود به گیرنده رادار طی می‌کند، لذا الزاما باید قدرت سیگنال ارسالی از سیستم اقدامات ضد الکترونیکی در لحظه خروج بیش از قدرت پژواک هدف باشد تا توان بیشتری وارد گیرنده شود.

۳.۲.۲ آگاهی از نتیجه حمله الکترونیکی انجام شده

به منظور بهره برداری موثر از حمله الکترونیکی لازم است جنگنده برنامه‌ریزی شده، مجهز به سامانه هشدار دهنده راداری باشد تا با استفاده از آن، از فعالیت رادار قربانی آگاهی یافته و زمان شروع حمله الکترونیکی را تعیین نمود. در این حالت اگر راداری تحت تاثیر حمله الکترونیکی (اخلال) قرار گرفته، فعالیت خود را متوقف کند و یا با تغییر فرکانس کاری تاثیر اخلال را مرتفع نماید، خلبان متوجه نشده و اخلال‌گر الکترونیکی کماکان به انتشار امواج الکترومغناطیسی می‌پردازد و یا به تعبیری موقعیت دقیق جنگنده به وسیله سیستم‌های راداری و سامانه‌های پشتیبانی دشمن کشف می‌گردد. برای جلوگیری از این امر باید سامانه هشدار دهنده راداری و اخلال‌گر به طور همزمان بتوانند با یکدیگر به فعالیت پردازند تا خلبان از نتیجه حمله الکترونیکی کاملا با خبر گردد.

۴.۲.۲ تقسیمات حمله الکترونیکی

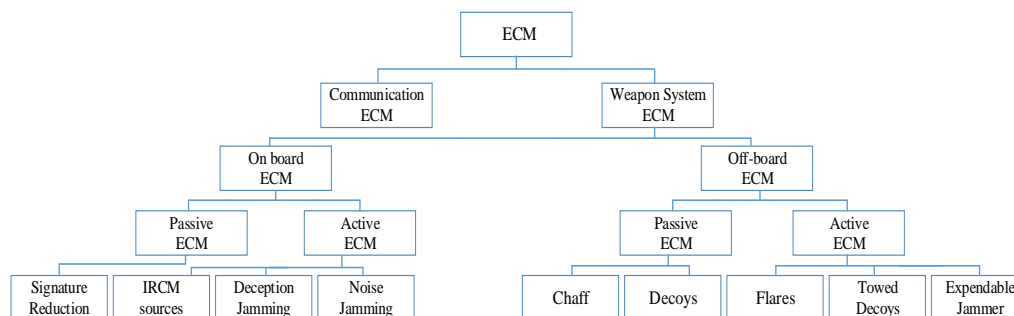
شکل (۲.۲) طبقه‌بندی تجهیزات ECM را نشان می‌دهد. اخلال‌گر پرتابی، زیر مجموعه‌ای از اقدامات متقابل فعال می‌باشد که در داخل پرتاب‌کننده چف و فلیر قرار می‌گیرد.

۳.۲ اقدامات ضد الکترونیکی

بخش ECCM شامل کلیه اقدامات و فعالیت‌های حفاظت الکترونیکی می‌باشد که به شرح زیر می‌باشد :

- اقدامات الکترونیکی که مانع از کشف و کنترل اطلاعات سیگنالی انتشار یافته از سوی هواپیمای خودی توسط دشمن می‌شود.

^۱Radar Cross Section



شکل ۲.۲: طبقه‌بندی حمله الکترونیکی

● بهره‌گیری از تکنیک‌های متداول رهایی از اختلال‌های ایجاد شده توسط مواضع پدافندی زمینی، هوایی و دریایی دشمن.

تدابیر و اقدامات الکترونیکی زیر این امکان را فراهم می‌نماید تا در بخش جنگ الکترونیک با استفاده مناسب از تجهیزات الکترونیکی نصب شده بر روی جنگنده، مانع از بهره‌برداری ESM و یا انجام ECM توسط دشمن شد:

- هدایت دقیق، کنترل شده و به موقع سامانه‌های ارتباطی بصورت هوشمند و رایانه‌ای،
- هدایت دقیق، کنترل شده و به موقع سامانه‌های هدایتی بصورت هوشمند و رایانه‌ای،
- هدایت دقیق، کنترل شده و به موقع سامانه‌های مراقبتی بصورت هوشمند و رایانه‌ای،
- هدایت دقیق، کنترل شده و به موقع سامانه‌های دفاع الکترونیکی بصورت هوشمند و رایانه‌ای.

همچنین با بهره‌گیری از تکنیک‌های مختلف زیر می‌توان عملیات Anti ESM و Anti ECM را به اجرا گذاشت:

- تکنیک پرش فرکانسی،
- تکنیک جابجایی و تغییر فرکانسی،
- تکنیک استفاده از سیستم‌های طیف گسترده DS ،
- تکنیک Multi spot

۴.۲ فرم معادله رادار

معادله رادار، برد رادار را به مشخصات فرستنده، گیرنده، آنتن، هدف و محیط مربوط می‌سازد. این معادله نه تنها جهت تعیین حداکثر فاصله هدف تا رادار مفید است، بلکه برای فهم عملکرد

رادار و پایه‌ایی برای طراحی رادار به کار می‌رود [۱۹]. اگر توان فرستنده رادار P_t و آنتن فرستنده در همه جهات یکسان تشعشع کند، چگالی توان در فاصله R از رادار برابر است با :

$$\frac{P_t}{4\pi R^2} \quad (۳.۲)$$

که P_t توان فرستنده و R شعاع یک کره فرضی می‌باشد. در رادارها از آنتن‌های جهتی استفاده می‌شود تا توان تشعشعی P_t در یک جهت خاص هدایت گردد. بهره آنتن (G) معیاری از افزایش توان تشعشعی آنتن در جهت هدف نسبت به توان تشعشعی ناشی از یک آنتن همه جهته می‌باشد و ممکن است به صورت نسبت حداکثر شدت تشعشع ناشی از یک آنتن مورد نظر به شدت تشعشع (توان تشعشعی در واحد زاویه فضایی در جهت مورد نظر) ناشی از آنتن همه جهته بدون اتلاف با همان توان ورودی تعریف گردد. بنابراین چگالی توان تشعشعی از یک آنتن با بهره G روی هدف برابر است با :

$$\frac{P_t G}{4\pi R^2} \quad (۴.۲)$$

هدف با مقداری از توان منتشر شده تلاقی کرده و مجدداً آن را در جهات مختلف انتشار می‌دهد. مقداری از توان رسیده به هدف که با آن تلاقی کرده و دوباره به سمت رادار منتشر می‌شود، بر حسب سطح مقطع راداری مشخص شده و به صورت زیر تعریف می‌گردد :

$$P_r = \frac{P_t G}{4\pi R^2} \frac{\sigma}{4\pi R^2} \quad (۵.۲)$$

P_r چگالی توان سیگنال برگشتی از هدف در گیرنده رادار و σ سطح مقطع راداری هدف می‌باشد که واحد آن سطح و برای هر هدف منحصر به فرد بوده و معیاری از بزرگی هدف از دید رادار می‌باشد. آنتن رادار مقداری از توان بازگشتی از هدف را دریافت می‌کند. اگر سطح موثر آنتن گیرنده A_e باشد، توان دریافتی توسط رادار برابر است با :

$$P_r = \frac{P_t G}{4\pi R^2} \frac{\sigma}{4\pi R^2} A_e \quad (۶.۲)$$

حداکثر برد آشکارسازی رادار، فاصله‌ایی است که بالاتر از آن، هدف قابل آشکارسازی نباشد و زمانی اتفاق می‌افتد که توان دریافتی رادار درست برابر حداقل توان قابل آشکارسازی رادار باشد. پس :

$$R_{\max} = \left[\frac{P_t G \sigma A_e}{(4\pi)^2 S_{\min}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (۷.۲)$$

در تئوری آنتن‌ها، رابطه بین بهره فرستنده و سطح موثر گیرنده به صورت زیر می‌باشد :

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (۸.۲)$$

با جایگذاری (۹.۲) در (۸.۲) داریم :

$$R_{\max} = \left[\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{\min}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (۹.۲)$$

۵.۲ مقدمه‌ایی بر اخلاص

در مباحث جنگ الکترونیک مجموعه اقداماتی که هدف آن‌ها مختل کردن آشکارسازی توسط دشمن می‌باشد را حمله الکترونیکی راداری نامیده می‌شود. اخلاص گر مهمترین سیستم در مجموعه سیستم‌های حمله الکترونیکی می‌باشد. طبقه‌بندی‌های مختلفی در مورد سامانه‌های اخلاص گر راداری انجام شده است که در ادامه به آنان پرداخته شده است.

اخلاص گرها به دو گونه فعال و غیر فعال تقسیم می‌گردند. در اخلاص گرهای فعال فرستنده‌ایی وجود دارد که با ارسال سیگنال به رادار تهدید، شروع به اخلاص آن می‌نماید. اما در اخلاص گرهای غیر فعال فرستنده‌ایی وجود ندارد و اخلاص گر تنها با استفاده از خواص ذاتی خود مانند چف^۱ و فلیر^۲، توجه رادار تهدید را از هدف دور کرده و به خود جلب می‌نماید.

در دسته‌بندی‌های مرسوم، اقدامات جنگ الکترونیک را به سه دسته حمله الکترونیکی (EA) حفاظت الکترونیکی (EP) و پشتیبانی الکترونیکی (ES) تقسیم می‌کنند و باید توجه داشت که همواره مجموعه‌ایی از اقدامات در کنار آن‌ها وجود دارند که نحوه استفاده از سه دسته ذکر شده را تحت تاثیر خود قرار می‌دهند. این اقدامات را می‌توان طرح‌ریزی جنگ الکترونیک یا سناریوی عملیاتی استفاده از تجهیزات جنگ الکترونیک نامید. بر این اساس سیستم‌های حمله الکترونیکی، می‌تواند به صورت از راه دور^۳ یا از راه نزدیک^۴ باشند. اخلاص از راه نزدیک هم به دو صورت اخلاص خود محافظ^۵ و اخلاص اسکورت^۶ انجام می‌شود. در روش (SPJ) سیستم اخلاص گر از سکویی که روی آن سوار می‌باشد، محافظت می‌کند و در روش SOJ اخلاص گر با توان بسیار بالا بیرون از آرایش نظامی با ارسال سیگنال‌های نویزی پر قدرت رادار دشمن را کور می‌کند. به طور مثال برای حمایت از مجموعه‌ایی از هواپیماهای خودی که قصد نفوذ به خاک دشمن را دارند از SOJ علیه رادارهای دشمن استفاده می‌شود. همچنین برای ایجاد اخلاص روی رادار هواپیمای دور ایستایی مانند آواکس از اخلاص گرهای پر قدرت به صورت SOJ استفاده می‌شود تا با کاهش برد آشکارسازی، آن‌ها را مجبور به نزدیک شدن به برد انهدام توسط سیستم‌های خودی نماییم. با استفاده از SOJ می‌توان فضای پروازی امنی برای جنگنده‌های خودی ساخت. در شکل (۳.۲) اخلاص گرهای ۱ و ۲ بر روی جنگنده‌ایی که خارج از ناحیه درگیری قرار دارد نصب شده‌اند که باعث کاهش برد آشکارسازی دو رادار و ایجاد فضای امن برای عبور دیگر جنگنده‌های خودی شده است.

روش اخلاص اسکورت زمانی استفاده می‌شود که یکی از چند سکوی حامل تجهیزات خودی مجهز به اخلاص گر شود و حفاظت از سایرین را در برابر دشمن به عهده می‌گیرد. این روش،

^۱ Chaff

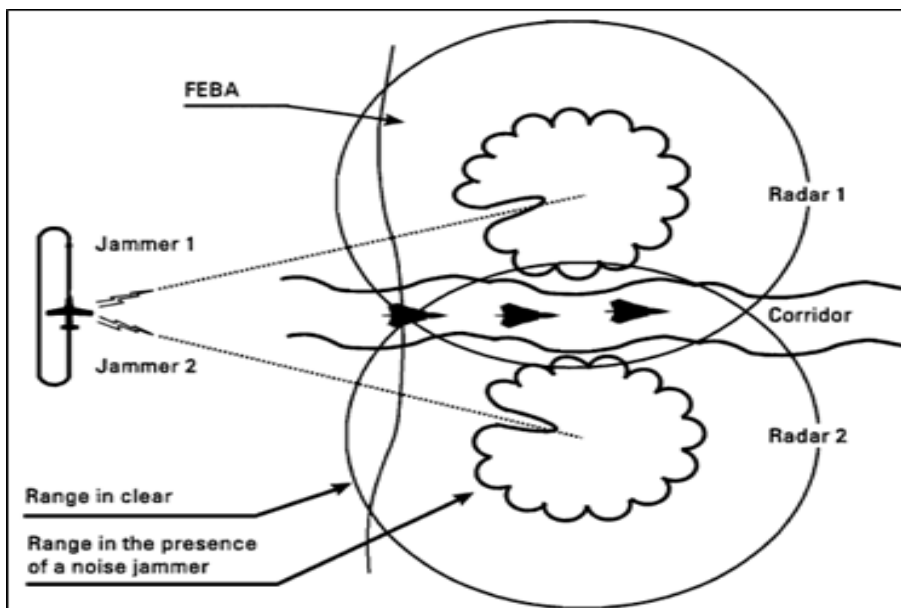
^۲ Flare

^۳ stand-off jamming

^۴ stand-in jamming

^۵ Self-Protection Jammer

^۶ Escort Jammer



شکل ۳.۲: استفاده از SOJ در سناریوی جنگ الکترونیک

اصولی مانند SOJ دارد اما با این تفاوت که اخلاص گر هم وارد ناحیه درگیری می‌شود.

در روش اخلاص نویزی، سطح نویز پیرامون سیگنال هدف زیاد شده و سیگنال هدف در بین نویز محو می‌شود و در نتیجه برد آشکارسازی رادار تهدید کاهش می‌یابد. در این روش اخلاص گر به دنبال آن است که برد رادار تهدید را در جهت‌های مورد نظر خود به حدی کم کند که سامانه‌های جنگی خودی در محیطی که از دید رادار دشمن پنهان می‌باشد، قرار گیرند.

از تعریف بالا روشن است که اخلاص گر نویزی نیاز به توان بالایی دارد. برعکس اخلاص گر فریب توان قابل توجه‌ایی ندارد. اخلاص گر فریب توان خود را طوری هوشمندانه ارسال می‌کند تا برای رادار مانند یک هدف به نظر بیاید، بنابراین در صفحه نمایشگر رادار تعداد زیادی هدف به وجود می‌آید و هدف اصلی به نوعی مخفی می‌شود.

در تمامی این روش‌ها، معادله‌ایی به نام معادله اخلاص حاکم می‌باشد. معادله اخلاص نسبت توان سیگنال اخلاص به توان سیگنال بازگشتی از هدف، در ورودی آشکارساز گیرنده رادار می‌باشد. همانند آنچه در سیستم‌های راداری یا هر گیرنده مخابراتی دیگر اتفاق می‌افتد، اگر توان تداخلی (توان اخلاص گر) از توان سیگنال بازگشتی از هدف بالاتر باشد، سیگنال اخلاص به رادار نفوذ می‌کند. اگر از اخلاص نویز استفاده شود، هدف معادله اخلاص یافتن برد موثر یا برد کور کنندگی اخلاص گر است. معادله اخلاص در روش فریب وابسته به یافتن توان اخلاص گری است که عملیات فریب از پیش تعیین شده‌ایی را با موفقیت انجام دهد. در این پایان‌نامه، هدف پیدا کردن فاصله برتری و زمان اخلاص موثر سیگنال اخلاص گر پرتابی در برابر سیگنال بازگشتی از جنگنده حامل اخلاص گر که توسط تهدید ارسال می‌شود، می‌باشد.

۶.۲ اصول اولیه معادله اخلاص

معادله اخلاص در روش نویزی این امکان را فراهم می‌سازد تا به صورت تئوری نواحی از فضا، که در آن اخلاص‌گری با مشخصات معلوم می‌تواند راداری با پارامترهای مشخص را کور کند، تعیین نمود. اخلاص هنگامی باعث آسیب زدن به اطلاعات رادار تهدید می‌گردد که سیگنال تداخلی (نویز) از سیگنال بازتابی از هدف، در ورودی آشکارساز رادار بزرگ‌تر باشد. این برتری سیگنال اخلاص به سیگنال بازگشتی در برابر تهدیدهای مختلف متفاوت است و همچنین به شدت وابسته به حداقل سیگنال به نویز برای رهگیری تهدیدات می‌باشد. سیگنال اخلاص گر متناسب با $(\frac{1}{R^2})$ و سیگنال بازگشتی از هدف متناسب با $(\frac{1}{R^4})$ می‌باشد و این یعنی این که در فواصل دور پیروزی با اخلاص گر و در فواصل نزدیک پیروزی با رادار تهدید می‌باشد.

۷.۲ اخلاص گر پرتابی

هوایپماهای نظامی مدرن اهداف اصلی برای موشک‌های سطح به هوا و هوا به هوای هدایت رادیویی می‌باشند. متحرک بودن سامانه‌های پدافندی موشکی سطح به هوا و تجهیز آنان به سیستم‌های دقیق ردیابی راداری و همچنین بهینه‌سازی سیستم‌های قدیمی با فناوری‌های جدید در تجهیزات الکترونیکی مدرن، به تهدیدات بزرگی برای سامانه‌های دفاعی تبدیل شده‌اند. دام فعال مصرفی برای حفاظت موثر از جنگنده‌ایی که روی آن نصب شده است، با ایجاد یک هدف کاذب، موشک را گمراه کرده و از پلت فرم محافظت می‌کند. آن‌ها می‌توانند تقریباً برای تمام سیستم‌های نظامی که از استاندارد پرتاب‌کننده چف و فلیر استفاده می‌کنند، متصل شوند.

اولین دام مصرفی فعال^۱ عملیاتی، POET نام داشت که توسط ایالات متحده در سال ۱۹۷۸ تولید و عرضه شد. این سامانه تکامل یافته و به دام فعال مصرفی GEN-X در اوایل سال ۱۹۸۰ تبدیل شد [۸][۹][۱۰][۱۱]. GEN-X یک اخلاص گر پرتابی راداری باند X می‌باشد که در برابر موشک‌های راداری از هوایپماهای تاکتیکی محافظت می‌کند. باتری آن از نوع لیتیوم بوده و توان خروجی آن حدوداً ۱۰۰mw می‌باشد. GEN-X طوری طراحی شده است که داخل پرتاب‌کننده چف و فلیر قرار بگیرد (۴.۲) و از نیروی محرکه‌ایی برای پرتاب استفاده نمی‌کند و در سقوط آزاد، پایداری خود را توسط ۴ بالچه که بعد از خروج از پرتاب‌کننده باز می‌شوند، حفظ می‌نماید. آنتن GEN-X از نوع مارپیچی^۲ می‌باشد که در قسمت دماغه آن قرار دارد. فرستنده و گیرنده آن شامل ۴ مدار یک‌پارچه ماکروویو^۳ می‌باشد. زمانی که سیگنال منتشر

^۱Expendable Active Decoy

^۲Spiral

^۳Monolithic microwave integrated circuit

شده توسط رادار را دریافت می‌کند، همان سیگنال را دوباره به سمت رادار برای گمراه کردن آن و ایجاد یک هدف کاذب، تکرار می‌کند. طبق بررسی‌های انجام شده، GEN-X دارای سه حالت قابل برنامه ریزی می‌باشد که بین آن‌ها برای کشف سیگنال تهدید، تغییر می‌کند. اگر نتواند سیگنالی را آشکار کند، شروع به جستجوی کل باند فرکانسی می‌نماید [۲۰].



شکل ۴.۲: GEN-X [۲۱]

نسل بعدی دام‌های فعال مصرفی Strap می‌باشد که به طور خاص برای جنگنده F-22 طراحی شده است. Strap از دو ناحیه با GEN-X متفاوت می‌باشد. ابتدا این که از دو آنتن مجزا برای حالت ارسال و دریافت سیگنال استفاده می‌نماید و همچنین از تقویت کننده TWTA^۱ به جای تقویت کننده حالت جامد می‌کند. مزیت استفاده از این تقویت کننده، قدرت بیشتر آن نسبت به حالت جامد می‌باشد. توان مورد نیاز Strap از طریق یک کاتد حرارتی گرم برای TWTA حل شده است زیرا TWTA قرار است که برای مدت کوتاهی کار کند [۲۰].

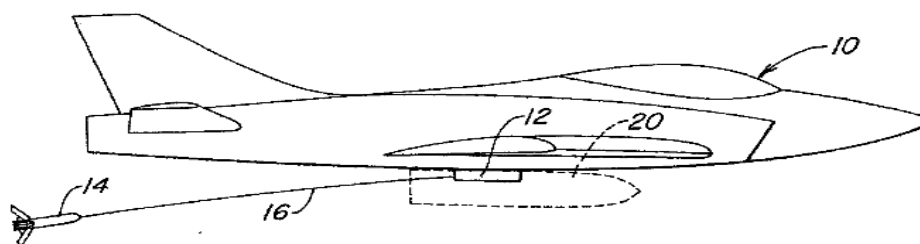
در اواخر سال ۱۹۸۰ دام‌های راداری کشتی^۲ گسترش پیدا کردند [۱۳]. این دام‌های کشتی (۵.۲)، توان اخلال بالاتری را مهیا می‌کنند زیرا سیگنال اخلالی تولیدی به وسیله‌ی یک DRFM پیچیده و بزرگ که روی جنگنده نصب شده است، ایجاد می‌شود و از طریق یک کابل فیبر نوری به دام ارسال می‌شود. از معایب این نوع دام‌ها می‌توان به تعداد کم قابل حمل توسط جنگنده نمود و این که قدرت مانورپذیری جنگنده را به شدت کاهش می‌دهند.

دستگاه‌های تکرارکننده معرفی شده، از امکانات لازم و کافی برای شکست دادن تهدیدات مدرن برخوردار نیستند. گیرنده‌های دیجیتال فرکانس رادیویی مبتنی بر حافظه^۳، دارای قابلیت لازم برای مقابله با تهدیدات جدید هستند اما به دلیل پیچیدگی، آنها همواره بیش از حد بزرگ بوده‌اند. یک معماری سیستم، ویژگی‌های طراحی و فن‌آوری‌ها برای کاهش اندازه حجم DRFM

^۱Traveling Wave Tube Amplifier

^۲Towed Radar Decoy

^۳Digital radio frequency memory



شکل ۵.۲: اخلاص گر کششی [۶]

در نظر گرفته شده است.

در [۲۵]، یک دام راداری برای منحرف کردن موشک‌های راداری ارائه شده است. این سیستم هیچ جبران داپلر و ردیابی پالس (پیش بینی) از سیگنال تهدید را ندارد که بتواند این اطمینان را ایجاد کند که قادر به تولید شکل موج نامفهوم در محدوده برد رادار می‌باشد. علاوه بر این قابلیت ذخیره سازی اطلاعات تهدیدات را نیز ندارد.

در [۱]، یک اخلاص گر فعال مصرفی مبتنی بر DRFM که به صورت مستقل از تجهیزات داخلی هواپیما عمل کرده و برای محافظت از هواپیماهای جت سریع در برابر موشک‌های هدایت راداری و رادارهای رهگیری ایجاد شده، معرفی شده است. این اخلاص گر برای باندهای فرکانسی H و J طراحی و عملیاتی شده است. ماهیت خودمختار بودن BriteCloud (۶.۲)، همچنین این اجازه را می‌دهد که پس از پرتاب، راه‌اندازی شود که این ویژگی هرگونه خطر منفجر شدن موشک‌های ورودی را در نزدیک پلت‌فرم به حداقل می‌رساند.

مشکل اصلی روش‌های مبتنی بر DRFM این است که در برابر رادارهایی که از پرش پالس استفاده می‌کنند، ناتوان می‌باشد زیرا DRFM در هر مرحله پالس رادار را دریافت و دوباره آن را تکرار می‌کند و باعث می‌شود که همیشه یک مرحله از تهدید عقب باشد.



شکل ۶.۲: BriteCloud [۲۶]

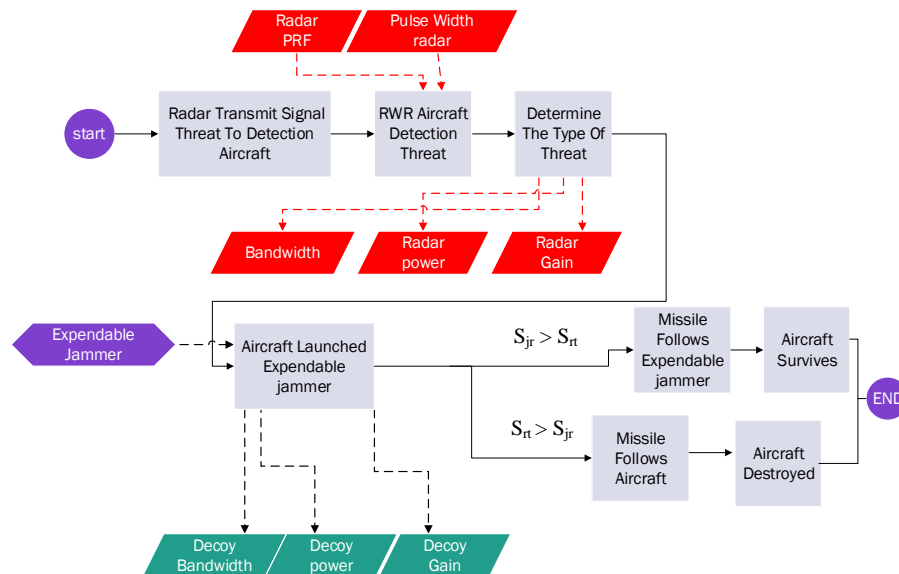
فصل ۳

اخلال گر پرتابی

۱.۳ سناریوی عملیاتی

اخلال گر پرتابی برای استفاده در سیستم‌های خود حفاظتی جنگ الکترونیک برای افزایش قابلیت بقاء در پلت فرم‌های هوابرد در برابر تهدیدهای هدایتی راداری طراحی شده است. این سامانه در برابر تهدیدها، با تکنیک اخلال نویز پس از خارج شدن از محفظه‌ی تعبیه شده روی جنگنده زمانی که موشک یا رادار رهگیر روی آن قفل کرده یا قبل از آن با منحرف کردن آن‌ها به سمت خود از جنگنده محافظت می‌کند. همچنین می‌تواند در برابر تهدیدهای مختلف براساس نوع باند فرکانسی، اخلال را انجام دهد. چند حالت مختلف برای ارزیابی عملکرد اخلال گر پرتابی می‌توان در نظر گرفت:

۱. گیرنده هشدار دهنده راداری اخلال گر پرتابی را برنامه ریزی کند
 ۲. گیرنده هشدار دهنده راداری تهدید را کشف کند و براساس پهنای باند آن، اخلال گر پرتابی مناسب انتخاب، برنامه‌ریزی و پرتاب شود (۱.۳).
 ۳. نوع تهدید معلوم و حدودا باند عملکرد آن مشخص باشد
 ۴. نوع تهدید مشخص نباشد و کل باند تهدید مانند S, C, X, Ku اخلال شود
- اخلال گر پرتابی پیشنهادی در این پایان‌نامه، در حالت برنامه‌ریزی RWR ، سیگنال دریافتی از رادار تهدید را براساس نوع باند فرکانسی آن، PRF و انرژی دسته‌بندی می‌کند و پس از



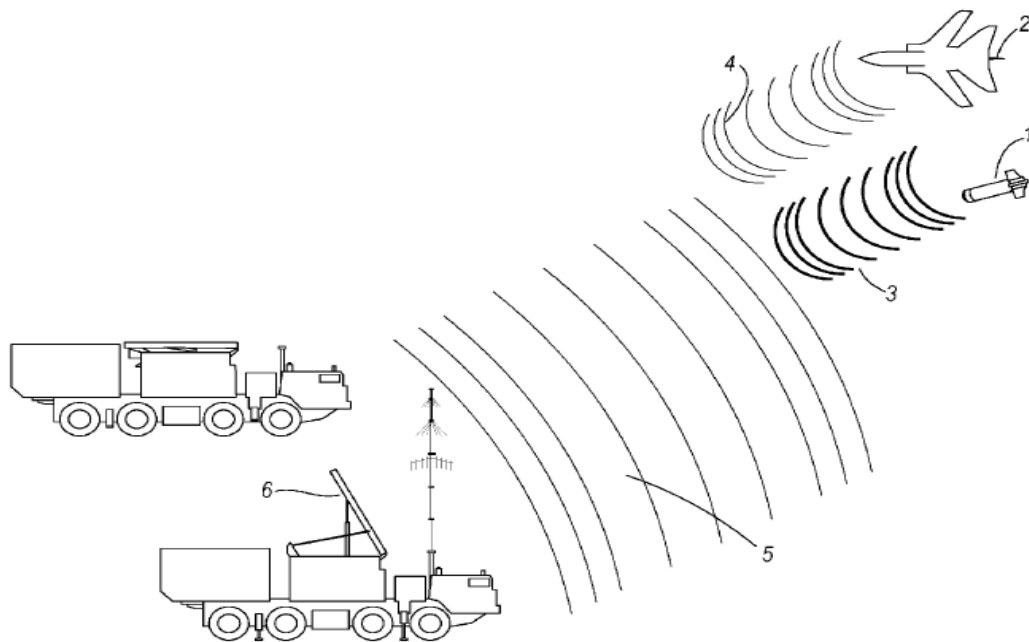
شکل ۱.۳: مدل عملکرد سیستم

مشخص کردن نوع تهدید، اخلاص گر متناسب با آن برای کاهش برد رهگیری و افزایش سطح نویز در گیرنده رادار و در نهایت منحرف کردن موشک، پرتاب می شود.

سناریوی عملیاتی (۲.۳) این پایان نامه بر پایه جنگنده $F-4$ در نظر گرفته شده است. زیرا یکی از پرکاربردترین جنگنده های کشور بوده و از نظر سطح مقطع راداری متوسط می باشد و همچنین اخلاص گر پرتابی برای استاندارد سایز چف و فلر آن طراحی شده است.

رنج فرکانسی مورد نظر در این پایان نامه، $18GHz$ تا $2GHz$ است که شامل باندهای S, C, X, Ku می باشد. برای انتخاب نوع تهدید اخلاص گر پرتابی سعی شده که از هر باند تهدیدی مورد ارزیابی قرار گیرد و همچنین نمونه داخلی آن حداقل ممکن برای تست عملیاتی موجود باشد. سناریوی عملیاتی به این صورت است که ابتدا سیگنال تهدید توسط RWR دریافت شده و براساس نوع باند فرکانسی، PRF و انرژی دسته بندی و سپس خروجی آن وارد سیستم هشداردهنده نوع تهدید می شود. برای کارایی بهتر این سیستم، پارامترهای سیگنالی تهدیدات در آن ذخیره شده اند و به محض دریافت سیگنال تهدید توسط RWR با اطلاعات سیگنالی ذخیره شده مقایسه و نوع تهدید مشخص می شود. اگر نوع تهدید از نظر سیستم هشداردهنده نامشخص باشد، علاوه بر ذخیره سازی اطلاعات سیگنالی آن نظیر PRF ، انرژی و باند فرکانسی، هشدار تهدید ناشناس صادر می شود و در این حالت اخلاص گر پرتابی قابل برنامه ریزی می تواند کل باند رامختل نماید.

هنگامی که سیگنال نویزی تولید شده توسط اخلاص گر پرتابی از سیگنال بازگشتی از $F-4$ که توسط رادار تهدید دریافت می شود ($\frac{J}{S}$)، بیشتر باشد، اخلاص گر می تواند توجه موشک را از رادار به خود جلب کرده و آن را منحرف کند. در غیر این صورت اگر اخلاص گر پرتابی نتواند



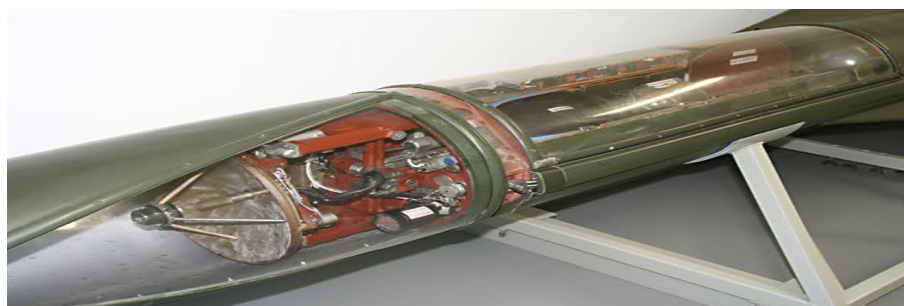
شکل ۲.۳: سناریوی عملیاتی [۱]

موشک نزدیک شونده را فریب دهد، تمرکز موشک بر روی جنگنده باقی مانده و در نهایت به آن برخورد می‌کند. مدت زمان اثرگذاری این اخلاص گر بر روی تهدیدها، به ارتفاع پرتاب و میزان باقی ماندن سیگنال اخلاص در بیم اصلی رادار می‌باشد. اخلاص گرهای پرتابی معرفی شده تاکنون بر پایه DRFM می‌باشند، یعنی اخلاص گر سیگنال تهدید را دریافت کرده و همان سیگنال را با توان بیشتری به سمت تهدید منتشر می‌کند. اشکال اصلی این نوع اخلاص گرها این است که در برابر تهدیدهای پرش فرکانسی، به دلیل تکرار همیشه یک مرحله قبل را اخلاص می‌کنند. با توجه به این موضوع، اخلاص گر پیشنهادی براساس باند فرکانسی تهدید آن را اخلاص می‌کند در ادامه این بخش به ارزیابی تهدیدات اخلاص گر پرتابی پرداخته شده است. سعی شده که از هر باند فرکانسی و همچنین نوع هدایت سامانه‌های موشکی اعم از هدایت فرامینی، هدایت نیمه فعال و هدایت فعال، تهدیداتی مورد بررسی قرار گیرند.

۲.۳ سامانه پدافندی Hawk

سامانه پدافندی *MIM - 23 Hawk*، سامانه‌ای برد کوتاه و متوسط ساخت ایالات متحده می‌باشد که برد عملیاتی آن 1.5 Km الی 45 Km است و هدایت موشک این سامانه از نوع هدایت نیمه‌فعال می‌باشد. ساختار مدل اولیه این موشک در شکل (۳.۳) مشخص شده است.

این سامانه از رادار *FMCW* بهره می‌برد و عملکرد آن به این صورت است که سیگنال *CW* توسط رادار به هدف تابیده می‌شود و بازتابش آن توسط گیرنده موجود در موشک دریافت



شکل ۳.۳: موشک نیمه فعال Hawk

می‌شود. در جدول (۱.۳)، پارامترهای رادار Hawk مشخص شده است [۲۴].

جدول ۱.۳: پارامترهای موشک نیمه فعال Hawk

<i>Peak Power CW</i>	400 W
<i>Frequency Operation Band</i>	X – Band : 10 – 10.250GHz
<i>Range</i>	45 Km
<i>Transmitter Gain</i>	38.5 dB
<i>Noise Figure</i>	11 dB
<i>Beam Width</i>	1.95 Degree
<i>DTUP Band Width</i>	900 Hz
<i>Band Width</i>	250 MHz
<i>Radar Hawk Diameter</i>	37 cm
<i>Speed</i>	2.4 Mach

۱.۲.۳ حساسیت گیرنده

حساسیت گیرنده، توانایی سنجش آن در تشخیص سیگنال از نویز می‌باشد. برای محاسبه‌ی حساسیت گیرنده، باید اطلاعاتی از قبیل پهنای باند عملکرد رادار، *Noise Figure* و حداقل سیگنال به نویز برای رهگیری هدف، در دسترس باشد. با استفاده از فرمول زیر می‌توان حساسیت گیرنده را تعیین نمود [۱۶].

$$S_{\min} = (S/N)_{\min} P_n (NF) \quad (1.3)$$

که توان نویز برابر است با :

$$P_n = KT_0B \quad (۲.۳)$$

نسبت سیگنال به نویز مورد قبول برای گیرنده یک رادار، بستگی به نوع استفاده از گیرنده رادار را دارد. همانطور که در جدول (۲.۳) نشان داده شده است، تنظیم حداقل سیگنال به نویز، به شدت وابسته به ویژگی‌های مورد نیاز گیرنده و سیگنال می‌باشد [۱۶].

جدول ۲.۳: حداقل سیگنال به نویز مورد نیاز

<i>Skilled Operator</i>	<i>Auto Detection</i>	<i>NoManeuver Target</i>	<i>Maneuver Target</i>
3 – 10 dB	10 – 14 dB	14 – 20 dB	20 – 24 dB

حداقل سیگنال به نویز مورد نیاز برای پردازش سیگنال و این که رادار بتواند هدف را رهگیری کند، برای هدف غیر مانوری 14dB می‌باشد. به طور مثال، برای محاسبه‌ی حساسیت گیرنده رادار رهگیر Hawk داریم :

$$K = 1.38 \times 10^{(-23)}$$

$$T_0 = 290^\circ K$$

$$B = 900Hz$$

$$P_n = -144dBm$$

با جایگذاری مقادیر بالا در فرمول (۱.۳) داریم :

$$S_{\min} = 14 \times 1.38 \times 10^{(-23)} \times 290 \times 900 \times 10$$

$$S_{\min} = 3.6 \times 10^{(-16)}$$

$$S_{\min} = 10 \log_{10} \left(\frac{3.6 \times 10^{(-16)}}{10^{(-3)}} \right)$$

$$S_{\min} \simeq -120dbm \quad (۳.۳)$$

یعنی حساسیت گیرنده رادار Hawk برای هدفی غیر مانوری برابر -120dbm می‌باشد. برای محاسبه فاصله‌ایی که اخلاص گر پرتایی می‌تواند در برابر سامانه پدافد موشکی Hawk پیروز شود، ابتدا باید سیگنالی که رادار Hawk برای کشف 4 - F منتشر می‌کند و بازتابش آن را دریافت می‌کند را محاسبه نمود. در ابتدا فرض می‌کنیم که موشک نیمه فعال هنوز شلیک نشده و می‌خواهیم خود رادار رهگیر Hawk را مختل کنیم.

سیگنالی که *Hawk* از بازتابش $F - 4$ می‌گیرید به این صورت می‌باشد :

$$S_{RT} = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R_{tx}^2 R_{rx}^2} \quad (۴.۳)$$

با توجه به این که فرستنده و گیرنده کنار هم هستند، پس فاصله رادار تا جنگنده با فاصله جنگنده تا رادار برابر می‌باشد.

$$R_{tx}^2 = R_{rx}^2$$

برای سادگی فاصله R در نظر گرفته می‌شود و معادله به این صورت ساده می‌شود :

$$S_{RT} = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (۵.۳)$$

سیگنالی که اخلاص گر پرتابی به سمت رادار *Hawk* منتشر می‌کند به این صورت می‌باشد :

$$S_{JR} = \frac{P_j G_j G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2} \quad (۶.۳)$$

پهنای باند رادار *Hawk* حدود $250MHz$ می‌باشد و پهنای باند لحظه‌ای آن $900Hz$ یعنی اگر ما پهنای باند اخلاص گر را روی پهنای باند *Hawk* تنظیم کنیم، فقط $900Hz$ از آن وارد گیرنده می‌شود. یعنی :

$$S_{JR} = \frac{P_j G_j G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2} \times \frac{P_{rec}}{P} \quad (۷.۳)$$

هچنین حداقل سیگنال به نویز رادار برای این که به رهگیری یک هدف غیر مانوری بتواند ادامه دهد، $14dB$ می‌باشد. یعنی سیگنالی که اخلاص گر به رادار می‌رساند، $14dB$ افزایش می‌یابد.

۳.۳ سامانه پدافندی Sa-2

Sa-2 یک سامانه پدافندی با برد متوسط $60Km$ و برای درگیری در ارتفاع بالا طراحی شده است. سیستم هدایت موشکی این سامانه از نوع هدایت فرامینی می‌باشد. بدین صورت که تهدید توسط رادار جستجو کشف شده و اطلاعات آن به رادار رهگیر داده می‌شود. موشک موقعیت مکانی خود را از طریق فرستنده موجود در داخلش به رادار ارسال کرده و اطلاعات مربوط به موقعیت و مکان هدف به وسیله امواج رادیویی توسط گیرنده موجود در موشک دریافت شده و موشک به طرف تهدید تا برخورد به آن هدایت می‌شود. رادار رهگیر این سامانه در ناتو به نام *Fan song* می‌باشد که اجزای مختلف آن در شکل (۴.۳) مشخص شده است [۱۷]. این سامانه موشکی در دو باند فرکانسی S و C طراحی شده است. در این پایان‌نامه، مدل باند C آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. پارامترهای مورد نیاز رادار رهگیر این سامانه در جدول (۳.۳) مشخص شده است.



شکل ۴.۳: رادار رهگیر Sa-2 [۱۷]

با توجه به (۳.۳)، برای محاسبه گین آنتن سام ۲ داریم:

$$G_t = G_r \simeq \frac{27000}{\phi \times \theta} \quad (۸.۳)$$

که ϕ و θ ، عرض بیم اصلی آنتن می‌باشند. پس:

$$G_t = G_r = \frac{27000}{1.1 \times 7.5} = 3272 \quad (۹.۳)$$

$$G_t = G_r = 10 (\text{Log}_{10}(3272)) = 35 \text{ dB} \quad (۱۰.۳)$$

۴.۳ سامانه پدافندی Sa-3

سامانه پدافندی Sa-3 یک سیستم موشکی زمین به هوا برد کوتاه و متوسط با برد 80 Km می‌باشد. هدایت موشک این سامانه همانند Sa-2 فرامینی می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۴.۳) مشخص شده است، UV-10 فرستنده رادار رهگیر Sa-3 و UV-11 گیرنده این سامانه و UV-12 فرستنده فرامین موشک می‌باشد [۱۷].

برای محاسبه گین آنتن سام ۳ با توجه به شکل (۴.۳) می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$G_t = G_r \simeq \frac{27000}{\phi \times \theta} \quad (۱۱.۳)$$

جدول ۳.۳: پارامترهای رادار رهگیر sa-2

<i>Peak Power</i>	600 KW
<i>Frequency Operation Band</i>	C – Band : 5.01 – 5.09GHz
<i>Range</i>	60 Km
<i>Transmitter Gain</i>	35 dB
<i>Beam Width</i>	1.1 * 7.5 Degree
<i>PRF</i>	2.5 KHz
<i>Pulse Width Track</i>	400 ns
<i>Band Width</i>	80 MHz
<i>Speed</i>	3 Mach

که ϕ و θ ، عرض بیم رادار Sa-3 می باشند. پس:

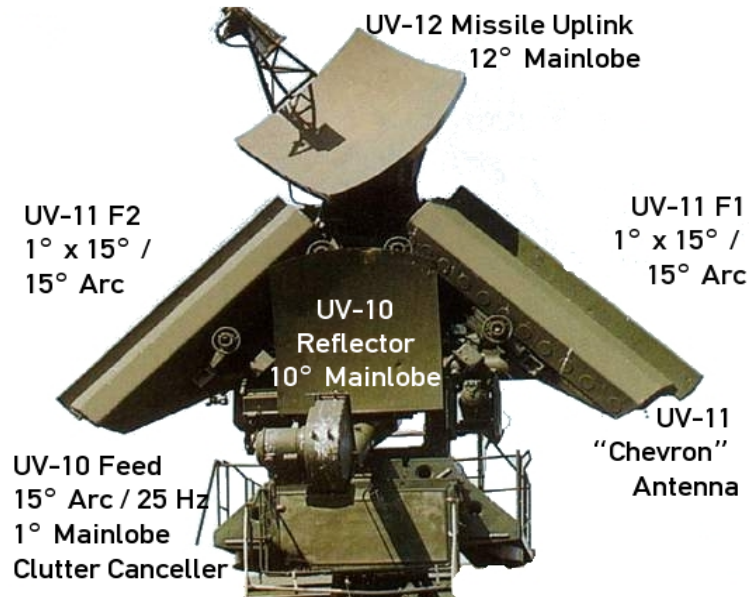
$$G_t = G_r = \frac{27000}{1.5 \times 12} = 1500 \quad (12.3)$$

$$G_t = G_r = 10 (\text{Log}_{10}(1500)) = 31.76 \text{ dB} \quad (13.3)$$

پارامترهای مورد نیاز رادار رهگیر این سامانه در جدول (۴.۲) مشخص شده است.

جدول ۴.۳: پارامترهای رادار رهگیر sa-3

<i>Peak Power</i>	210 KW
<i>Frequency Operation Band</i>	X – Band : 9.17 – 9.42GHz
<i>Range</i>	80 Km
<i>Transmitter Gain</i>	32 dB
<i>Beam Width</i>	1.5 * 12 Degree
<i>PRF</i>	3.5 KHz
<i>Pulse Width Track</i>	200 ns
<i>Band Width</i>	250 MHz



شکل ۵.۳: رادار رهگیر sa-۳ [۱۷]

۵.۳ سامانه پدافندی Sa-8

Sa-8، یک سامانه پدافند موشکی برد کوتاه که رادار جستجو و رهگیر آن بر روی یک وسیله متحرک نصب شده، می‌باشد. هدایت موشک‌های این سامانه همانند سامانه‌های Sa-2 و Sa-3، از نوع هدایت فرامینی می‌باشد. رادار رهگیر این سامانه در باند Ku عمل می‌کند و برد عملیاتی آن حدود 28 Km می‌باشد. در هر دو طرف آنتن رهگیر، یک آنتن کوچک برای ردیابی و ارسال فرامین موشک قرار گرفته است. اجزای مختلف این سامانه در شکل (۶.۳) مشخص شده است. با توجه به ابعاد رادار رهگیر آن می‌توان گین این سامانه را به صورت زیر تخمین زد:

$$G = \frac{5.3(D^2)}{\lambda^2} \quad (۱۴.۳)$$

D قطر تقریبی رادار رهگیر و λ طول موج در باند Ku می‌باشد:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (۱۵.۳)$$

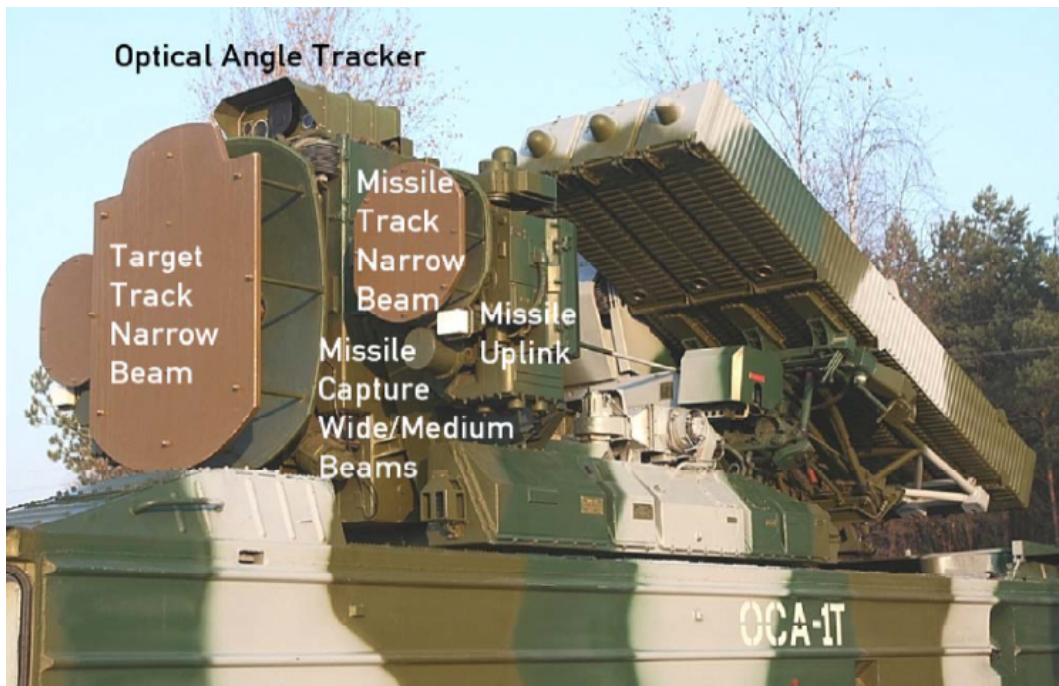
$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{14.5 \times 10^9} = 0.02 \quad (۱۶.۳)$$

$$G = \frac{5.3(1)^2}{(0.02)^2} = 12381 \quad (۱۷.۳)$$

$$G = 10 (\text{Log}_{10}(12381)) = 40.92 \text{ dB} \quad (۱۸.۳)$$

گین آن 40.92dB می باشد.

مشخصات رادار رهگیر این سامانه در جدول (۵.۳) مشخص شده است.



شکل ۶.۳: رادار رهگیر Sa-8 [۱۷]

جدول ۵.۳: پارامترهای رادار رهگیر sa-8

<i>Peak Power</i>	180 KW
<i>Frequency Operation Band</i>	<i>Ku – Band</i> : 14.350 – 14.650GHz
<i>Range</i>	28 Km
<i>Transmitter Gain</i>	41 dB
<i>Beam Width</i>	1.47 * 1.47 Degree
<i>PRF</i>	2.8 KHz
<i>Pulse Width</i>	225 ns
<i>Band Width</i>	300 MHz

۶.۳ موشک هوا به هوا Sparrow

موشک AIM-7 دومین سلاح استاندارد سازمانی F-14، پس از فونیکس (از لحاظ برد) می باشد. این سلاح که مهم ترین سلاح فراتر از میدان دید ایالات متحده و متحدان آن کشور تا پیش از ورود به خدمت موشک هوا به هوای برد متوسط امرام به شمار می آمد، یک موشک هدایت شونده میان برد با سیستم هدایت نیمه فعال راداری است. سیستم هدایت این موشک مبتنی بر دریافت بازتاب امواج راداری موج پیوسته از هدف است که توسط جنگنده حامل تحت پرتو تابی قرار گرفته و به اصطلاح روشن می شود. موشک این بازتابها را دریافت کرده و مستقیماً به سوی هدف هدایت می شود. در این حالت، رادار فقط بر روی هدف متمرکز شده و قادر به جستجوی فضای اطراف نبوده و به منظور حفظ خط دید و ادامه پرتو تابی هدف ناچار از پرواز نسبتاً مستقیم و یک نواخت می باشد. مشخصات رادار نیمه فعال این موشک در جدول (۶.۳) مشخص شده است.

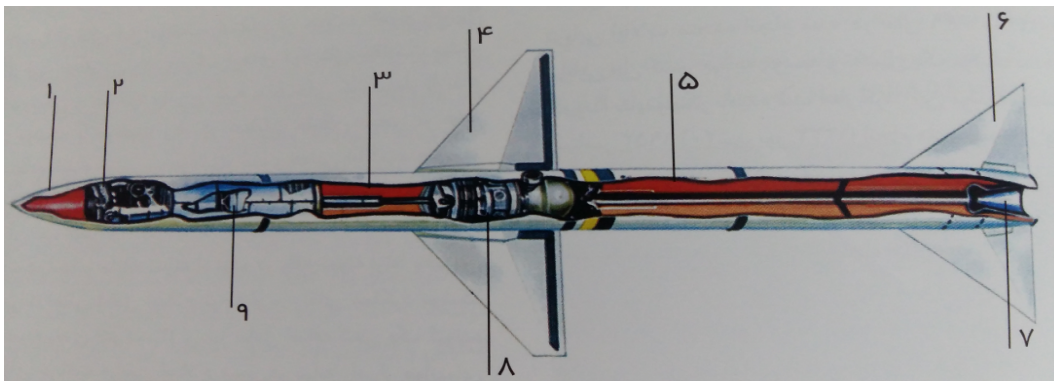
جدول ۶.۳: پارامترهای موشک نیمه فعال Sparrow

<i>Peak Power CW</i>	200 W
<i>Frequency Operation Band</i>	X – Band : 10 – 10.250GHz
<i>Range</i>	61 Km
<i>Transmitter Gain</i>	36 dB
<i>Receiver Gain</i>	22.94 dB
<i>Frequency</i>	10 GHz
<i>Band Width</i>	250 MHz
<i>Speed</i>	2.2 Mach

در شکل (۷.۳) اجزای مختلف این موشک مشخص شده است که با توجه با آن داریم :

- ۱- دماغه موشک
- ۲- گیرنده نیمه فعال راداری
- ۳- سرچنگی
- ۴- بالچه متحرک
- ۵- موتور موشکی سوخت جامد
- ۶- بالچه ثابت
- ۷- دهانه آگزوز
- ۸- سیستم کنترل بالچهها

- ۹- تجهیزات الکترونیکی هدایت موشک
- ۱۰- طول موشک 3.66m
- ۱۱- قطر موشک 20.3cm



شکل ۷.۳: موشک AIM-7 [۲۲]

با توجه به فرمول محاسبه گین آنتن داریم :

$$G = \frac{5.3(D^2)}{\lambda^2} \quad (19.3)$$

D قطر موشک و λ طول موج در باند X می باشد :
 قطر موشک نیمه فعال اسپارو 20.3cm می باشد که ما در محاسبات گین 2cm برای ضخامت Radome از این مقدار کم شده است.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (20.3)$$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{10 \times 10^9} = 0.03 \quad (21.3)$$

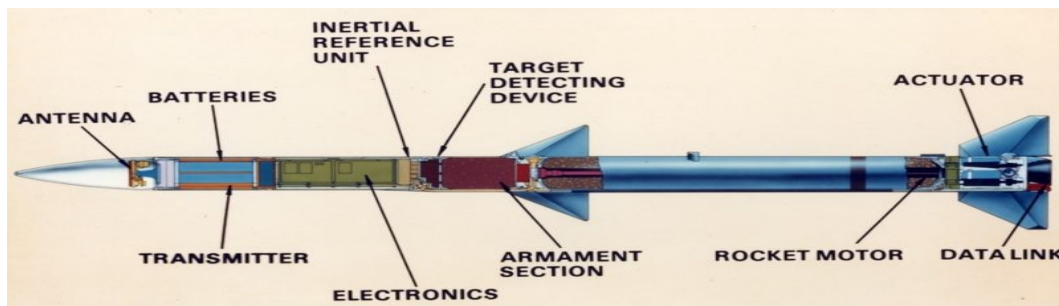
$$G = \frac{5.3(18.3)^2}{(0.03)^2} = 197 \quad (22.3)$$

یعنی گین آنتن گیرنده موشک اسپارو 22.94dB می باشد.

۷.۳ موشک هوا به هوا AMRAAM

موشک پیشرفته هوا به هوای برد متوسط، که اصطلاحاً امرام نامیده می شود، در حال حاضر پیشرفته ترین موشک هوا به هوای جهان محسوب می شود. این موشک که در آغاز به عنوان

یک موشک میان برد و جانشین موشک نیمه فعال اسپارو طراحی و ساخته شد، در جدیدترین نمونه مدل خودش، به بردی معادل موشک فونیکس دست یافته است که هنوز عملیاتی نشده است. امرام همانند فونیکس، مجهز به سیستم هدایت راداری فعال می‌باشد. به این ترتیب که پیش از پرتاب، سیستم کنترل آتش جنگنده حامل، سیستم ناوبری اینرسی خلبان خودکار موشک را در موقعیت هدف برنامه‌ریزی می‌کند. پس از پرتاب، مسیر از پیش تعیین شده موشک توسط اطلاعات دریافتی از جنگنده پرتاب کننده اصلاح می‌شود و پس از آن که هدف در برد رادار امرام قرار گرفت (18 Km هدف)، رادار موشک فعال شده و آن را تا اصابت به هدف هدایت می‌کند. انهدام هدف از طریق فیوز مجاورتی هوشمند و یا فیوز مجاورتی ضربتی حاصل می‌شود. اجزای مختلف موشک در شکل (۸.۳) مشخص می‌باشد.



شکل ۸.۳: موشک AIM – 120 [۲۳]

یکی از ویژگی‌های مهم امرام که در دیگر موشک‌های ساخت ایالات متحده وجود ندارد این است که در صورت مختل شدن توسط جنگنده دشمن، از یک موشک فعال به یک موشک غیر فعال برای رفتن به سوی امواج ارسالی جمینگ از سوی جنگنده دشمن حرکت کند (قفل روی منبع اخلال)^۱. مشخصات رادار این موشک در جدول (۷.۳) مشخص شده است. همان‌طور که گفته شد، امرام از 18 Km، رادار فعالش روشن و به دنبال هدف می‌گردد. یعنی این که امرام می‌تواند هدفی با ابعاد متعارف حدوداً $5 m^2$ را در فاصله 18 Km آشکار کند. با توجه به این اطلاعات، می‌توان گین آنتن سیکر امرام را به صورت زیر محاسبه نمود. با توجه به فرمول محاسبه گین آنتن داریم:

$$G = \frac{5.3(D^2)}{\lambda^2} \quad (23.3)$$

D قطر موشک و λ طول موج در باند X می‌باشد:
 قطر موشک فعال امرام 18cm می‌باشد که ما در محاسبات گین برای ضخامت Radome از این مقدار کم شده است.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (24.3)$$

^۱Lock On Jam

جدول ۷.۳: پارامترهای موشک فعال AMRAAM

<i>Peak Power</i>	148 W
<i>Frequency Operation Band</i>	X – Band : 8 – 12GHz
<i>Range</i>	80 Km
<i>Transmitter Gain</i>	20.8 dB
<i>Receiver Gain</i>	20.8 dB
<i>Frequency</i>	10 GHz
<i>Band Width</i>	500 MHz
<i>Diameter</i>	18 cm
<i>Speed</i>	2.5 Mach

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{10 \times 10^9} = 0.03 \quad (25.3)$$

$$G = \frac{5.3(0.16)^2}{(0.033)^2} \sigma = 150 \quad (26.3)$$

یعنی گین آنتن گیرنده موشک فعال امرام 21 dB می‌باشد.
برای بدست آوردن توان فرستنده موشک امرام داریم :

$$S_{\min} = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (27.3)$$

حساسیت گیرنده امرام برای هدف غیر مانوری با NF=3 dB، برابر است با :

$$S_{\min} = P_n (S/N)_{\min} NF \quad (28.3)$$

$$S_{\min} \sigma = 131 \text{ dBm} \quad (29.3)$$

با توجه به مشخصات جدول (۷.۳) و جایگذاری فرمول (۲۹.۳) در (۲۷.۳) داریم :

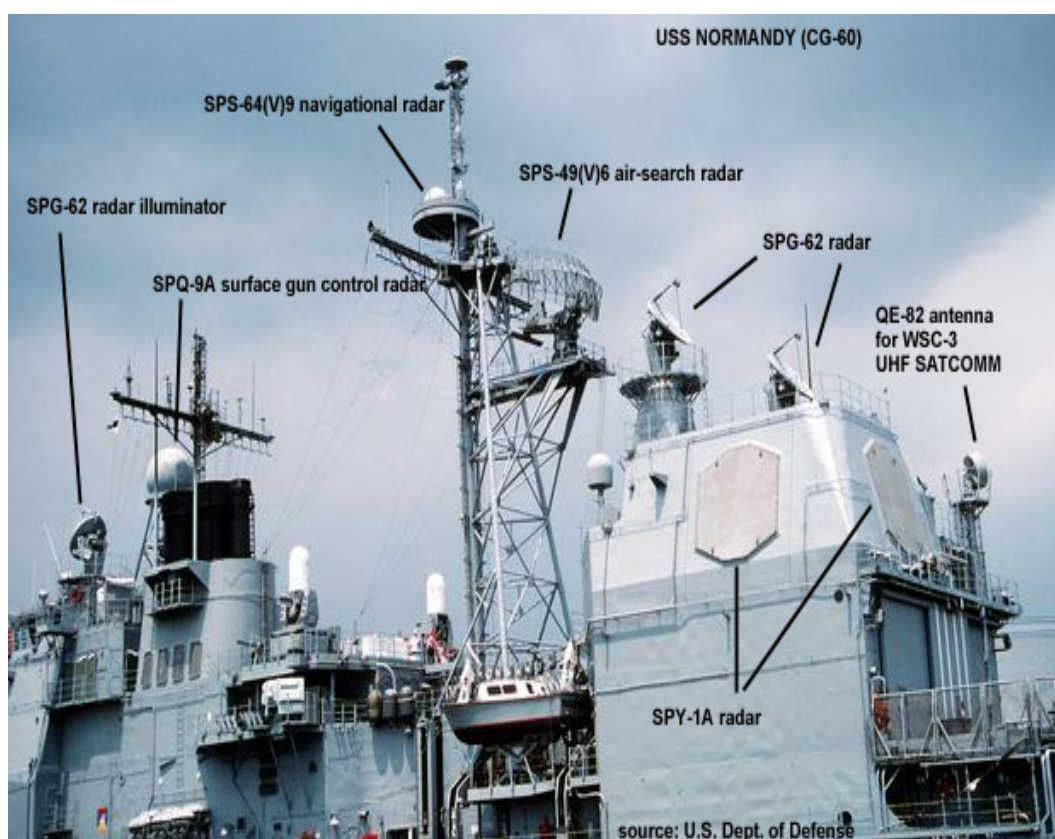
$$P_t = \frac{10^{(-16.1)} \times (4\pi)^3 \times 18^{(4)} \times 10^{(12)}}{150 \times 150 \times 9 \times 10^{(-4)} \times 5} \sigma 148 W \quad (30.3)$$

$$P_t = 148 W \quad (۳۱.۳)$$

پس توان فرستنده امرام برای آشکارسازی هدفی در فاصله‌ی 18 Km با سطح مقطع راداری $5 m^2$ ، برابر $P_t = 148 W$ می‌باشد.

۸.۳ سیستم دفاع موشکی Aegis

رادار آرایه فازی چند منظوره SPY-1، رادار اصلی سیستم دفاع موشکی بالستیک Aegis با برد 300 Km کیلومتر می‌باشد (۹.۳). این رادار با توان خروجی $4 - 6 Mw$ ، قادر به انجام هم‌زمان جستجو، رهگیری و هدایت موشکی بیش از 100 هدف می‌باشد. رادار برای باندهای S طراحی شده و دارای قابلیت اجرایی در تمامی شرایط آب و هوایی را می‌باشد.



شکل ۹.۳: سامانه دفاع موشکی Aegis [۲۷]

AN/SPG-62، یک رادار موج پیوسته برای هدایت موشک نیمه فعال RIM-156 می‌باشد که به صورت مکانیکی هدایت می‌شود (۱۰.۳). ردیابی و هدایت موشک توسط رادار رهگیر SPY-1 صورت می‌گیرد و رادار AN/SPG-62، فقط نقش روشن‌کننده هدف را بر عهده دارد [۲۷].



شکل ۱۰.۳: رادار موج پیوسته AN/SPG-62 [۲۸]

Aegis وظیفه دفاع از هر ناوی که روی آن نصب شده است را بر عهده دارد. موشک‌های مختلفی بر روی این سامانه عملیاتی شده که در ادامه به آنان پرداخته شده است:

- RIM-66 استاندارد، از هدایت نیمه فعال راداری با برد 160 Km بهره می‌برد.
- RIM-156 استاندارد، از هدایت نیمه فعال راداری با برد 180 Km بهره می‌برد
- RIM-174 استاندارد، از همان رادار موشک امرام استفاده می‌کند و دارای هدایت فعال راداری با برد 240 Km می‌باشد.
- RIM-162 استاندارد، از همان رادار موشک اسپارو استفاده می‌کند و دارای هدایت نیمه فعال راداری با برد 50 Km می‌باشد.

با توجه به شکل (۱۰.۳)، قطر رادار روشن‌کننده 2.29m می‌باشد. بنابراین می‌توان گین

فرستنده رادار موج پیوسته را به صورت زیر محاسبه نمود :

$$Gt = 5.3 \frac{D^2}{\lambda^2} \quad (۳۲.۳)$$

$$Gt = 5.3 \frac{(2.29)^2}{(0.029)^2} = 33000 \quad (۳۳.۳)$$

$$Gt = 45 \text{ dB} \quad (۳۴.۳)$$

موشک RIM-156 و رادار رهگیر SPY-1 در ادامه مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته‌اند.

جدول ۸.۳: پارامترهای موشک نیمه فعال RIM-156

<i>Peak Power CW</i>	10 Kw
<i>Frequency Operation Band</i>	X – Band : 10 – 10.25GHz
<i>Range</i>	180 Km
<i>Transmitter Gain</i>	45 dB
<i>Receiver Gain</i>	28 dB
<i>Band Width</i>	250 MHz
<i>Diameter Missile</i>	34 cm
<i>Speed</i>	3.5 Mach

جدول ۹.۳: پارامترهای رادار رهگیر SPY-1

<i>Peak Power</i>	4 – 6 Mw
<i>Frequency Operation Band</i>	S – Band : 3.1 – 3.5GHz
<i>Range</i>	300 Km
<i>Transmitter Gain</i>	42 dB
<i>Receiver Gain</i>	42 dB
<i>PRF</i>	330 Hz
<i>Band Width sustained coherent</i>	10 Mhz
<i>Band Width</i>	400 MHz

فصل ۴

شبیه‌سازی

۱.۴ شبیه‌سازی تهدیدات

شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در این پایان‌نامه برای اخلاص گر پرتابی پیشنهادی، براین اساس است که سیستم هشداردهنده راداری، سیگنال ارسالی هدف را دریافت نموده و سامانه تعیین نوع تهدید، نوع تهدید را مشخص کرده است.

به منظور مشاهده نواحی پیروزی اخلاص گر پرتابی و تهدیدات مختلف، شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم افزار Octave صورت گرفته است. ارزیابی تهدیدات براساس حداقل سیگنال به نویزهای مختلف^۲ و همچنین توان اخلاص گر (P_j) متفاوت در نظر گرفته شده است.

نمودار افقی در موشک‌های هدایت فرامینی مربوط به فاصله رادار تهدید از جنگنده حامل اخلاص گر پرتابی می‌باشد و در موشک‌های هدایت نیمه فعال، مربوط به فاصله موشک از جنگنده حامل اخلاص گر پرتابی می‌باشد (در این حالت چون که فرستنده و گیرنده کنار هم نیستند معادله رادار به فرم bistatic می‌باشد). در موشک‌های هدایت فعال، نمودار افقی مربوط به فاصله رادار خود موشک تا جنگنده حامل اخلاص گر می‌باشد.

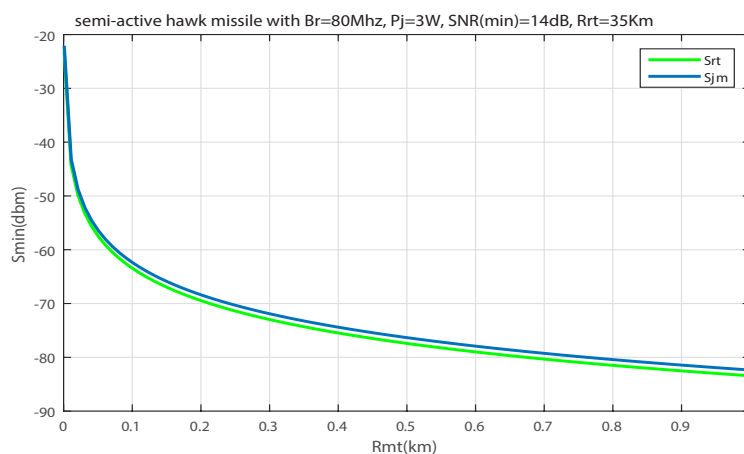
نمودار عمودی هم مربوط سیگنال بازگشتی از هدف و سیگنال ارسالی اخلاص گر می‌باشد. نمودارهای (۱.۴) و (۲.۴)، مربوط به شبیه‌سازی موشک نیمه فعال Hawk، و نمودار (۳.۴) مربوط به بهبود یافته آن می‌باشد.

^۲Signal-to-noise ratio

شبیه‌سازی موشک نیمه فعال Hawk، در دو حالت صورت گرفته است. در حالت اول شکل (۱.۴)، همان‌طور که نشان داده شده است نمودار آبی مربوط به سیگنال اخلاص گر و نمودار سبز مربوط به سیگنال بازگشتی از جنگنده حامل اخلاص گر می‌باشند. در این حالت فرض بر این است که جنگنده حامل اخلاص گر مانور ندهد. به همین دلیل حداقل سیگنال به نویز برای آشکار سازی جنگنده توسط سامانه Hawk، $SNR_{min} = 14dB$ می‌باشد. در این حالت با فرض فاصله 35 Km رادار Hawk از جنگنده و با توان 3 W اخلاص گر پرتابی، با سه تا اخلاص گر پرتابی می‌توان سامانه پدافندی Hawk را مختل نمود.

در حالت دوم شکل (۲.۴)، برای حالتی که جنگنده مانور بدهد، حداقل سیگنال به نویز برای آشکار سازی جنگنده توسط سامانه Hawk، $SNR_{min} = 20dB$ می‌باشد که در این حالت با همان فاصله 35 Km رادار Hawk از جنگنده و با توان 3 W اخلاص گر پرتابی، با یک اخلاص گر پرتابی می‌توان سامانه پدافندی Hawk را مختل نمود. تهدیدات دیگر هم همین دو حالت مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

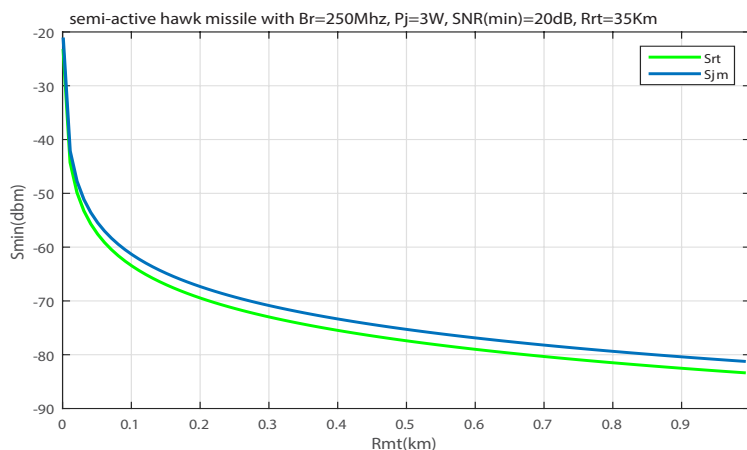
در شکل (۳.۴)، شبیه‌سازی سامانه بهینه‌سازی شده Hawk صورت گرفته است. بهینه‌سازی در قسمت توان روشن‌کننده انجام شده است که در این حالت توان ارسالی روشن‌کننده، 3 Kw می‌باشد که با در نظر گرفتن تلفات، نمودار (۳.۴) بدست آمده است.



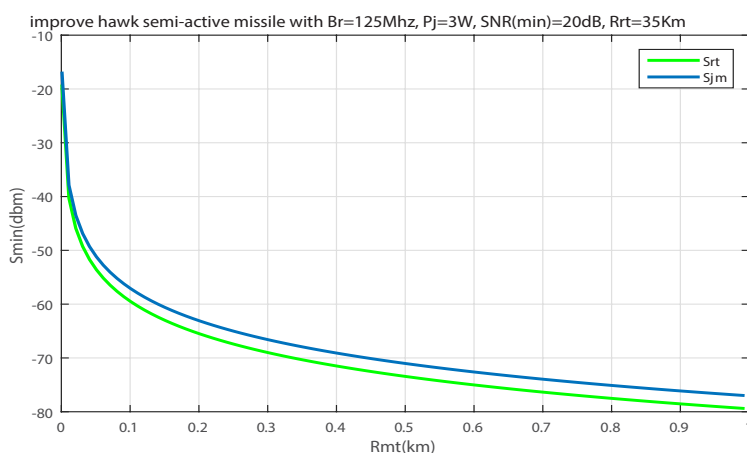
شکل ۱.۴: شبیه‌سازی سامانه Hawk به ازای $SNR_{min} = 14dB$ و $P_j = 3W$

نمودارهای (۴.۴) و (۵.۴)، مربوط به شبیه‌سازی سامانه پدافندی Sa-2 می‌باشد. در شبیه‌سازی شکل (۵.۴) در حالتی که جنگنده حامل اخلاص گر مانور دهد، برد رهگیری Sa-2 از 60 Km به 10 Km کاهش پیدا کرده است. یعنی اگر اخلاص گر پرتابی در زمان مناسب توسط خلبان پرتاب شود می‌تواند برد رهگیری رادار Sa-2 را 50 Km کاهش دهد.

نمودارهای (۶.۴) و (۷.۴)، مربوط به شبیه‌سازی سامانه پدافندی Sa-3 می‌باشد. در شبیه‌سازی شکل (۷.۴) در حالتی که جنگنده حامل اخلاص گر مانور دهد، برد رهگیری Sa-3 از 80 Km به 6 Km کاهش پیدا می‌کند. یعنی برد رهگیری Sa-3، 74 Km کاهش پیدا کرده است.



شکل ۲.۴: شبه‌سازی سامانه Hawk به ازای $P_j = 3W$ و $SNR_{min} = 20dB$

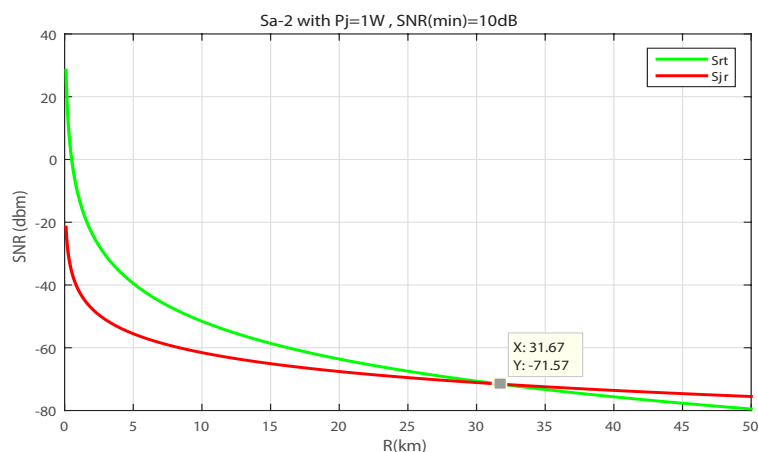


شکل ۳.۴: شبه‌سازی سامانه بهینه‌سازی شده Hawk به ازای $SNR_{min} = 20dB$ و $P_j = 3W$

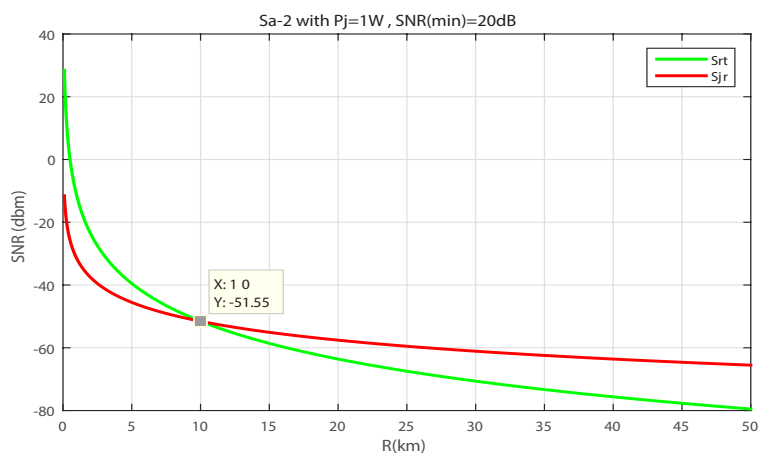
نمودارهای (۸.۴) و (۹.۴)، مربوط به شبه‌سازی سامانه پدافندی Sa-8 می‌باشد. برای Sa-8 در حالت مانور جنگنده برد رهگیری 13 Km کاهش پیدا کرده است که در مقایسه با Sa-2 و Sa-3 بسیار کم می‌باشد.

نمودارهای (۱۰.۴) و (۱۱.۴)، مربوط به شبه‌سازی موشک نیمه فعال Sparrow می‌باشند. در موشک نیمه فعال Sparrow، اگر جنگنده مانور ندهد در فاصله 15 Km رادار حامل Sparrow که F-4 می‌باشد از جنگنده حامل اخلاص گر و با توان 3 W اخلاص گر پرتابی، با پرتاب همزمان سه اخلاص گر پرتابی می‌توان Sparrow را مختل نمود. اگر جنگنده حامل اخلاص گر مانور بدهد و اخلاص گر را در مسیر قبلی خود پرتاب کند، در همان فاصله 15 Km با یک اخلاص گر می‌توان آن را مختل نمود.

نمودارهای (۱۲.۴) و (۱۳.۴)، مربوط به شبه‌سازی موشک فعال AMRAAM می‌باشد.



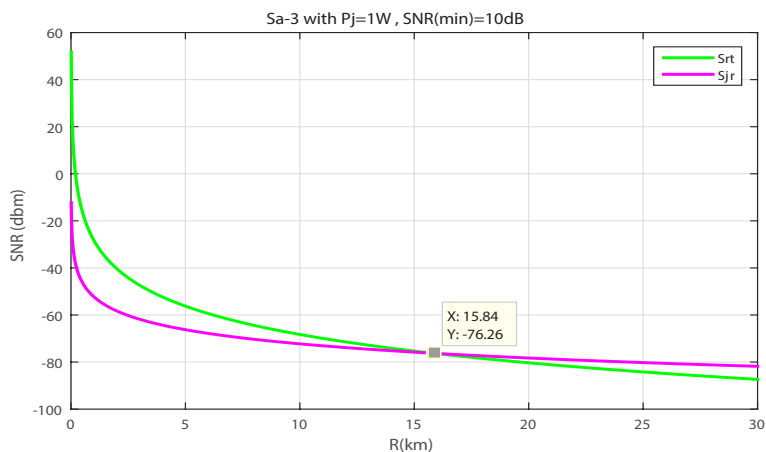
شکل ۴.۴: شبیه‌سازی سامانه پدافندی Sa-2 به ازای $SNR_{min} = 10dB$ و $P_j = 1W$



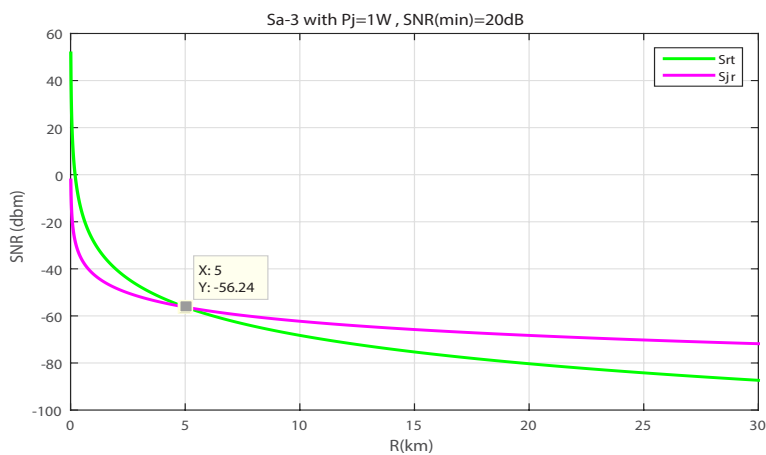
شکل ۵.۴: شبیه‌سازی سامانه پدافندی Sa-2 به ازای $SNR_{min} = 20dB$ و $P_j = 1W$

برای موشک فعال امرام برد رهگیری از 18 Km به 5.3 Km کاهش پیدا کرده است. نمودارهای (۱۴.۴) و (۱۵.۴)، مربوط به شبیه‌سازی موشک نیمه فعال RIM-156 می‌باشد. در موشک نیمه فعال RIM-156، اگر جنگنده مانور ندهد در فاصله 150 Km رادار روشن کننده SPG-62 از جنگنده و با توان 3 W اخلاص گر پرتابی، با پرتاب همزمان دوازده عدد اخلاص گر پرتابی می‌توان RIM-156 را مختل نمود. اگر جنگنده حامل اخلاص گر مانوار بدهد و اخلاص گر را در مسیر قبلی خود پرتاب کند، در فاصله 130 Km رادار روشن کننده SPG-62 از جنگنده با پنج اخلاص گر می‌توان آن را مختل نمود.

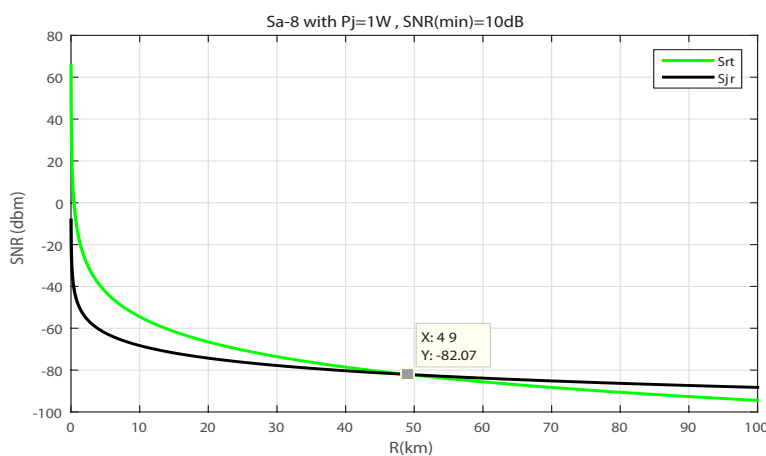
نمودارهای (۱۶.۴) و (۱۷.۴)، مربوط به شبیه‌سازی رادار رهگیر SPY-1 می‌باشد. برد رهگیری رادار Spy-1، از 300 Km به 80 Km کاهش پیدا کرده است.



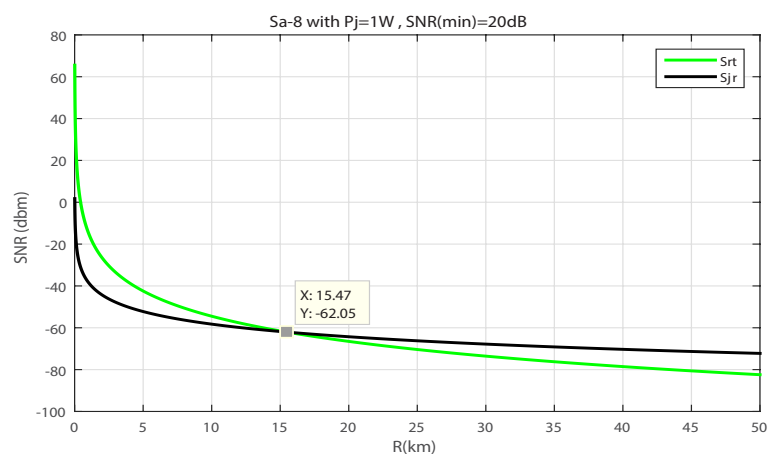
شکل ۶.۴: شبه‌سازی سامانه پدافندی Sa-3 به ازای $SNR_{\min} = 10dB$ و $P_j = 1W$



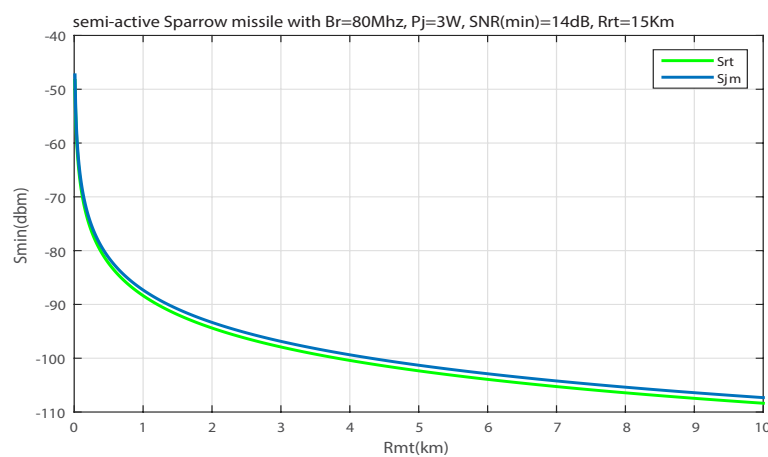
شکل ۷.۴: شبه‌سازی سامانه پدافندی Sa-3 به ازای $SNR_{\min} = 20dB$ و $P_j = 1W$



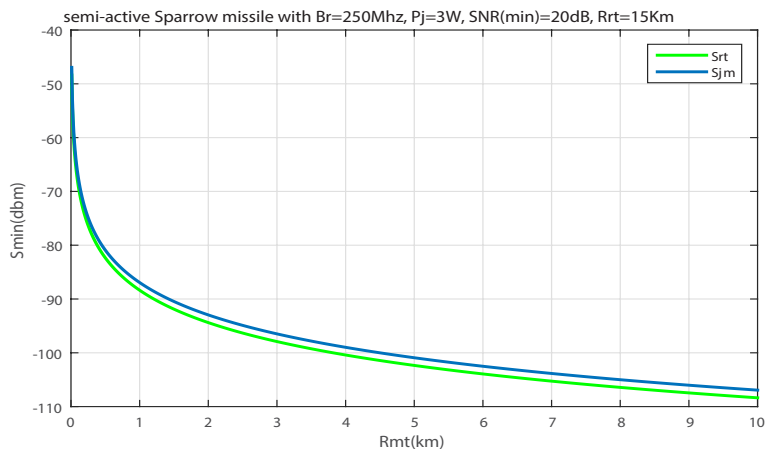
شکل ۸.۴: شبه‌سازی سامانه پدافندی Sa-8 به ازای $SNR_{\min} = 10dB$ و $P_j = 1W$



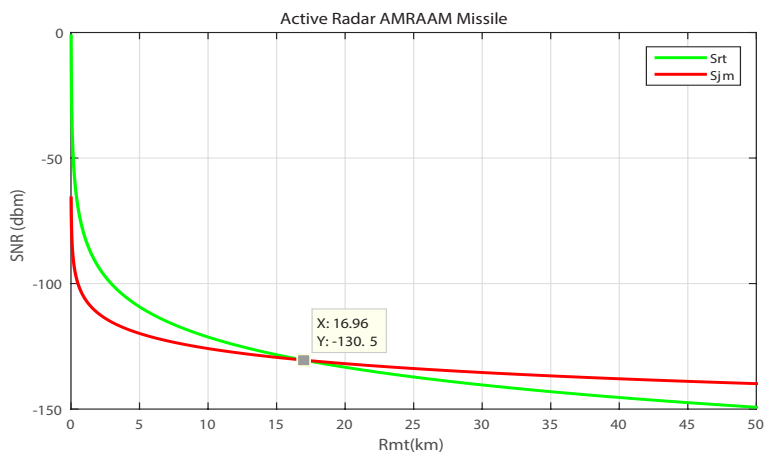
شکل ۹.۴: شبیه‌سازی سامانه پدافندی Sa-8 به ازای $P_j = 1W$ و $SNR_{min} = 20dB$



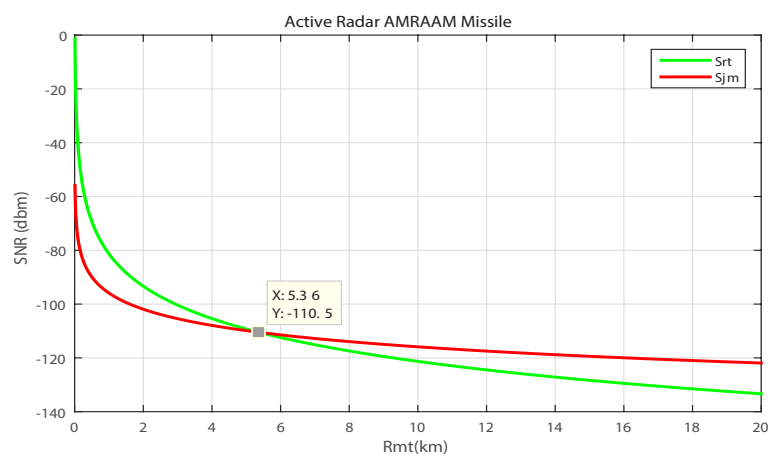
شکل ۱۰.۴: شبیه‌سازی موشک نیمه فعال Sparrow به ازای $SNR_{min} = 14dB$ و $P_j = 3W$



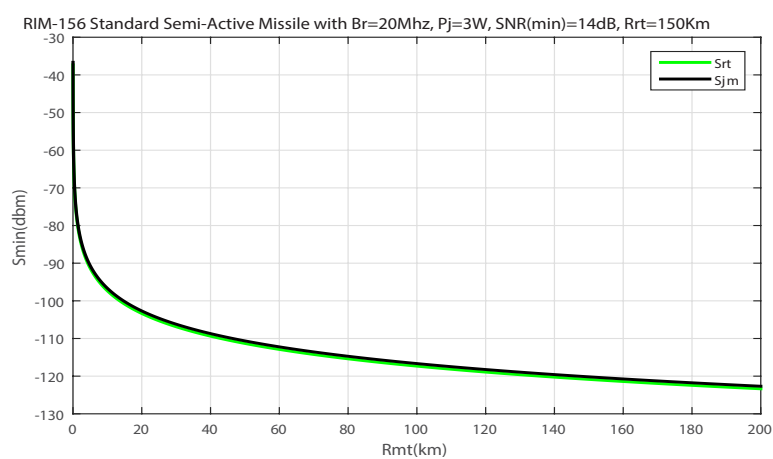
شکل ۱۱.۴: شبه‌سازی موشک نیمه فعال *sparrow* به ازای $SNR_{min} = 20dB$ و $P_j = 3W$



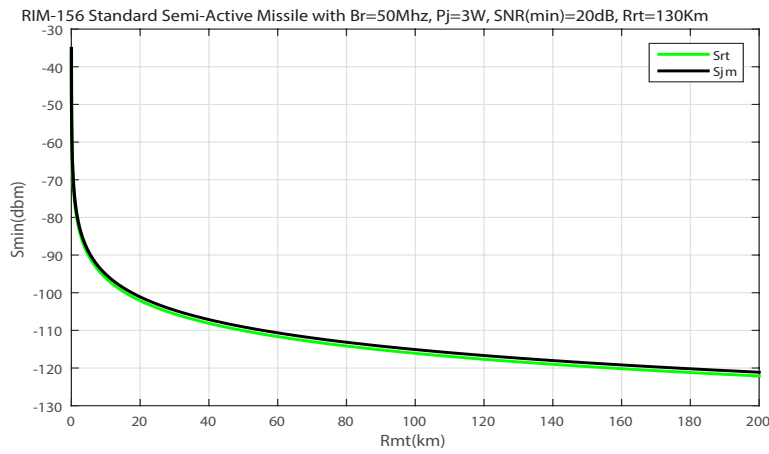
شکل ۱۲.۴: شبه‌سازی موشک فعال *Amraam* به ازای $SNR_{min} = 10dB$ و $P_j = 1W$



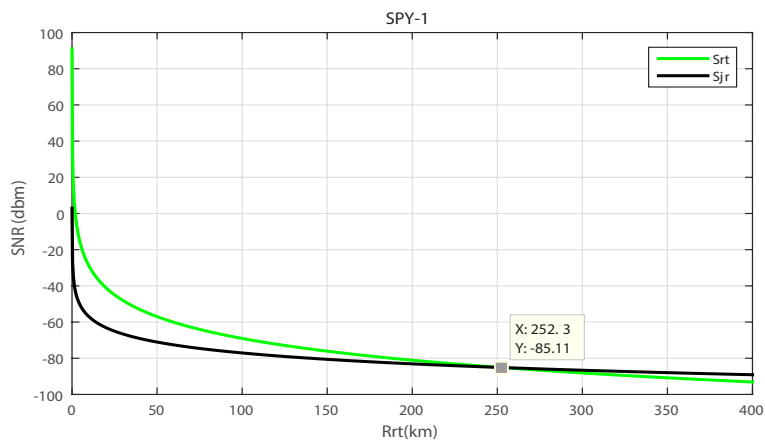
شکل ۱۳.۴: شبیه‌سازی موشک فعال *Amraam* به ازای $SNR_{min} = 20dB$ و $P_j = 1W$



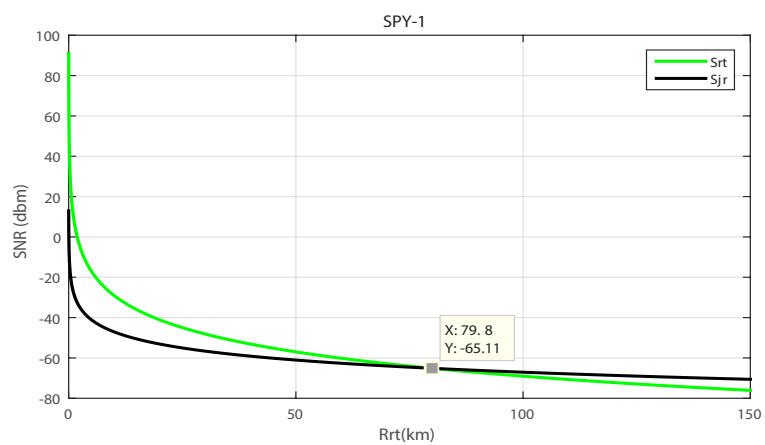
شکل ۱۴.۴: شبیه‌سازی موشک نیمه فعال *RIM-156* به ازای $SNR_{min} = 14dB$ و $P_j = 3W$



شکل ۱۵.۴: شبه‌سازی موشک نیمه فعال RIM - 156 به ازای $SNR_{min} = 20dB$ و $P_j = 3W$



شکل ۱۶.۴: شبه‌سازی رادار رهگیر SPY - 1 به ازای $SNR_{min} = 10dB$ و $P_j = 1W$



شکل ۱۷.۴: شبیه‌سازی رادار رهگیر 1-SPY به ازای $SNR_{min} = 20dB$ و $P_j = 1W$

فصل ۵

نتایج و پیشنهادهای

۱.۵ نتایج

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که عملکرد اخلاص گر پرتابی در برابر تهدیدهای مختلف متفاوت می‌باشد. همان‌طور که دیده شد، فاصله برتری اخلاص گر پرتابی در برابر تهدیدها به شدت وابسته به حداقل سیگنال به نویز برای آشکارسازی می‌باشد. یعنی اگر جنگنده بتواند مانور بدهد و اخلاص گر پرتابی را در همان مسیر قبلی حرکت خود پرتاب کند، سناریو عملیاتی بیشتر به نفع اخلاص گر پرتابی و جنگنده حامل می‌باشد [۲۹].

با توجه به نتایج، در شرایط یکسان $P_j = 1W$ و $SNR_{min} = 20dB$ برای تهدیدهای هدایت فرامینی داریم:

- برد عملیاتی Sa-2، از 60 Km به 10 Km کاهش پیدا کرده است.
- برد عملیاتی Sa-3، از 80 Km به 5 Km کاهش پیدا کرده است.
- برد عملیاتی Sa-8، از 28 Km به 15 Km کاهش پیدا کرده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، اخلاص گر روی Sa-8، تاثیر کمتری گذاشته است. در موشک‌های نیمه فعال با شرایط یکسان $P_j = 3W$ و $SNR_{min} = 20dB$ داریم:

- در فاصله 35 Km با یک اخلال گر می توان Hawk را مخنل نمود.
- در فاصله 15 Km با یک اخلال گر می توان sparrow را مخنل نمود.
- در فاصله 130 Km با پنج اخلال گر می توان RIM-156 را مخنل نمود.
- در موشک های فعال با شرایط یکسان $P_j = 1W$ و $SNR_{min} = 20dB$ داریم :
- برد عملیاتی AMRAAM، از 18 Km به 6 Km کاهش پیدا کرده است.
- برد عملیاتی Spy-1، از 300 Km به 80 Km کاهش پیدا کرده است.

همان طور که در شکل (۱۳.۴) دیده شد، موشک فعال امرام حدودا 12Km از 18Km برد خودش را اخلال می باشد. برای محاسبه ی مدت زمان مختل بودن امرام توسط اخلال گر پرتابی، با توجه به سرعت متوسط 2.5Mach آن به صورت زیر می توان محاسبه نمود :

$$\Delta x = V \Delta t \quad (۱.۵)$$

$$\Delta t = \frac{12 Km}{2.5 Mach} \quad (۲.۵)$$

$$\Delta t = 14 s \quad (۳.۵)$$

به همین ترتیب برای دیگر تهدیدها، زمان اخلال در جدول (۱.۵) محاسبه شده است.

جدول ۱.۵: مدت زمان اخلال در برد آشکارسازی با توجه به سرعت تهدید

Sa-2	49 s
Sa-3	73 s
Sa-8	15 s
Active Radar AMRAAM Missile	14 s

حالتی دیگر که می توان زمان اخلال را بررسی نمود، مربوط به مدت زمان فرارگیری اخلال گر پرتابی در بیم اصلی رادار تهدید می باشد. برای این منظور ابتدا باید عرض بیم تهدیدها را در فاصله مورد نظر از اخلال گر محاسبه نمود.

همان طور که در جدول (۷.۳) نشان داده شده است، گین آنتن موشک امرام برابر 21.7 dB می باشد. با استفاده از فرمول زیر می توان عرض بیم آن را محاسبه نمود :

$$G_t = \frac{27000}{\phi \times \theta} \quad (۴.۵)$$

عرض بیم در سمت و ارتفاع برابر 13.50 درجه می باشد.

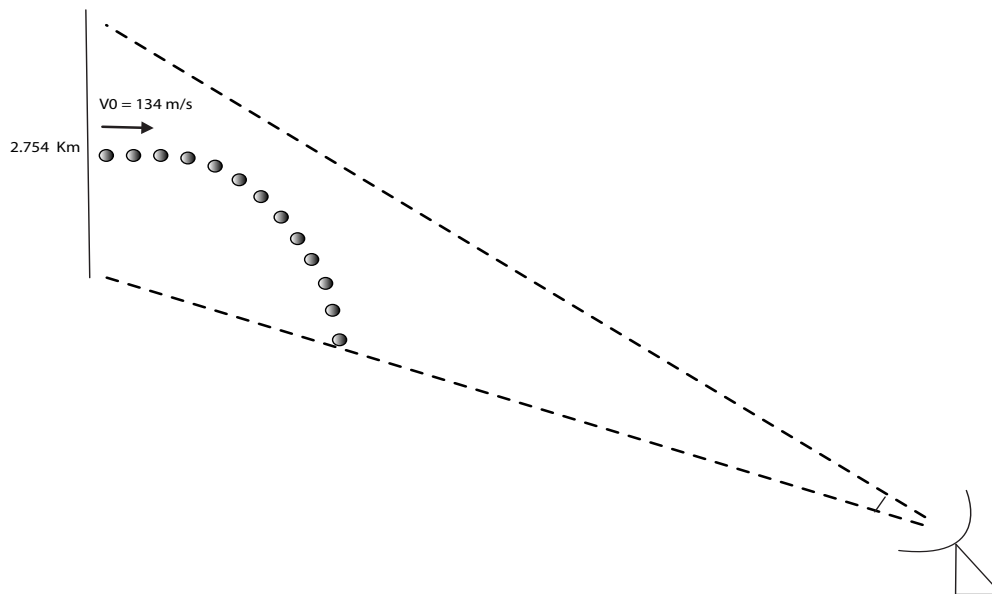
به ازای هر یک درجه، بیم در فاصله یک کیلومتری 17 m باز می‌شود. با توجه به این که موشک امرام توسط اخلاص گر 12 Km مختل می‌باشد، می‌توان در این فاصله میزان باز شدن عرض بیم را به صورت زیر محاسبه نمود :

$$1^\circ \quad \underline{1 Km} \quad 17 m \quad (۵.۵)$$

$$13.50^\circ \quad \underline{1 Km} \quad 229.5 m \quad (۶.۵)$$

$$229.5 m \quad \underline{12 Km} \quad 2.754 Km \quad (۷.۵)$$

پس بیم امرام در فاصله 12 Km از هدف، 2.754 Km باز می‌شود. سرعت پرتاب چف حدودا 250 mph تا 350 mph می‌باشد. فرض می‌شود که سرعت پرتاب اخلاص گر 300 mph می‌باشد.



شکل ۱.۵: مدل پرتاب

اگر جنگنده حامل اخلاص گر، در وسط بیم موشک قرار داشته باشد و همچنین جنگنده پس از مانور اخلاص گر را در مسیر افقی قبلی خود پرتاب کند، زمان اخلاص را می‌توان با حرکت پرتابی افقی مدل نمود. اگر فرض شود که مقاوت هوا به شتاب جاذبه برابر باشد و اخلاص گر پرتابی با سرعت ثابت

سقوط کند [۳۰]، پس داریم :

$$\Delta t = \frac{1377 m}{134 m/s} \quad (۸.۵)$$

$$\Delta t = 10.27 s \quad (۹.۵)$$

زمان اخلاص تهدیدات دیگر با توجه بیم آن‌ها در برد اخلاص، در جدول (۲.۵) تهیه شده است.

جدول ۲.۵: مدت زمان اخلاص در برد آشکارسازی با توجه به بیم رادار تهدید

Sa-2	23 s
Sa-3	57 s
Sa-8	2.42 s
AMRAAM Missile	10.27 s
SPY-1 Radar	18 s

۲.۵ پیشنهادها

برای ادامه کار در این زمینه می‌توان موارد زیر را پیشنهاد نمود :

- یک پارچه سازی اخلاص گر پرتابی با گیرنده هشدار دهنده راداری
- یک پارچه سازی اخلاص گر پرتابی با پرتاب کننده آن
- افزایش اطلاعات تهدیدهای جدید با استفاده از گیرنده هشدار دهنده راداری و سامانه تعیین نوع تهدید برای عملکرد بهتر اخلاص گر پرتابی

مراجع

- [1] TITHECOTT (2016), ” DECOY”, Google Patents
- [2] Fillipo Neri (2001), ” Introduction to Electronic Defense Systems”, Vol. 1, two Edition, Artech House
- [3] David L.Adamy (2009), ” EW 103”, Artech House
- [4] David L.Adamy (2015), ” EW 104”, Artech House
- [5] YANG Zhe,LI Shu-lin,ZHOU Li,YIN Jun-jie (2013), ” Study of Aircraft Survivability Under the Conditions of Self-Defense Jamming and Chaff Jamming, (Aeronautics and Astronautics Engineering College,Air Force Engineering University,Xi’ an,Shaanxi 710038,China)
- [6] Joseph L. Strabala (2010), ” Decoy protection system for aircraft and method of protection ”, Google Patents
- [7] Jan Matuszewski (2018), ” Jamming efficiency of land-based radars by the airborne jammers, Military University of Technology, Warsaw, Poland
- [8] Fillipo Neri (1991), ” New Technologies in self-protection jammers” Journal of electronic defense
- [9] AE Braun (1990), ” US Expendable Technology Continues Evolving” Journal of electronic defense
- [10] Streetly, M, (1990), ” Expendable Decoys” lternational Defense Review
- [11] McKinney.T, (1992), ” GEN-X Decoy Production Cell May Aid Other Avionic Programs” Aviation Week and Space Technology International Microwave and Radar Conference (MIKON), pp 324-327

-
- [12] Shani et al. (2011), " RF DECOY AND METHOD FOR DECEIVING RADAR-BASED MISSILES", Google Patents
- [13] Southwest Aerospace Corporation. (1988), " Towed decoy system", Google Patents
- [14] Jeffrey Jones (2013), " ELECTRONIC WARFARE FUNDAMENTALS", U.S. Department Of Defense
- [15] Jae-Won Rim and Il-suek Koh (2018), " Effect of Beam Pattern and Amplifier Gain of Repeater-type Active Decoy on Jamming to Active RF Seeker System based on Proportional Navigation Law", 2018 19th International Radar Symposium (IRS), vol.pp, no. c,pp. 1-9,
- [16] Avionics Department (2013), " Electronic Warfare and Radar Systems Engineering Handbook", Vol. 1, Fourth Edition,Naval Air Warfare Center Weapons Division, Point Mugu, California, pp. 213
- [17] Dr Carlo Kopp, AFAIAA, SMIEEE, PEng (2014), " Engagement and Fire Control Radars", air power australia
- [18] David L.Adamy (2004), " EW 102: A Second Course in Electronic Warfare ", Vol. 1, one Edition, Artech House
- [19] Merrill Skolnik (2008), " Radar Handbook ", Vol. 1, Third Edition, McGraw-Hill Education
- [20] Goran Sven Erik Petterson,(1993), Master's Thesis, "An Illustrated Overview of ESM and ECM Systems", NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL MONTEREY, CALIFORNIA
- [21] George W. Stimson,(1983), "Introduction-to-Airborne-Radar", 2nd Edition
- [22] Raytheon ,(2007), "AIM-7 Sparrow", Archived Report
- [23] Stephen 'HotDogOne,(2001), "AIM-120 AMRAAM", Hughes/Raytheon
- [24] Bernard St Louis,(1983), " HAWK VELOCIMETER ", US Army Test and Evaluation Command
- [25] Shani et al. (2011), " RF DECOY AND METHOD FOR DECEIVING RADAR-BASED MISSILES", Google Patents
- [26] Leonardo company. (2016), " Leonardo BriteCloud", <https://www.amvi.it/forum/il-mod-uk-acquista-i-sistemi-anti-missile-di-leonardo-finmeccanica-per-i-piloti-della-raf-t20974.html>
- [27] <http://en.citizendium.org/wiki/SPG-62>

- [28] <http://www.radartutorial.eu/19.kartei/07.naval/karte047.en.html>
- [29] Jae-Won Rim and Il-suek Koh (2019), "Survivability Simulation of Airborne Platform With Expendable Active Decoy Countering RF Missile", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol.pp, no. c,pp. 1-1,
- [30] Cartwright, Devon A. (2017), "A low-fidelity simulation to examine the design space for an expendable active decoy", Monterey, California: Naval Postgraduate School

Abstract

One of the important topics in electronic warfare debates is to counter tracking radars and radar guided surface-to-air and air-to-air missiles, recognition and using electronic counter measures correctly based on jamming techniques. Most mathematical modeling of airborne jammers have been made on stand-off jamming, or stand-in jamming which are two types, self protection jamming or escort jamming and no computation is available for expendable jammer threats. In this thesis to evaluate the performance of expendable jammer against the threats, according to threat recognition by radar warning receiver and determine its type, at first, eight threats from four different frequency bands, S, C, X and Ku have been considered and then the effects of expendable jammers against them have been simulated and analyzed. simulation results shows that For a threat like the Amraam missile within 12Km, the duration 10.27s is jamming.

Keywords

electronic warfare, electronic counter measure, airborne jammer, expendable jammer, radar warning receiver



Shahrood University of Technology

Faculty of Electrical and Robotics Engineering

MSc Thesis in: Thesis in Communication systems Engineering

**Evaluation of the performance expendable
jammer and impact on tracking radar and
radar missiles**

By: Pourya Moradi

Supervisor

Seyed Masoud MirRezaei

Advisor

Seyed Mahammad Alavi

June 2019