

تقييم تأثير التشويش من أمدية بعيدة على أداء قنوات المعلومات الرادارية لرادار متعدد الوظائف و اقتراح تحسين هذا الأداء باستخدام تقنيات حديثة (نمذجه ومحاكاة حاسوبية) .

عبد الرحمن أحمد*

(تاريخ الإيداع 9 / 8 / 2016. قُبِلَ للنشر في 7 / 11 / 2016)

□ ملخص □

يقدم البحث أسلوباً لتقييم انخفاض أداء قنوات المعلومات لرادار متعدد الوظائف في ظروف أحد أنواع المعاكسة الإلكترونية (ECM) - التشويش من أمدية بعيدة (SOJ) standoff jamming. في حالات التشويش على الوريقة الرئيسية لمخطط إشعاع الهوائي. تم التقييم باستخدام معايير نسبة الإشارة للضجيج للضجيج (SNR) و احتمال كشف الأهداف عند وجود التشويش و عدمه ، كما تم اقتراح تحسين هذا الأداء من خلال إدخال تقنيات حديثة منها: دارة المعدل الثابت للإنذار للكاذب (CFAR)، تقنية ضغط النبضة (PC) Pulse compression باستخدام المرشح الموافق، القفز التردد (FA) frequency agility، تنوع التردد Frequency Diversity، الاستقبال اللوغاريتمي (Logarithmic Reception) و أنظمة (AGC) Automatic Gain Control ذات التغذية العكسية. اعتمدت الدراسة على البيئة البرمجية MATLAB التي تمتلك أدوات رياضية وإمكانات بيانية وتفاعلية متطورة.

Evaluation Of Standoff Jamming Effect On Information Channels Performance In Multifunction Radar System And Proposing Improvement This Performance By Using New Techniques (Modelling And Simulation).

Abd ALrahman Ahmad*

(Received 9 / 8 / 2016. Accepted 7 / 11 / 2016)

□ ABSTRACT □

This research evaluates the performance degradation of information channels in multifunction radar due to electronic countermeasures (standoff jamming) on main loop of radar antenna .This evaluation is performed by using the signal to noise ratio(SNR) and the probability of detection parameters with and without jamming.

Improvement of radar performance is proposed by using the following (ECCM) techniques :Constant False Alarm Rate(CFAR), Pulse compression (pc) , frequency agility (FA), Frequency Diversity(FD),Logarithmic Reception , and Automatic Gain Control(AGC).

In this research MATLAB, software environment is used that has advanced mathematical tools, and graphical interactive ability.

* Master, mechanical and electrical faculty-Teshreen university, Syria

مقدمة:

تمثل الرادارات أهمية كبيرة وحيوية في منظومات مراقبة الجو . ولإنجاز المهام الملقاة على عاتقها بشكل أمثل يجب أن تؤدي الوظائف التالية:

- كشف الأهداف الجوية وقياس إحداثياتها وملاحقتها ورسم مسارات لحركتها.
 - التمييز بين الطائرات المتقاربة والتعرف عليها والتعارف معها.
 - إسناد الأهداف المكتشفة ذات الأهمية الخاصة إلى رادار الملاحقة و ملاحقتها بدقة .
 - المراقبة المستمرة للمجال الجوي. -التحكم بالحركة الجوية للطائرات.
 - الإذار عن الاصطدام. -التحكم باقترب وهبوط الطائرات.
- تتعرض المنظومة الرادارية ، أثناء تنفيذ تلك المهام، لجملة من التهديدات الإلكترونية تعيق عمل المنظومة ككل مما يسبب خروجها من العمل نهائياً ، أو يؤدي إلى انخفاض مستوى أدائها كإخفاض مدى الكشف، انقطاع الملاحقة، إعطاء معلومات دلالة خاطئة. ويدخل في إطار ذلك:
- استخدام التشويش بمختلف أشكاله وأنواعه. -استخدام أهداف جوية لتقنية التخفي.
 - ظهور أصداء غير مرغوبة ناتجة عن سطح الأرض والغيوم والطيور وأمواج البحر. الخ تقلل من أداء الرادار. إلا أن التشويش الراداري يبقى أحد أهم إجراءات إنقاص فعالية المنظومات الرادارية.
- تم التوصل إلى هذا التقييم عن طريق إيجاد التغير في نسبة الإشارة للضجيج (SNR) في ظل التشويش (SOJ) و حساب احتمال كشف الأهداف عند وجود التشويش أو عدمه.
- أظهرت نتائج النمذجة والمحاكاة الحاسوبية فعالية المنظومة الرادارية المدروسة (ASR-9) في شروط وجود وعدم وجود التشويش (SOJ).

أهمية البحث وأهدافه:

تتبع أهمية البحث من إثبات فعالية التشويش الراداري بكافة أشكاله لإعاقة وشل عمل تلك المنظومات الرادارية. لأن عمل الرادارات في ظروف التشويش هو الحالة السائدة في الظروف الحديثة من هنا جاءت أهمية تقدير فعالية المنظومات الرادارية في ظروف تأثير التشويش الإلكتروني ، سواءً عند تصميم منظومات جديدة أو موجودة قيد الاستخدام، والتي تعتبر مسألة علمية هامة.

يتعرض الرادار المستهدف إلى الضجيج إما عن طريق الوريقة الرئيسية أو الوريقة الجانبية. تكون رادارات المراقبة قابلة للتشويش على الحزمة الرئيسية لأنه في تلك الحالة يحصل التشويش على تكبير عال. عند حدوث ذلك ، سيظهر القطاع الضيق الكائن في اتجاه المشوش كموّاض شعاعي على شاشة ال PPI.

الهدف من البحث:

- تقييم أثر التشويش من الأمدية البعيدة (SOJ) على أداء قنوات المعلومات الرادارية لرادار مراقبة المطار (ASR-9).

- تقديم اقتراح مبني على تحليل علمي لإضافة دارات وحلول هندسية وتقنيات جديدة تحسّن من أداء هذا الرادار كدائرة المعدل الثابت للإذار الكاذب (CFAR)، تقنية ضغط النبضة Pulse compression (PC) باستخدام المرشح الموافق، القفز التردد frequency agility (FA)، تنويع التردد Frequency Diversity، الاستقبال اللوغاريتمي (Logarithmic Reception) و أنظمة AGC (Automatic Gain Control) ذات التغذية العكسية.

-وضع متطلبات اقتناء منظومات جديدة من منظور مناعتها تجاه التشويش.

طرائق البحث ومواده:

تم أخذ البارامترات لرادار مراقبة المطار (ASR9)(Airport surveillance radar) من مصدر مفتوح عن هذا الرادار المدني لاستخدامها في الدراسة، وذلك لعدم وجود أهمية عسكرية لهذا الرادار. وتم افتراض بارامترات المشوش لتتوب عن النظام الحقيقي، حيث تم تقييم أثر (SOJ) على كشف الأهداف باستخدام هذه البارامترات.

تم التوصل إلى هذا التقييم عن طريق إيجاد التغير في نسبة الإشارة للضجيج (SNR) في ظل التشويش (SOJ) وحساب احتمال كشف الأهداف عند وجود التشويش و عدمه. أظهرت نتائج النمذجة والمحاكاة الحاسوبية خطر تشويش (SOJ) على الرادار (ASR-9) من خلال انخفاض أدائه الذي انعكس بانخفاض مدى الكشف الأعظمي بشكل كبير.

أنواع قنوات المعلومات الرادارية:

قنوات البحث وإكمال البحث والكشف.

قنوات قياس إحداثيات و بارامترات الأهداف (سمت ،مسافة ،ارتفاع ،سرعة، بارامتر).
قنوات الملاحقة الرادارية والتلفزيونية (النصف آلية ،الآلية، العطالية ،المسارية والدقيقة).
قنوات إعطاء الدلالة. قنوات التتبع التلفزيونية خلف الرادارية و الرادارية خلف التلفزيونية.
قنوات معالجة المعلومات وحساب أولوية التعامل مع الأهداف. قناة تحديد انتماء الهدف.
قناة تحديد نوع الهدف. قناة إسناد الهدف من رادار الكشف إلى رادار الملاحقة.
قناة إرسال المعلومات إلى مستويات أعلى.

الرادار ASR-9 - تصميم - مواصفات:

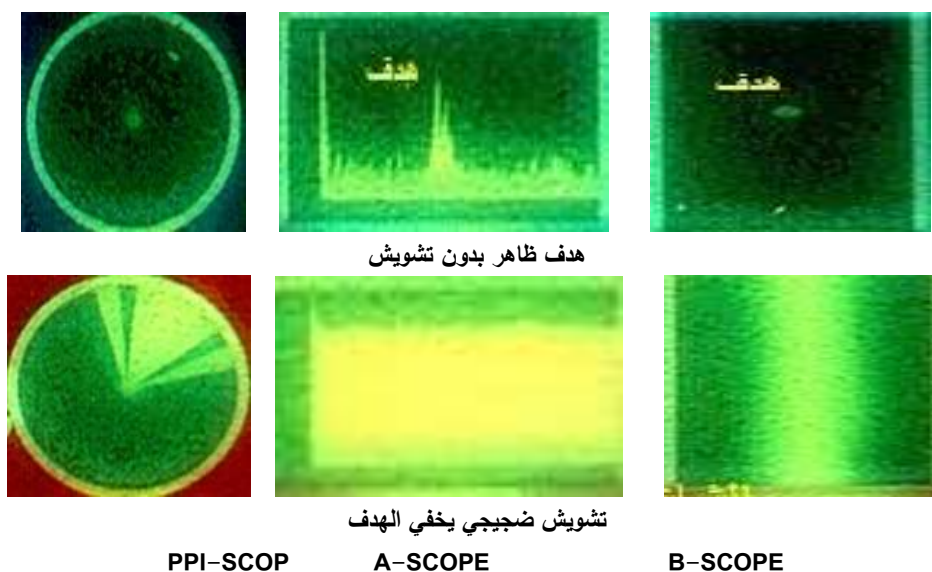
يستخدم رادار المراقبة هذا لإبقاء حركة المرور الجوية (متحكم بها داخل منطقة ما، مثل منطقة محيطية بالمطار أو مسار جوي). الوظيفة الأساسية له هي رسم مسار للهدف .

في الأنظمة المدنية تكون مناورة حركة الهدف منخفضة بسبب انتظام المسار الجوي وتعاون الطيار مع الملاح المدني [7]. معظم رادارات مراقبة الملاحة الجوية المدنية تكون من النوع ثنائي البعد و ASR-9 هو رادار ثنائي البعد (2-D)، للبحث السطحي اتجاه ومسافة دون معطيات عن الارتفاع [7].

يعتبر رادار ASR-9 (S-band) من رادارات مراقبة المطارات الحديثة. وقد تم تركيب هذا الرادار في أكثر من مئة وأربعة و ثلاثين مطار رئيسي في العالم، يعمل هذا الرادار عند حزمة (S-band) (2.7-2.9 GHz) ويكون عرض النبضة بمقدار (1.05 μ s) أي أن قدرة التمييز بالمدى = 157.5m، عرض لوب الحزمة الرئيسية بالاتجاه (1.3°) درجة، معدل دوران الهوائي 12.5 دورة في الدقيقة، تردد التمرير للرادار (PRF) هو (1200 Hz) والقيمة الأعظمية للطاقة المرسله هو (1200 KW). يؤمن هذا الرادار المعلومات حول الأهداف الطائرة ضمن مجال كروي نصف قطره (111.2km) ومركزه الرادار [7] .

تم التوصل إلى تقييم أثر (SOJ) عن طريق إيجاد التغير في نسبة الإشارة للضجيج في ظل التشويش وحساب احتمال كشف الأهداف عند وجود التشويش أو عدمه.

وفيما يلي نستعرض مظاهر وجود وعدم وجود التشويش على شاشات A-PPI و B.



الشكل (1) مقارنة بين وجود وعدم وجود التشويش على شاشات الرادار
 يملك التشويش الضجيجي (Noise Jamming) القدرة على حجب (إعفاء أو تعقيم) الرادار المستهدف عن طريق إشباع هذا الرادار بالضجيج كما هو واضح بالشكل (1).

إن الرادار ASR-9 مصمم للعمل على مسافات 40-60 ميل بحري (75-111 كم) ودون استراحة بنسبة 99.9% من الوقت أي 10 ساعات خلال عام كامل [2].

بارامترات الرادار (ASR-9) [4]:

إن للرادار ASR-9 البارامترات التالية:

$P_t = 1200\text{kw (60.79 dBW)}$: قيمة الاستطاعة الأعظمية (Peak Power)

$G = G_t = G_r = 33.5\text{dB}$: (Antenna Gain) كسب الهوائي

$f = 2.9\text{GHz}$: (Radiated Frequency) تردد الإشعاع

$\lambda = 10.35\text{cm (10.15 dBcm)}$: (Wavelength) طول الموجة

$\tau = 1.05\mu\text{s}$: (Pules Width) عرض النبضة

$\theta = 1.3^\circ \text{ degree}$: (Antenna Azimuth Bandwidth) زاوية إشعاع الهوائي

معدل الدوران = 12.5 دورة بالدقيقة (Rotation Rate) .

معدل المسح = 75 (Scan Rate) درجة في الثانية.

تردد تكرار النبضة (Pulse Repitition Frequency) $\text{PRF} = 1200\text{pps}$

معامل ضجيج (Noise Figure) $F = 5\text{dB}$

المقطع العرضي الراداري للهدف المفترض (Target Radar Cross Section) $\sigma = 1\text{m}^2(0\text{dB})$

عرض المجال دوبلري (Doppler Bandwidth) $B_{\text{Dopp}} = 150\text{Hz}$

معدل ضغط النبضة (Pulse Compression Ratio) $\text{PCR} = 0\text{ dB}$

احتمال الكشف (Probability of detection) $P_D = 0.9$

احتمال الإنذار الكاذب (Probability of false alarm) $P_{FA} = 10^{-6}$

فقد النظام الكلي (Total system Losses): $L = 12 \text{ dB}$

* ويشتمل فقد النظام الكلي على ما يلي: المرسل: 2 ديسيبل - المستقبل: 2 ديسيبل

مقارنة خاطئة (Mismatch): 1 ديسيبل

(الآلة المسؤولة عن قياس المنطقة الحاوية على طائرة شاذة) (Integrator): 1 ديسيبل

الانهيار (Collapsing): 1 ديسيبل

شكل الحزمة (Beam shape): 3 ديسيبل - MTI : 2 ديسيبل

عرض مجال الرادار $B = 9.52 \times 10^5 \text{ Hz}$ (59.8 dBHz)

عدد النبضات : = [زاوية (عرض اللوب) امعدل المسح] × تردد تكرار النبضة]

عدد النبضات المرسله خلال دوران الهوائي بزاوية مقدارها عرض لوب الاشعاع بالسمت (1.3° درجة

$$n = \frac{1.3}{75} = 20.8$$

عدد النبضات: $n = 21$ (13.22 dB)

كفاءة التكامل (Integration efficiency): $E_i(n) = 1$ بالنسبة للتكامل المتماسك (for coherent integration)

integration)

التشويش من الأمدية البعيدة (SOJ):

يكون مرسل تشويش standoff jamming (SOJ) مركب على متن طائرة وبعده مراسلات، ويكون أحدها على الأقل مخصص حتى يشوش على نوع معين من الرادارات (مثلا المراقبة، الملاحقة ، أو رادارات التصوير imaging radar) [7] .

قد تدور طائرة التشويش عادة في مضمار ممدود بحيث يكون المحور الطويل لهذا المضمار عموديا على خط النظر (line of sight) (LOS) للمنطقة المراد التشويش عليها خلف الخط الأمامي لانتشار المنظومات الرادارية ويقوم أحد هوائيه الطائرة بإرسال التشويش نحو الرادار المستهدف. بوجود طائرتي تشويش أو أكثر في نفس الوقت ضمن المدار يمكن لإحدها أن تغطي على الأخرى عندما تقوم الأخيرة بإجراء الانعطاف في كل من نهايتي المسار الطويل [2] .

يمتلك التشويش الضجيجي ميزة ضد رادارات المراقبة تتمثل بتلك الحاجة الصغيرة لمعرفة بارامترات الرادار الضحية ما عدا مجال التردد [4] . يمكن عمل تصنيف مقنع للتشويش الضجيجي عن طريق حساب نسبة عرض الحزمة الترددية للتشويش إلى عرض الحزمة الترددية المستقبلية في المعدات المستهدفة. فإذا كانت هذه النسبة كبيرة يدعى عندها التشويش السدي ، أما عند صغر هذه النسبة فندعوه التشويش المسدد ، ويمتد عرض الحزمة الترددية للمشوش ذو الضجيج السدي على مجال ترددي واسع والذي يشمل المجال الترددي للرادار. بشكل عرض موجة المشوش ذو الضجيج السدي الحاجب-نموذجيا 10% من ترددات الرادار التي تمتد لعدة مئات من الميغاهرتز. تتضمن الأصناف العملية للتشويش كل من التشويش المرافق (Escort Jamming) ، تشويش الحماية الذاتي (Self-protect Jamming) ، وتشويش SOJ من الأمدية البعيدة (Standoff Jamming). وسناقش تشويش (SOJ) فقط.

بارامترات المشوش (SOJ):

بارامترات المشوش معطاة كما يلي:

الطاقة المشعة الفعالة للمشوش: $ERP = 20dBW$

المدى بين مشوش (SOJ) والرادار: $R_j = 50 NM = 92.6 km$

فقد المشوش: $L_j = 0 dB$ - ربح معالجة إشارة المشوش: $K_j = 0 dB$

عرض مجال المشوش في حالة التشويش المسدد - المحكم - النقطي: $B_j = 10 MHz$

عرض مجال المشوش في حالة التشويش السدي الحاجب: $B_j = 300 MHz$

معدل حجب اللوب الجانبي للرادار: $SLC = 0 dB$

معادلة المشوش (SOJ) على الحزمة الرئيسية:

$$J = \frac{P_j G_j G_r \lambda^2}{(4\pi R_j)^2 L_j} \left(\frac{B_r}{B_j}\right) K_j \quad (1) \quad [4]$$

تعطى استطاعة التشويش J بالحزمة الرئيسية بالعلاقة التالية [4]:

حيث: P_j : (jammer power) استطاعة المشوش بالوات.

G_j : (jammer antenna gain) كسب هوائي المشوش.

L_j : (jammer loss) فقد المشوش.

R_j : (radar range to jammer) مدى الرادار إلى المشوش.

B_r : (radar bandwidth) عرض الحزمة الترددية للرادار.

B_j : (jammer bandwidth) عرض الحزمة الترددية للمشوش.

K_j : ربح المشوش (jammer wave form gain) في معالج الإشارة الخاص بالرادار.

يعطى الضجيج الحراري N (thermal noise) للمستقبل بالعلاقة التالية - [4]:

$$N = k T_0 F B_r \dots \dots \dots (2)$$

k : ثابت بولتزمان المقدر بـ 1.38×10^{-23} .

T_0 : درجة حرارة الغرفة 290 درجة فهرنهايت.

F : معامل ضجيج مستقبل الرادار $F = 5dB$.

من المعادلتين (1) و (2) نكتب النسبة J/N كما يلي:

$$\frac{J}{N} = \frac{P_j G_j G_r \lambda^2}{(4\pi R_j)^2 L_j k T_0 F B_r} \left(\frac{B_r}{B_j}\right) K_j \dots \dots \dots (3)$$

مع الإشارة إلى أن المعادلة السابقة صحيحة فقط في

حالة المشوشات الضجيجية.

إن الفقد في نسبة الإشارة للضجيج في الرادار نتيجة للتشويش تحسب كما يلي:

$$L_j = 1 + \frac{J}{N} \dots \dots \dots (4)$$

يحسب مدى الكشف الأعظمي للرادار بوجود التشويش (R_2) من العلاقة التالية [4]:

$$R_2 = \left(\frac{1}{L_j}\right)^{\frac{1}{4}} R_1 \dots \dots \dots (5)$$

حيث أن: R_1 : مدى الكشف الأعظمي للرادار بالحالة العادية. R_2 : مدى

الكشف الأعظمي للرادار بوجود التشويش.

النتائج و المناقشة :

[تقييم أداء الرادار (ASR-9) بغياب التشويش و وجوده] :

سنوجد احتمال كشف الرادار (قدرة الرادار على الكشف) كتابع لمدى الهدف (بعده عن الرادار) وذلك عند غياب التشويش. بعدها سنعيد الحسابات بوجود (SOJ) تشويش الحزمة الرئيسية .و سريؤخذ بعين الاعتبار كل من التشويش السدي (الحاجب) والتشويش المحكم-المسدد(النقطي) فقط.

تقييم أداء الرادار بغياب التشويش [1]:

بحسب أداء الرادار عادة في ظل الظروف الطبيعية باستخدام برامج حاسوبية احترافية ، لقد تم تلخيص الخطوات الأساسية للحساب في هذا القسم. سيتم تحديد مجال الكشف الأعظمي للرادار ASR-9 عن طريق إجراء تكامل مستمر للنبيضات ضمن مسح وحيد.

- من أجل الحالة الآتفة الذكر ، يرتبط احتمال الكشف P_D باحتمال الإنذار الكاذب P_{FA} بالعلاقة [1]:

$$P_D = (P_{FA})^{\frac{1}{\left(\frac{S}{N}\right)_1 + 1}} \dots \quad (6)$$

والتي يمكن كتابتها كما يلي : (7)..... $\left(\frac{S}{N}\right)_1 = \frac{\log P_{FA}}{\log P_D} - 1$

حيث أن $(S/N)_1$ هي SNR (نسبة الإشارة للضجيج) المطلوبة لتحقيق قيم احتمال الكشف P_D وإحتمال الإنذار الكاذب P_{FA} المنصوص بها.

حيث: $(S/N)_1 = 130.13(21.1dB)$, $P_{FA} = 10^{-6}$, $P_D = 0.9$

من أجل حالة الهدف النموذجي 1 (swirling-1) بحيث يكون السطح العاكس الفعال يساوي متر مربع [9]. إن نبضات الأصداء المستقبلية من الهدف خلال مسح وحيد لها نفس المطال الثابت على كامل المسح، لكنها قد تختلف من مسح لآخر.

يعطى مجال الكشف الأعظمي بالعلاقة [1]:

$$R_{max}^4 = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma_n E_i(n) PCR}{(4\pi)^3 \left(\frac{S}{N}\right)_1 k T B F L} \dots \quad (8)$$

$$R_{max} = 39.05 \text{ NM} = 72.3 \text{ km}$$

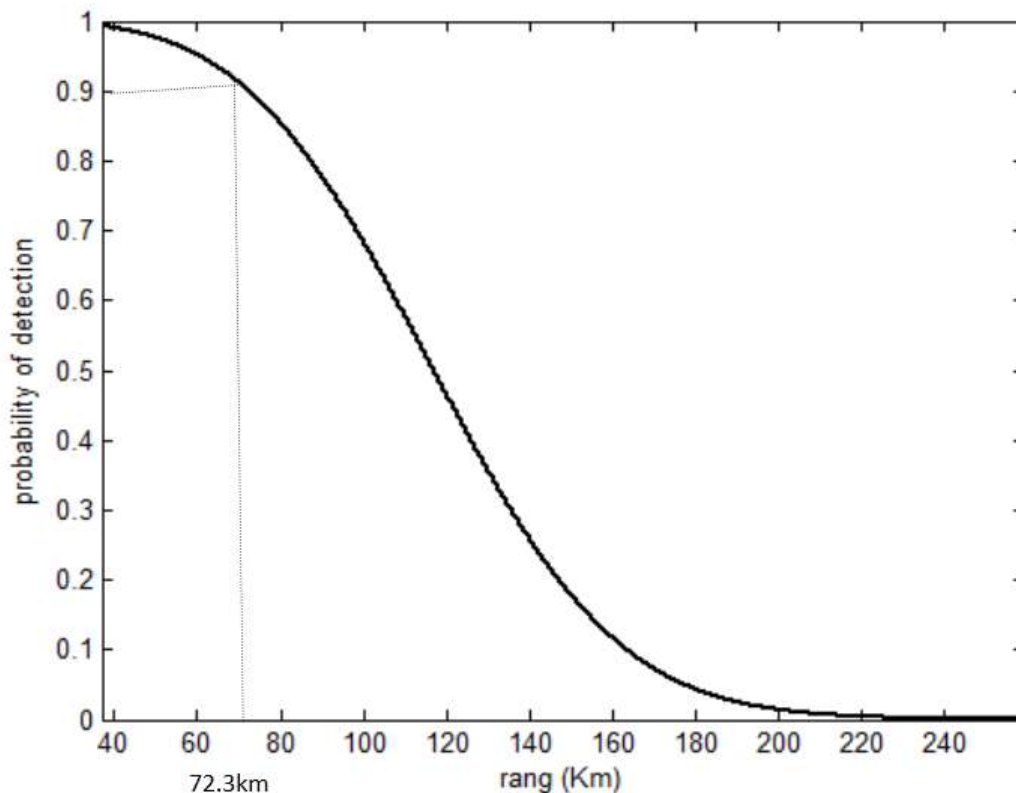
وهكذا وجدنا أن مجال الكشف الأعظمي للرادار ASR-9 ضمن الشروط النظامية(الطبيعية)

(من أجل الحالة 1 نموذج RCS حيث $P_D = 0.9$ و $P_{FA} = 10^{-6}$) له القيمة $39.05 \text{ NM} = 72.3 \text{ km}$.

$$R_{max}^4 = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma_n E_i(n) PCR}{(4\pi)^3 \left(\frac{\log P_{FA}}{\log P_D} - 1\right) k T B F L} \quad (9)$$

- نلاحظ من المعادلة السابقة أننا نحصل على قيمة ال R_{max} من أجل كل قيمة ل P_D . باستخدام المعادلة

السابقة نقوم برسم تغيرات احتمال الكشف P_D بدلالة مدى الكشف، فيكون لدينا الشكل (2). تم استخدام بارامترات الرادار ASR-9 المعرفة مسبقا واستخدام P_D كمتغير. يمكننا الملاحظة من الشكل(2) كما هو متوقع - أنه ينقص مدى كشف الرادار مع زيادة احتمال الكشف P_D .



الشكل (2) احتمال الكشف للرادار ASR-9 بدلالة مدى الهدف بدون تشويش.

يظهر الشكل (2) المدى الأعظمي $39.05 NM = 72.32 Km$ المقابل لاحتمال الكشف 0.9 بدون تشويش. تقييم أداء الرادار بوجود تشويش الحزمة الرئيسية :

مدى الكشف الأعظمي بوجود التشويش السدي الحاجب :

لحساب مدى كشف الرادار بوجود التشويش لابد أولاً من حساب النسبة J/N .

$$[4] \quad \frac{J}{N} = \frac{P_j G_r \lambda^2}{(4\pi R_j)^2 L_j} \frac{1}{kT_0 B_r F} \left(\frac{B_r}{B_j} \right) \dots \dots \dots (10)$$

بأخذ لوغاريتم الطرفين للمعادلة السابقة نحصل على التالي:

$$(J/N)_{dB} = (ERP_j)_{dBW} + (G_r)_{dB} + 2(\lambda)_{dBm} - 2(R_j)_{dBm} + (B_r)_{Hz} - (B_j)_{Hz} - (L_j)_{dB} - (B_r)_{dB} - F + 181.993$$

وبتعويض قيم بارامترات كل من الرادار والمشوش يكون لدينا:

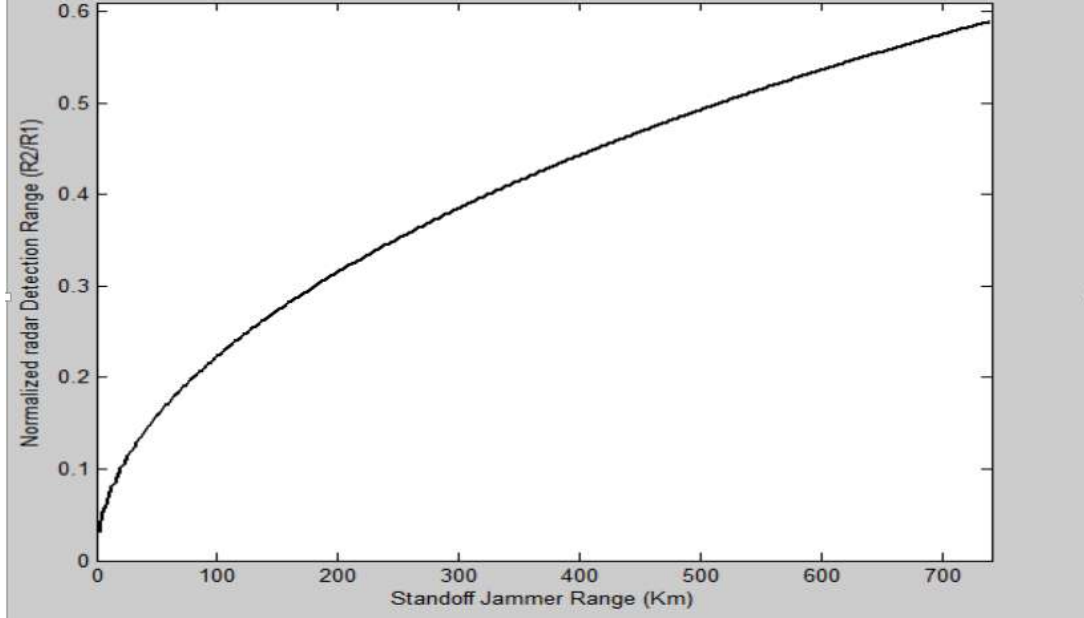
$$(J/N)_{dB} = 20 + 33.5 + 2(-9.85) - 2(10 \log(1852 \times R_j)) - 84.77 - 5 + 181.993 = 126.02 - 20 \log(1852 \times R_j) \dots \dots \dots$$

يعطى الفقد (Loss) بنسبة الإشارة للضجيج SNR بالعلاقة التالية [1]:

$$L_j = 1 + \frac{J}{N} = 1 + 10^{\left(\frac{(J/N)_{dB}}{10} \right)}$$

يعطى المدى R_2 بوجود التشويش بالعلاقة: (11) $R_2 = \left(\frac{1}{L_j} \right)^{\frac{1}{4}} R_1 \dots \dots \dots$ ، حيث أن:

R_1 : مجال الكشف الأعظمي للرادار بغياب التشويش. R_2 : مجال الكشف الأعظمي بوجود التشويش.
يبين الشكل (3) مدى الكشف الطبيعي للرادار (R_2/R_1) بدلالة مدى SOJ (R_J) في حالة تشويش اللوب الرئيسي الحاجب- السدي.



الشكل (3) مدى الكشف الطبيعي للرادار (R_2/R_1) بدلالة مدى SOJ (R_J) في حالة تشويش اللوب الرئيسي الحاجب- السدي.

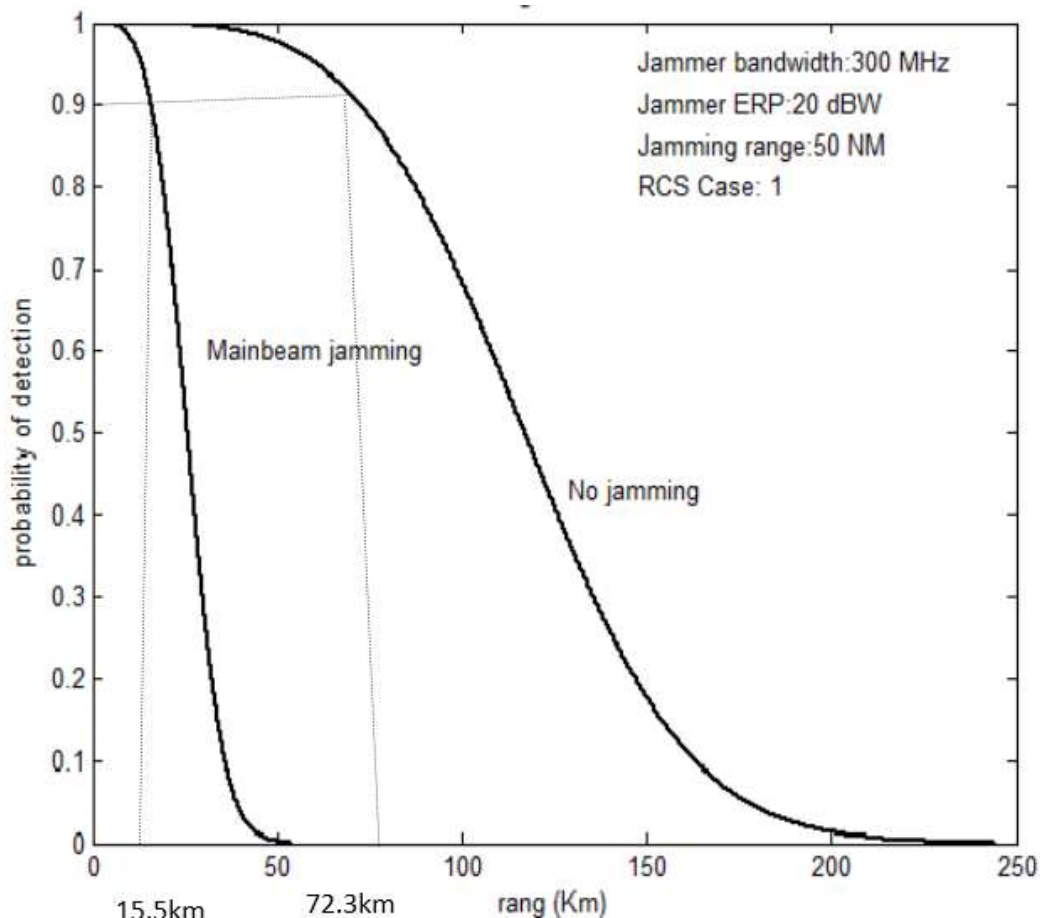
بالاعتماد على المعادلات (11)، قمنا برسم مدى الكشف الطبيعي للرادار (R_2/R_1) كتابع لتغيرات مدى مشوش SOJ (R_J).

يظهر الشكل (4) نسبة مدى الكشف الطبيعي للرادار بقيمة 0,22 وذلك عند القيمة $50 = 92.6km$ NM لمدى الرادار إلى المشوش. وهكذا فإن نسبة مدى كشف الرادار الطبيعي تخفّض بمقدار 78% في الحالة الخاصة .

حيث $P_D = 0.9$ و $R_J = 50 NM = 92,6km$ فإن مجال الكشف R_2 بوجود التشويش يوجد كما

$$R_2 = 0.22 \times R_1 = 8.40 NM: \text{يلي}$$

$$= 15.5km : R_1 = 39.05 NM = 72km$$



الشكل (4) احتمال الكشف بدلالة بعد الهدف عن الرادار ASR-9 بوجود تشويش الحزمة الرئيسية السدي

لتحديد مدى الكشف بوجود التشويش وجميع قيم احتمال الكشف P_D ومن أجل مدى بين المشوش والرادار مقدرا بـ 92.6 km 50 NM ، يمكننا استخدام المعادلة التالية:

$$R_2 = 0.22 \times \left(\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma_n E_i(n) PCR}{(4\pi)^3 \left(\frac{\log P_{FA}}{\log P_D} - 1 \right) k T B F L} \right)^{\frac{1}{4}} \dots \dots \dots (12)$$

ومن أجل البارامترات المفروضة قمنا برسم النتائج في الشكل (4).

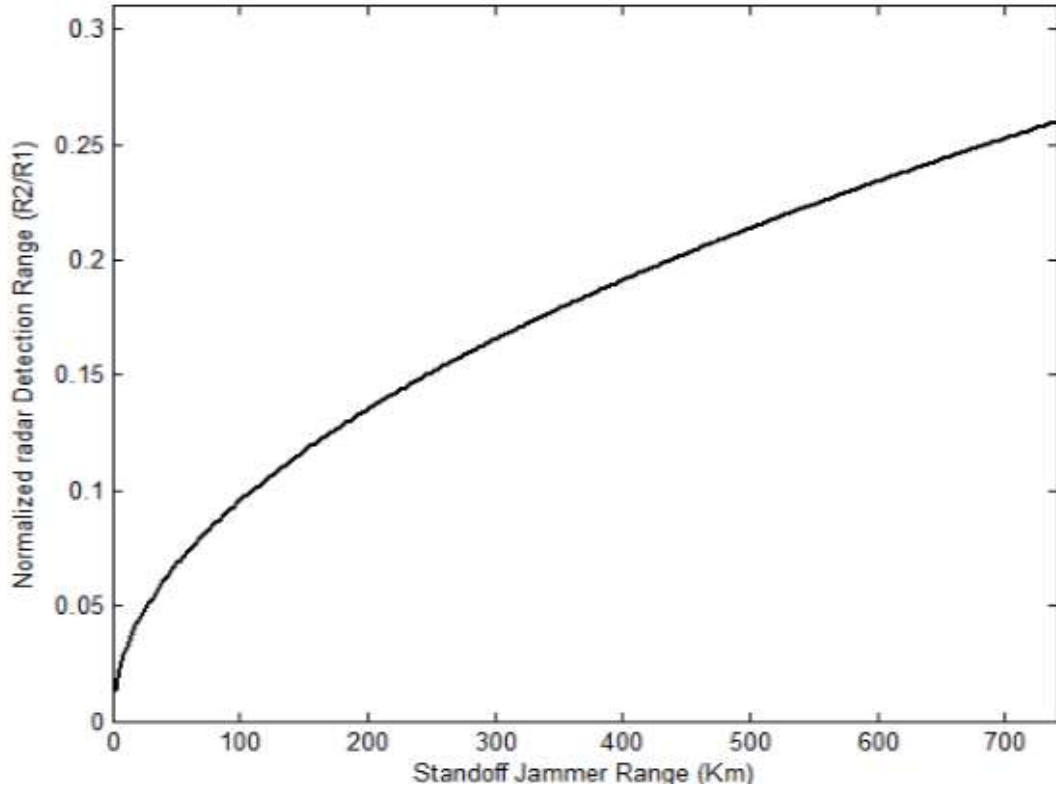
مدى الكشف الأعظمي بوجود التشويش المحكم المسدد :

تملك بارامترات المشوش ذو الضجيج النقطي القيم التالية:

عرض الحزمة: **bandwidth = 10 MHz**

الطاقة الفعالة المطلوبة للمشوش: **ERP = 20 dBW**

مدى التشويش : **50 NM = 92.6 km**



الشكل (5) نسبة مدى الكشف للرادار (R_2/R_1) بدلالة مدى مشوش SOJ (R_J) في حالة التشويش المحكم للحزمة الرئيسية.

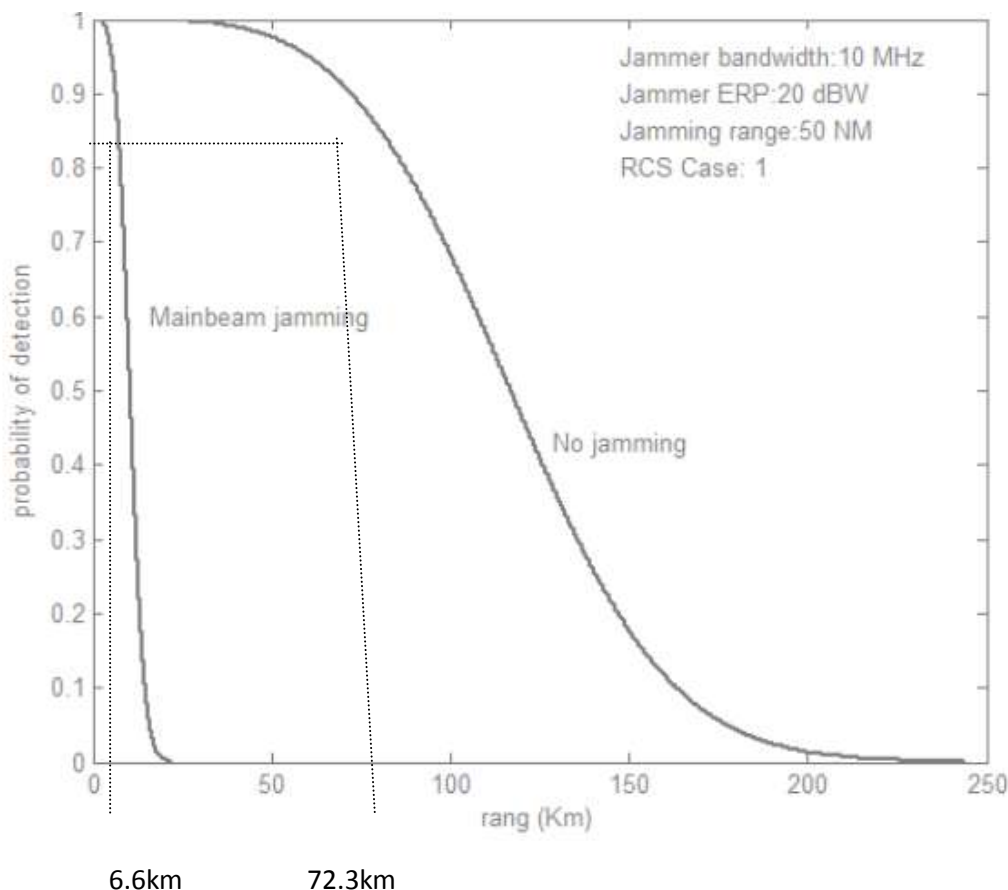
من أجل الحالة التي يكون فيها $P_D = 0.9$ ، $P_{FA} = 10^{-6}$ ، $R_J = 50 \text{ NM} = 92.6 \text{ km}$ ، يحسب مدى الكشف R_2 بوجود التشويش كما يلي:

$$R_2 = 0.09 \times R_1 = 3.59 \text{ NM} = 6.6 \text{ Km}$$

لتحديد مدى الكشف بوجود التشويش من أجل كل قيم P_D ، نستخدم المعادلة التالية:

$$R_2 = 0.09 \times \left(\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma n E_i(n) PCR}{(4\pi)^3 \left(\frac{\log P_{FA}}{\log P_D} - 1 \right) k T B F L} \right)^{\frac{1}{4}} \dots \dots \dots (13)$$

برسم النتائج نحصل على الشكل (6)



يبين الشكل (6) احتمال كشف الرادار (ASR-9) بدلالة بعد الهدف عنه بوجود التشويش السدي المحكم.

بعض الحلول التقنية المقترحة لتحسين أداء الرادار (ASR-9) :

تتضمن بعض الرادارات محلاً للطيف والذي يؤمن نظرة متقدمة إلى بيئة التداخل. وهذا ما يسمح لتردد الرادار أن يولف على ذلك الجزء من البيئة الحاوية على أقل كثافة طيفية لاستطاعة التشويش. يمكن التغلب على هذا في حال كان التشويش الضجيجي يمتلك نمط (look-through) وأن يستطيع مواكبة التغيرات في تردد الرادار [4]. ما يدعى تغير التردد لتكفي (التلاؤمي).

التزود بتقنيات الوقاية الإلكترونية لتشويش الحزمة الرئيسية: إن هدف تقنيات الوقاية الإلكترونية (ECCM) كالفقز الترددي مثلا هو إجبار المشوش على العمل بنمط التشويش السدي .

الفقز الترددي (Frequency Agility) [4]:

الهدف من هذه التقنية هي نشر طاقة المشوش (على نطاق واسع وهكذا يتم تخفيف الكثافة الطيفية) ، والذي يؤدي إلى: زيادة المناعة ضد الضجيج بمقدار 20-30dB ، وتحسين نسبة الإشارة إلى الضجيج بمقدار 7dB ، ولا تؤثر الصواريخ المضادة للإشعاع ARM على رادارات الفقز الترددي من نبضة لأخرى، لأن حساساتها دائماً مثبتة التوليف ولها عتبة ضيقة، لذلك لا تستطيع ضمن فاصل زمني محدد اعتراض العدد الكافي من نبضات الرادار المرسله لضبط نفسه على هوائي الرادار، والضبط الذاتي يكون غير ناجح بسبب الفقز الترددي ضمن المجال الترددي.

-التزود بتقنية ضغط النبضة Pulse compression (pc) [10]: الذي يؤدي أيضا إلى تحسين أداء الرادار من خلال زيادة مدى الكشف دون زيادة استطاعة الذروة بواسطة زيادة (τ) عرض النبضة والحفاظ على دقة التمييز بالمدى عن طريق ضغط النبضة بالاستقبال ، والتخلص من مشاكل قدرة التمييز بالرادار التقليدي المتعلقة أيضا ببارامترات الشاشة و بقدره الإرسال ($E = P_p \cdot \tau$).
إن استخدام المرشح الموافق كعنصر أساسي في هذا الرادار والذي يعمل كجهاز ترابط يجعله منيعاً ضد التشويش الضجيجي .

تنوع التردد (Frequency Diversity) [6] :

هي الخاصية التي تشغل الرادارات ضمن مجموعة واسعة ومتنوعة مجبرة نظام (ECM) على تأمين تنوع مساوٍ لذلك المستخدم في الرادار . يستعمل تنوع التردد عدة مرسلات رادار متكاملة عند ترددات مختلفة، سواءً من رادار واحد أو عدة رادارات. يمكن أن يشغل الرادار بالأسلوب المتكامل مستخدماً كافة المصادر إلى المدى الأقصى. يحد التنوع عادة بالاعتبارات العملية بعدد محدود (منتهى) من الترددات (خمسة إلى خمسة وعشرين) [8] مثال على ذلك رادار مراقبة ثنائي البعد (2-D) مدمج مع رادار لإيجاد الارتفاع عند تردد مختلف، أو عدد من الرادارات المتفرقة مكانياً والمرتبطة كشبكة عند ترددات مختلفة. مما يجبر العدو على توزيع استطاعة تشويشه على عصابة عريضة من الترددات (يؤدي إلى انخفاض فعالية التشويش) أو استخدام العديد من المشوشات والذي بدوره يؤدي إلى كلفة عالية.

معالج CFAR (Constant False Alarm Rate) [10]:

يُطبق معالج CFAR في المستقبلات ذات المعالجة الرقمية للإشارة عند أي نقطة من مجال العينة باستقلالية فيما لو كان الهدف موجوداً، وتجعل نسبة المعالجة العالية هذه الحواسيب المخصصة لهذه التقنية أكثر اقتصادية من أنواع الحواسيب العامة للمنظومة والقابلة للبرمجة. ويُستخدم معالج CFAR لمنع تداخل الضوضاء والضجيج من إشباع المبين في رادار عادي ومنع الأهداف من التخفي، لكنه يحافظ على معدل ثابت للإنذار الكاذب ولكن على حساب احتمال الكشف. ولا يعطي معالج CFAR مناعة ضد التشويش، لكنه يجعل عملية وجود التشويش أكثر ملائمة بواسطة إنقاص أثر الحساسية بشكل آلي في المستقبل، وإذا كان التشويش قوياً إلى حد كاف فإن معالج CFAR يعطي ردة فعل قوية تتمثل بإغلاق اللاقط.

الاستقبال اللوغاريتمي (Logarithmic Reception) [6] :

تُستخدم هذه التقنية في رادارات الكشف النبضية ورادارات الملاحقة وحيدة النبضة. حيث يتم عن طريق هذه التقنية زيادة المجال الديناميكي للمستقبل حتى $100-120$ dB.

أنظمة AGC (Automatic Gain Control) ذات التغذية العكسية:

تُستخدم هذه الأنظمة لحماية مضخمات IF (Intermediate Frequency) من الوصول إلى الإشباع.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

تم استخدام الرادار المدني (ASR-9) كرادار ضحية، وقد تم تحديد ما يلي :
أولاً : تم تحديد احتمال الكشف P_D كتابع لتغيرات مدى الهدف بدون تشويش .

- ثانيا : تم تحديد علاقة P_D بدلالة مدى الهدف وذلك بوجود تشويش (SOJ) .
- ثالثا: تم الأخذ بعين الاعتبار تشويش الوريقة الرئيسية فقط.
- رابعا: تم تحديد انخفاض الأداء نتيجة للتشويش السدي والتشويش المحكم المسدد. وقد وجدنا من خلال دراسة تأثير التشويش SOJ على الرادار ASR-9 ما يلي :
- انخفاض أداء رادارات المراقبة نتيجة لتعرضها لتشويش (SOJ). من خلال تغيير مخطط الكشف الذي بدوره أدى إلى انخفاض مدى الكشف الأعظمي بشكل كبير وبالنسب التالية:
- 1- يخفض التشويش السدي- كما أوضحنا - عبر الوريقة الرئيسية لهوائي الرادار من مدى الكشف الأعظمي الطبيعي بمقدار 79% حيث ينخفض مدى الكشف من 72.3 كم الى 15.5 كم.
 - 2- يخفض التشويش المحكم المسدد عبر الوريقة الرئيسية لهوائي الرادار من مدى الكشف الأعظمي الطبيعي بمقدار 91%. حيث ينخفض مدى الكشف من 72.3 كم الى 6.6 كم.
 - 3- تبين أن التشويش المحكم عبر الحزمة الرئيسية ذو فعالية كبيرة وخطورة بالغة من منظور الدفاع .
 - 4- بناءً على ما تقدم من الضروري جدا استخدام التقنيات الحديثة لزيادة مناعة الرادار ضد التشويش.
- يبين الجدول التالي نسب انخفاض أداء الرادار تحت تأثير التشويش وبعض التقنيات التي تحسن من أدائه

نوع تشويش (SOJ)	مدى المشوش	مدى كشف الرادار بدون تشويش	مدى الكشف تحت تأثير التشويش	نسبة الانخفاض بمدى الكشف	بعض تقنيات الوقاية الإلكترونية
تشويش حزمة رئيسية سدي	50 NM (92.6 كم)	72.3 كم	15.5 كم	79%	تنوع التردد - التردد لتكفي (التلاؤمي) تقنية ضغط النبضة- أنظمة AGC - الاستقبال اللوغاريتمي
تشويش حزمة رئيسية محكم مسدد	50 NM (92.6 كم)	72.3 كم	6.6 كم	91%	يضاف الى تقنيات الوقاية الإلكترونية المستخدمة للحماية من التشويش السدي القفز الترددي

التوصيات:

- تم في هذا العمل دراسة تأثير التشويش الإيجابي الضجيجي على الوريقة الرئيسية للرادار المدني (ASR-9) ، ولم يتم التطرق إلى دراسة مدى تأثير هذا النوع من التشويش على الوريقات الجانبية ، ولم يتم التطرق أيضا إلى دراسة مدى تأثير التشويش السلبي عليه. وبما أن التشويش على الوريقات الجانبية والتشويش السلبي هما طريقتان من الطرق التي يمكن أن يتبعها العدو في التأثير على المنظومات الرادارية. لذا يُقترح متابعة العمل في دراسة تأثير التشويش الإيجابي الضجيجي على الوريقات الجانبية و دراسة تأثير التشويش السلبي على الرادار وتقييم فعاليتها

عند التعرض لهذا النوع من التشويش. يقترح تعميم نتائج البحث وإظهار أهميته من أجل تعميق الأسس والقواعد المنهجية والعلمية مدنيا وعسكريا.

المراجع

1. SKOLNIK,M.I, *Introduction to Radar Systems*, McGraw - Hill Pulishing Company, 2009, 581.
2. LOTHES,R.N., *Radar Vulnerability to Jamming*, Artech House 2005,449.
- 3.CHRZANOWSKI,E.J., *Active Radar Electronic Countermeasures* Artech House,2006,498.
4. SCHLEHER D.C, *Introduction to Electronic Warfare*, Artech House Inc, 2009,543.
- 5.JAN,S INFORMATION GROUP, *Jane's airport equipment*. 2009,501.
6. МАКСИМОВ М.В. *Защита от радиопомех*, Москва 2003.780.
- 7.FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, *NEWARK AIRPRT SURVEILANCE RADA (ASR-9)FACILITY*,2013,162.
- 8.SKOLNIK,M.I, *Radar Handbook 3rd ed*. New York:McGraw-Hill,2008,627.
9. KNOTT.E.F, *Radar Cross Section*, Artech House Inc, 2009 .189.
- 10.LOTHES,R.N ,*Radar Vulnerability to Jamming*. Artech House 2009.478.
- 11.BASSEM R.MAHAVZA *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB@ Third Edition*,2013.638.