

تحليل حساسية الكشف في مضخم أولي ضوئي*

م. محمد الشريدة**

د. ظافر موسى****

د. عبد الزراق البدوية***

الملخص

هدف هذا البحث إلى دراسة تحليل حساسية الكشف في مضخم أولي يستخدم كمرحلة أولى في المستقبلات الضوئية. بسبب أهمية هذا الموضوع في مقاييس المسافة الليزرية وفُضِّلَتِ المعاملات المؤثرة في قياس المسافة باستخدام تقنية قياس المسافة بقياس زمن الطيران. ثم أنجز تحليل الضجيج في المضخمات الأولية وحُسِبَت نسبة الإشارة إلى الضجيج من أجل كشف إشارة بعرض نبضة 30ns بإدخال المعاملات على برنامج مكتوب باستخدام matlab. طبقت نتائج الدراسة على عدة أنواع مضخمات أولية لتحديد أقل استطاعة ضوئية تُكشَفُ. وأخيراً أُجريت مقارنة لكشف إشارة بعرض نبضة 10ns و 100ns لتحديد المضخم المناسب.

الكلمات المفتاحية: نسبة الإشارة إلى الضجيج، استطاعة الضجيج المكافئة، المضخمات الأولية، الاستجابة الترددية.

* أعد البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندس محمد الشريدة بإشراف الدكتور عبدالرزاق البدوية ومشاركة الدكتور ظافر موسى.

** قسم الالكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

*** أستاذ في قسم الالكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

**** باحث رئيسي - المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا

I- مقدمة:

I_{DB} : تيار الإظلام الحجمي (يخضع للربح الانهياري) [A]
 P_0 : التدفق الكلي الوارد على الكاشف [W]
 P_s : الاستطاعة الضوئية الليزرية الواردة على الكاشف [W]
 P_B : استطاعة إنارة الخلفية الواردة على الكاشف (عن طريق الإشعاع الشمسي) [W]
 R_0 : حساسية الربح الواحدي [A/W]
 M : ربح الكاشف الانهياري
 F : عامل زيادة الضجيج

الغاية من هذا البحث تطوير دارة مضخم أولي لكشف نبضات ليزر بحساسية عالية لتطبيقات قياس المسافة. تستخدم في هذا التطبيق نبضات ليزر بعرض ≈ 30 nsec ، لهذا يكون عرض المجال المطلوب بحدود 20MHz . الأهداف الرئيسية هي تخفيض الضجيج إلى الحد الأدنى في المضخم الأولي لزيادة مدى القياس إلى الحد الأعلى.

II- تحليل الضجيج وحساب نسبة الإشارة إلى

الضجيج:

BW_N : عرض مجال الضجيج المكافئ [Hz]
 يكون التيار I_{DS} هو 3×10^{-8} A/mm من محيط الكاشف، و I_{DB} هو 1×10^{-10} A/mm² من سطح الكاشف.
 يعطى عامل زيادة الضجيج F بـ:

$$F = 0.98(2 - 1/M) + 0.02M \quad (3)$$

يحدد أداء النظام بالأخذ بالحسبان معدل الإنذار الكاذب false alarm rate ، واحتمال كشف نبضة وحيدة Probability of single pulse detection ، وخطأ المسافة range error ، بنسبة الإشارة إلى الضجيج.

تعطى استطاعة الإشارة الكهربائية i_s^2 بـ:

$$i_s^2 = (P_s R_0 M)^2 \quad [A^2] \quad (4)$$

تعطى استطاعة الضجيج الكهربائي i_n^2 متضمنة ضجيج الإطلاق فضلاً عن ضجيج المضخم :

$$i_n^2 = \{2q[I_{DS} + (I_{DB} + P_0 R_0)M^2 F] + i_{NA}^2\} BW_N \quad (5)$$

$$BW_N = \frac{p}{2} \frac{0.35}{t_r} \quad (6)$$

إذ الكثافة الطيفية للقيمة المنتجة لتيار الضجيج عند دخل المضخم $[A/\sqrt{Hz}]$ و t_r زمن صعود النبضة.

تعطى نسبة الإشارة إلى الضجيج [2]:

$$SNR = \frac{i_s^2}{i_n^2} = \frac{(P_s R_0 M)^2}{\{2q[I_{DS} + (I_{DB} + P_0 R_0)M^2 F] + i_{NA}^2\} BW_N} \quad (7)$$

سوف نتناول في هذا الجزء تحليل أداء مقياس مسافة ليزري يستخدم ليزر نصف ناقل بطول موجه 904nm كمرسل بمدى أعظمي 1000 m.

المصادر الرئيسية للضجيج [2] [1] هي : ضجيج الإطلاق Shot noise الناشئ عن الخلفية الشمسية solar background والنبضة الضوئية المنعكسة عن الهدف، وتيار الإظلام للكاشف detector dark current ، والضجيج الزائد Excess noise . إن الكاشف الضوئي الانهياري avalanche photodiode (APD) أفضل من الكاشف الضوئي من النوع PIN، علماً أن الكواشف APD أكثر ضجيجاً من الكواشف من النوع PIN بسبب الربح الداخلي نفسه.

يعطى متوسط مربع تيار الضجيج للكاشف:

$$i_n^2 = 2q[I_{DS} + (I_{DB} + P_0 R_0)M^2 F] BW_N \quad (1)$$

$$P_o = P_s + P_B \quad (2)$$

إذ:

q : شحنة الإلكترون [C]

I_{DS} : تيار الإظلام السطحي (لا يخضع للربح الانهياري) [A]

إن بوابة المدى الزمنية (RG) لهذا القانس هي بين 50-1000m مع حدود مقبولة لـ PFA (probability of false alarm) و $P_d=0.99$.
تحتسب بوابة المدى كما يأتي:

$$RG = \frac{2(R_{\max} - R_{\min})}{C} = \frac{2(1000 - 50)}{3 \times 10^8} = 6.4 \text{ms}$$

إذ C سرعة الضوء.

يعطى معدل الإنذار الكاذب المسموح به [4]:

$$FAR = \frac{PFA}{RG} = \frac{0.001}{6.4 \times 10^{-6}} = \frac{1000}{6.4} = 150 \text{Hz}$$

أي 150 إنذاراً كاذباً في الثانية.

إذا كان عرض نبضة الليزر بين 10-30ns

(ليكن 30ns مثلاً) فإن:

$$t \times FAR = 30 \times 10^{-9} \times 300 = 9 \times 10^{-6}$$

يعطى احتمال كشف نبضة مفردة [5] يعطى بالمعادلة:

$$P_d = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(\frac{SNR - TNR}{\sqrt{2}} \right) \quad (10)$$

إذ: P_d احتمال الكشف.

SNR: نسبة الإشارة إلى الضجيج.

TNR: نسبة عتبة الكشف للضجيج.

$\operatorname{erf}(x)$: تابع الخطأ

$$SNR = TNR + \sqrt{2} \operatorname{erf}^{-1}(2P_d - 1) \quad (11)$$

نسبة عتبة الكشف للضجيج بالمعادلة الآتية:

$$TNR = \sqrt{(-2 \ln(2\sqrt{3t} * FAR))} \quad (12)$$

بالتعويض في المعادلة (12) نجد:

$$TNR = 4.56$$

بالتعويض في المعادلة (11) نجد نسبة الإشارة إلى

الضجيج:

$$SNR = \frac{i_s}{i_n} = 6.5$$

إن قيمة تيار الضجيج تتحدد بعدة عوامل منها ضجيج الكاشف وضجيج المضخم الأولي [7] الذي له أهمية

لحساب نسبة الإشارة إلى الضجيج لأي مضخم أولي ضوئي في مقاييس المسافة يجب الأخذ بالحسبان بارامترات المعادلة السابقة كلها:

(1) حساب P_0 : من المعادلة (1)

P_s : استطاعة الإشارة العظمى الواردة على الكاشف وتعطى بما يأتي:

$$P_s = \frac{P_T r_T \cos q_s p D_R^2 T_R T_F \exp(-2SR)}{4R^2} [W] \quad (8)$$

إذ:

P_T : الاستطاعة الكلية المرسل [w].

r_T : عاكسية الهدف نصف الكروية .

$\cos q_s$: هي الزاوية بين الناظم على سطح الهدف

والخط الذي يربط الهدف مع مركز المستقبل.

D_R : قطر فتحة المستقبل [m].

T_R : نفوذية بصريات المستقبل.

T_F : نفوذية المرشح التداخلي للمستقبل.

S : معامل تخميد الغلاف الجوي (m^{-1})

R : المسافة (m).

(2) استطاعة الخلفية:

$$P_B = \frac{p E_1 r_B b_R \Delta_1 T_R \exp(-SR)}{16} [W] \quad (9)$$

E_1 : الإشعاع الطيفي الشمسي $W.m^{-2}.mm^{-1}$

r_B : عاكسية الخلفية نصف الكروية.

b_R : حقل رؤية المستقبل [rad].

Δ_1 : عرض المجال الطيفي لمرشح المستقبل [mm]

III - حساب أدنى (أقل) نسبة إشارة إلى الضجيج

المطلوبة [3]:

تتطلب وسيلة حساب أدنى نسبة إشارة إلى الضجيج تأمين معدل إنذار كاذب (FAR) معطى واحتمال كشف (P_d) Probability of detection.

$$i_{eq} = \sqrt{i_n^2 + \left(\frac{4kT}{R_F}\right)^2 + \frac{(e_n 2pC_i f)^2}{3}} \quad (13)$$

إذ:

k: ثابت بولتزمان = $1.38e-23 \text{ W.S/K}$ و T: درجة الحرارة بالكلفن

C_i : المكثفة الكلية على مدخل المضخم، وهي عبارة عن مجموع مكثفات الدخل التفاضلي، ومكثفة النمط المشترك للمضخم، ومكثفة الكاشف الضوئي:

$$C_i = 2 + 1.7 + 2 = 5.7 \text{ pF}$$

للحصول على استجابة ترددية بتر وورث مسطحة من الدرجة الثانية، يعين قطب التغذية الخلفية كما يأتي:

$$\frac{1}{2pR_F C_F} = \sqrt{\frac{GBP}{4pR_F C_i}} \quad (14)$$

إذ: GBP هي جداء الربح بعرض المجال للمضخم (Gain Bandwidth Product).

$$f_{-3dB} = \sqrt{\frac{GBP}{2pR_F C_i}} \quad (15)$$

يحدد عرض مجال المضخم الأولي لتضخيم نبضة الليزر المستقبلية دون تشويهها، وذلك من خلال تطبيق المعادلة الآتية:

$$f_{-3dB} = \frac{0.35}{t_r} \quad (16)$$

إذ t_r زمن صعود النبضة.

حسبت R_F من المعادلة (14) فنجد $R_F = 200 \text{ k}$ بعد ذلك يحسب تيار الضجيج المكافئ i_{eq} فنجد أنه يساوي $3.5166 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$. تدخل قيمة الضجيج المحسوبة ضمن برنامج محاكاة باستخدام MATLAB يقوم بحساب نسبة الإشارة إلى الضجيج. تُبَيَّنَت المسافة المطلوب قياسها $R_{max} = 1000 \text{ m}$ وبتغيير معامل التضخيم M للكاشف الانهياري C30902 نجد أن نسبة الإشارة

كبرى، لذلك سوف ندرس في الجزء التالي تقييم ضجيج المضخم الأولي لدارتين، وقد اخترنا هذه الدارات كونها تتميز بضجيج منخفض وسرعة استجابة عالية تتوافق مع المجال الترددي الذي نعمل وفقه.

VI - دراسة تطبيقات عملية لمضخمات أولية ضوئية يمكن استخدامها في مقاييس المسافة الليزرية:

دُرِسَتْ هذه التطبيقات بتطبيق القيم التالية في برنامج MATLAB لحساب نسبة الإشارة إلى الضجيج وذلك من أجل مضخمات أولية مختلفة. الإشعاع الطيفي الشمسي: $E_\lambda = 700 \text{ W.m}^2.\mu\text{m}^{-1}$ ، معامل تخميد الغلاف الجوي: $\sigma = 0.12/\text{km}$ (من أجل طول موجة الليزر وشروط الرؤية النهارية الواضحة)، عاكسية الهدف $\rho_i = 0.15$ (في أسوأ الشروط)، عاكسية الخلفية $\rho_B = 0.6$.

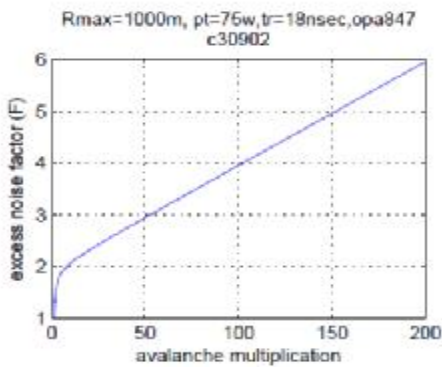
- المرسل: الاستطاعة العظمى $P_i = 75 \text{ W}$ ، زمن صعود نبضة الليزر $t_r = 18 \text{ ns}$ ، عرض نبضة الليزر $t = 30 \text{ ns}$ ، نفوذية بصريات المرسل $T_r = 0.9$.

- المستقبل: قطر فتحة المستقبل $D_R = 0.04 \text{ m}$ ، نفوذية بصريات المستقبل $T_R = 0.9$ ، حقل رؤية المستقبل $\beta = 3 \text{ mrad}$ ، عرض المجال الطيفي لمرشح المستقبل $\Delta_\lambda = 0.01 \mu\text{m}$.

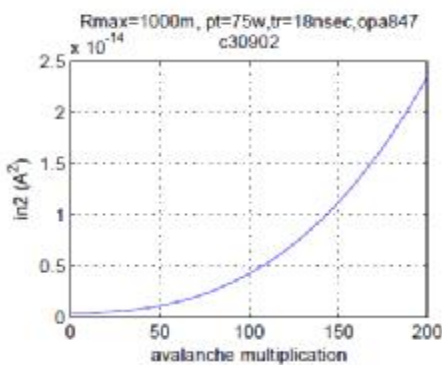
- الكاشف المستخدم: C30902 كاشف ضوئي انهياري [6]، استجابة الربح الواحد عند $M = 1$ هي $R_0 = 0.6$.

1- استخدام OPA847 كمضخم أولي [8]: المضخم OPA847 هو مضخم منخفض الضجيج بمدخل BJT. 3.9 GHz , low noise, BJT-input operational amplifier

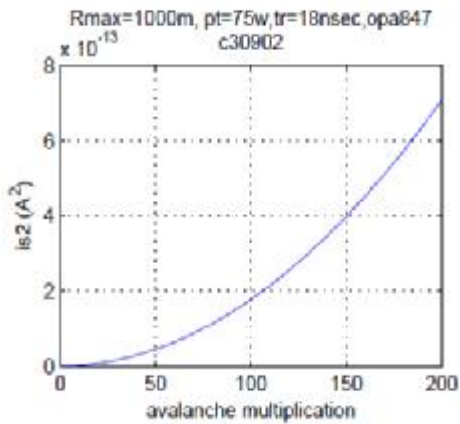
أدخلت مواصفات المضخم الأولي التالية في البرنامج: جهد ضجيج دخل منخفض $e_n = 0.85 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ، وتيار ضجيج دخل $i_n = 3.7 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$ ، جداء الربح - عرض المجال 2800 MHz ، مكثفة الدخل التفاضلي: 2 pF ومكثفة دخل النمط المشترك: 1.7 pF . يحسب تيار ضجيج الدخل المكافئ للمضخم حسب المعادلة الآتية:



(a)



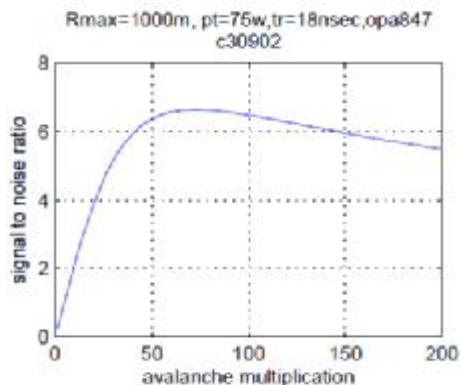
(b)



(c)

إلى الضجيج تزداد مع ازدياد M إلى أن تصل إلى قيمة تبدأ بعدها نسبة الإشارة إلى الضجيج بالانخفاض الشكل (a-1). في حالتنا هذه نجد أن أفضل نسبة إشارة إلى الضجيج تكون بحدود 6.6 عند $M=70$. إن قيمة الاستطاعة المكافئة للضجيج Noise Equivalent Power (NEP) هي 1.18nW ، من ثم فإن أقل استطاعة يمكن كشفها هي جداء نسبة الإشارة إلى الضجيج المطلوبة و NEP أي 7.7nW في هذه الحالة. كما يظهر الشكل (b-1) تغير تضخيم الكاشف M مع معامل زيادة الضجيج، أمّا الشكل (c-1) فيظهر تغير قيمة استطاعة الضجيج i_n^2 كتابع لتغير تضخيم الكاشف، ويظهر الشكل (d-1) تغير قيمة استطاعة الإشارة كتابع لتغير ربح الكاشف أيضاً.

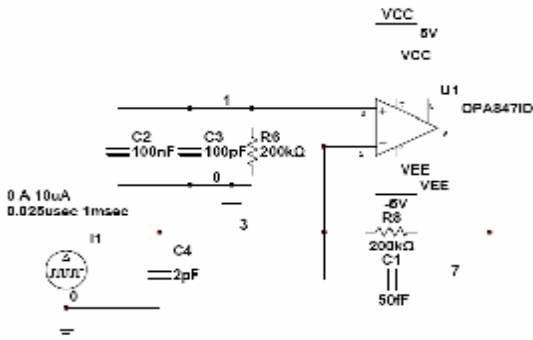
ثم أُعيدت الخطوات السابقة نفسها وذلك بتثبيت قيمة تضخيم المقابلة لأفضل نسبة إشارة إلى الضجيج الكاشف $M=70$. فيظهر الشكل (a-2) تغير نسبة الإشارة إلى الضجيج كتابع لتغير المسافة، يظهر الشكل (b-2) تغير استطاعة الإشارة كتابع للمسافة، ويظهر الشكل (c-2) تغير استطاعة الضجيج كتابع لتغير المسافة، ويظهر الشكل (d-2) تغير تخامد الغلاف الجوي كتابع للمسافة أيضاً.



(d)

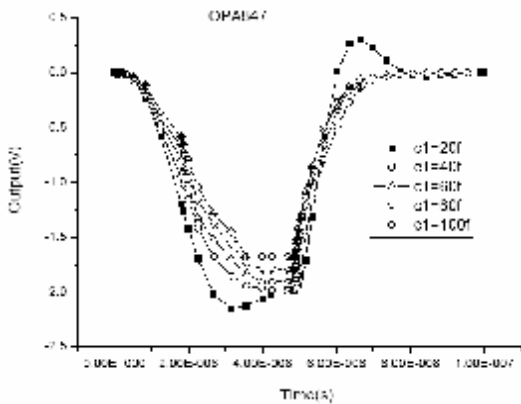
- الشكل (1): a: نسبة الإشارة إلى الضجيج كتابع لعامل تضخيم الكاشف الانهياري - b: معامل زيادة الضجيج كتابع لعامل التضخيم - c: استطاعة الضجيج كتابع لعامل التضخيم - d: استطاعة الإشارة كتابع لعامل التضخيم

طُبِّقَتْ دارة عملية للمضخم OPA847 كما في الشكل (3) بوضع قيمة مقاومة التغذية الخلفية الأمثلية السابقة، كذلك تم تمثيل الكاشف الضوئي بمنبع تيار I1 ومكثف على التوازي C4 وحُدِّفَت المقاومة التفرعية بسبب قيمتها العالية جداً. أمّا مكثفة التغذية الخلفية C1 فضُبِّطَتْ للتحكم بالاستجابة الترددية المطلوبة والحصول على استجابة بترورث الترددية المسطحة من الدرجة الثانية.

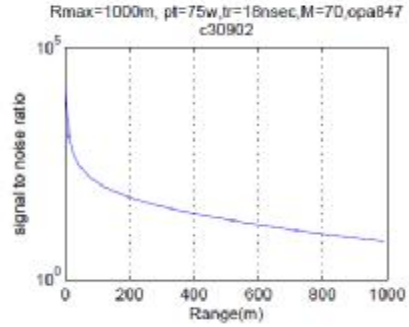


الشكل (3): دارة المضخم الأولي

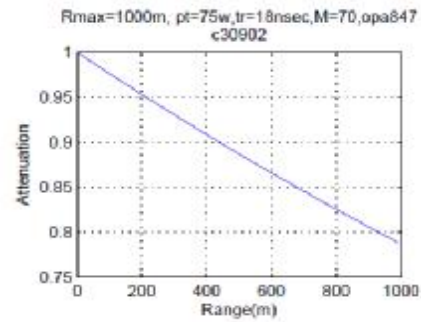
أجريت المحاكاة للدارة السابقة باستخدام برنامج Multisim وذلك للحصول على الاستجابة العابرة للمضخم الشكل (4) بتغيير قيمة المكثفة C1 للحصول على الاستجابة المناسبة وعدم الحصول على peaking عندما تكون قيمة $C1 < 20fF$ يتطابق ذلك مع الاستجابة الترددية الشكل (5) والشكل (6).



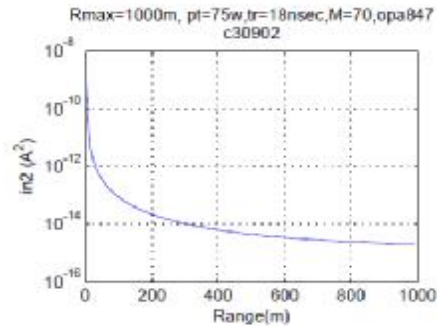
الشكل (4): الاستجابة العابرة للمضخم



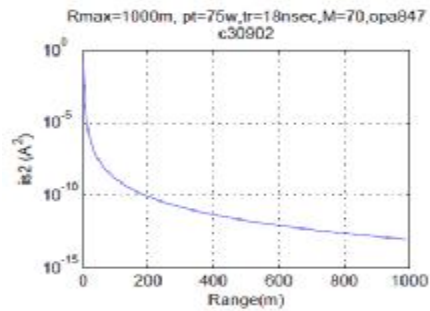
(a)



(b)



(c)



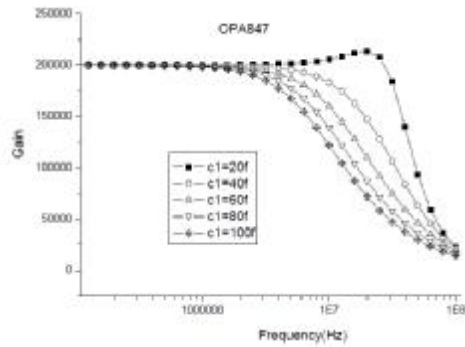
(d)

الشكل (2): نسبة الإشارة إلى الضجيج كتابع للمسافة
 a- معامل زيادة الضجيج كتابع للمسافة -c: استطاعة الضجيج كتابع للمسافة -d: استطاعة الإشارة كتابع للمسافة

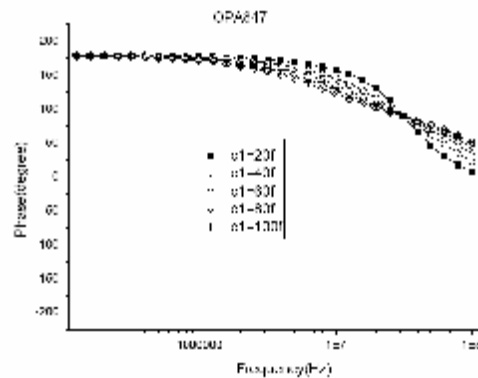
الإشارة إلى الضجيج. تُثبَّت المسافة المطلوب قياسها $R_{max}=1000m$ ويتغير معامل التضخيم M للكاشف الانهباري C30902 يظهر الشكل (7-a) أن نسبة الإشارة إلى الضجيج تزداد مع ازدياد M إلى أن تصل إلى قيمة تبدأ بعدها نسبة الإشارة إلى الضجيج بالانخفاض. في حالتنا هذه نجد أن أفضل نسبة إشارة إلى الضجيج تكون بحدود 7 عند $M=60$. إن قيمة الاستطاعة المكافئة للضجيج (NEP) Noise Equivalent Power هي $1.15nW$ ومن ثمَّ فإنَّ أقل استطاعة يمكن كشفها هي $7.5nW$ أي NEP و الضجيج و NEP جداء نسبة الإشارة إلى الضجيج و الشكل (7-b) تغيّر تضخيم الكاشف M مع معامل زيادة الضجيج، أمّا الشكل (7-c) فيظهر تغيّر قيمة استطاعة الضجيج i_n^2 كتابع لتغيّر تضخيم الكاشف، ويظهر الشكل (7-d) تغيّر قيمة استطاعة الإشارة كتابع لتغيّر ربح الكاشف أيضاً.

ثم أعيدت الخطوات السابقة نفسها، وذلك بتثبيت قيمة التضخيم المقابلة لأفضل نسبة إشارة إلى الضجيج الكاشف $M=60$. فيظهر الشكل (8-a) تغيّر نسبة الإشارة إلى الضجيج كتابع لتغيّر المسافة، يظهر الشكل (8-b) تغيّر استطاعة الإشارة كتابع للمسافة، يظهر الشكل (8-c) تغيّر استطاعة الضجيج كتابع لتغيّر المسافة ويظهر الشكل (8-d) تغيّر تخامد الغلاف الجوي كتابع للمسافة أيضاً.

نلاحظ أنه مع أن الربح المفيد للكاشف الانهباري هو 60 فقط مقارنة مع 70 في المضخم السابق فإنَّ نسبة الإشارة إلى الضجيج أكبر، هذا يعود إلى أن ضجيج هذا المضخم أقل من المضخم السابق عند نفس المجال الترددي المدروس.



الشكل(5): منحنى الاستجابة الترددية

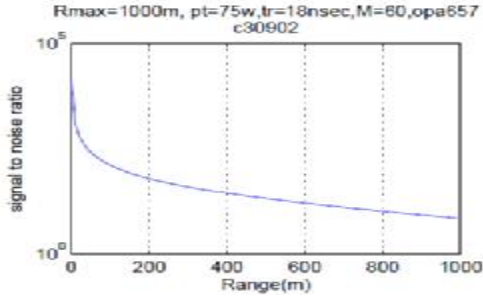


الشكل(6): تغيّر الطور بتغيّر قيمة المكثفة C1

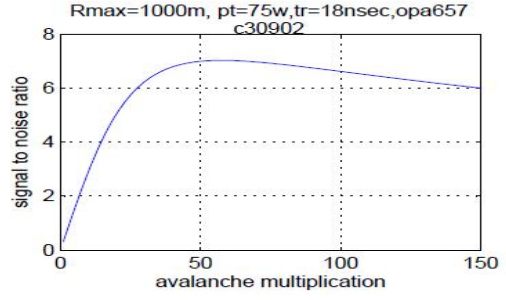
2- باستخدام OPA657 كمضخم أولي [9]: المضخم OPA657 هو مضخم عمليات منخفض الضجيج بمدخل FET. أدخلت مواصفات المضخم الأولى الآتية: جهد ضجيج دخل منخفض $e_n = 4.8nV/\sqrt{Hz}$ ، و تيار ضجيج دخل $i_n = 1.3fA/\sqrt{Hz}$ ، جداء الربح - عرض المجال $1600MHz$ ، مكثفة الدخل التفاضلي: $0.7pF$ ومكثفة دخل النمط المشترك: $4.7pF$ من أجل حساب تيار ضجيج الدخل المكافئ للمضخم حسب المعادلة الآتية:

$$i_{eq} = \sqrt{i_n^2 + \left(\frac{4kT}{R_F}\right)^2 + \left(\frac{e_n}{R_F}\right)^2 + \frac{(e_n 2\pi C_i f)^2}{3}} \quad (17)$$

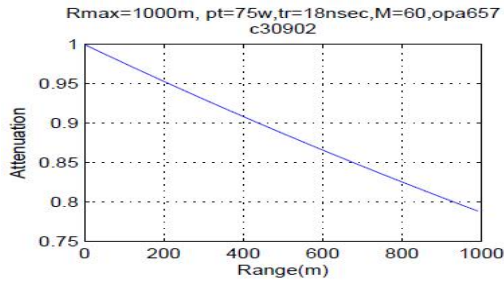
ثم يُحسَب R_F من المعادلة (14) فنجد $R_F=95k$ بعد ذلك بحسب تيار الضجيج المكافئ i_{eq} فنجد أنه يساوي $2.47 pA/\sqrt{Hz}$. تدخل قيمة الضجيج المحسوبة ضمن برنامج محاكاة باستخدام MATLAB يقوم بحساب نسبة



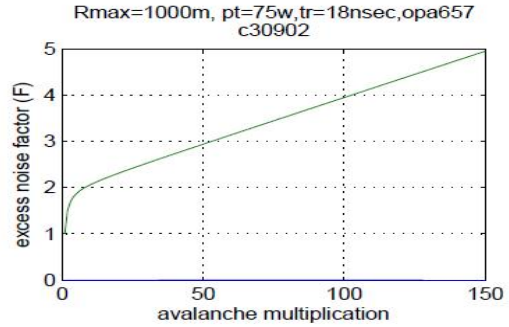
(a)



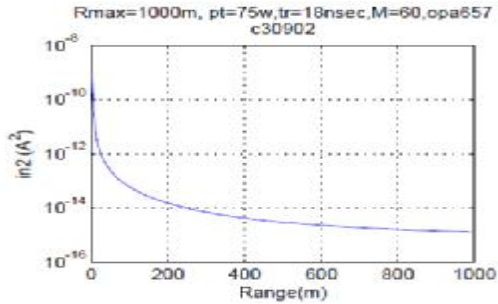
(a)



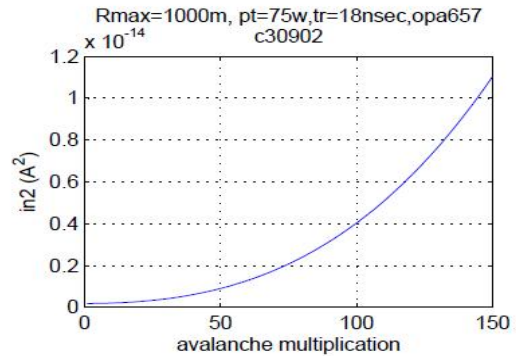
(b)



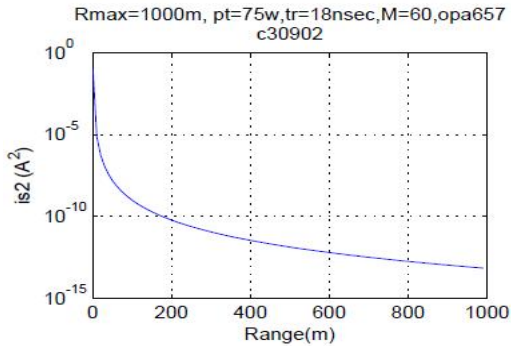
(b)



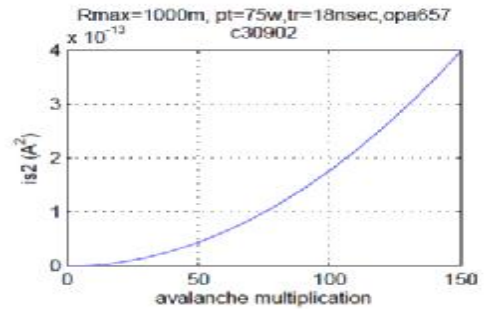
(c)



(c)



(d)

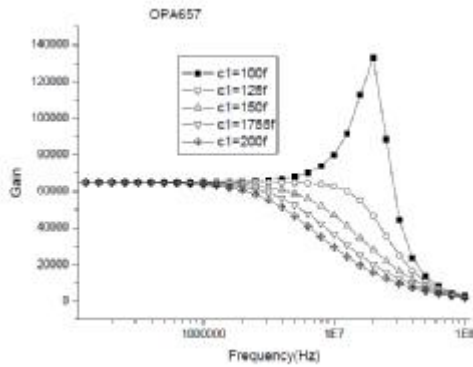


(d)

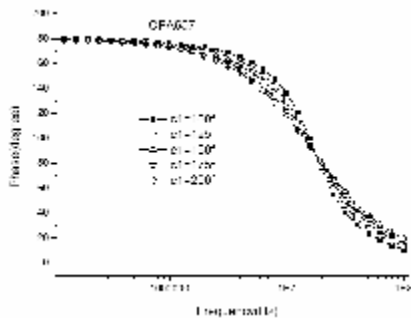
الشكل (8) a: نسبة الإشارة إلى الضجيج كتابع للمسافة
 b- معامل زيادة الضجيج كتابع للمسافة - c: استطاعة
 الضجيج كتابع للمسافة - d: استطاعة الإشارة كتابع للمسافة
 طُبِّقَت دارة عملية للمضخم OPA657 كما في الشكل
 (9) بوضع قيمة مقاومة التغذية الخلفية الأمثلية

الشكل(7): a : نسبة الإشارة إلى الضجيج كتابع لعامل
 تضخيم الكاشف الانهياري - b: معامل زيادة الضجيج كتابع
 لعامل التضخيم - c: استطاعة الضجيج كتابع لعامل
 التضخيم - d: استطاعة الإشارة كتابع لعامل التضخيم

السابقة، كذلك تم تمثيل الكاشف الضوئي بمنبع تيار I1 ومكثف على التوازي C4 وهي مكثفة الكاشف الانهياري C30902، وحُدِّت المقاومة التفرعية بسبب مقاومتها العالية جداً. أمّا مكثفة التغذية الخلفية C1 فتضبط للتحكم بالاستجابة الترددية المطلوبة والحصول على استجابة بترورث الترددية المسطحة من الدرجة الثانية.



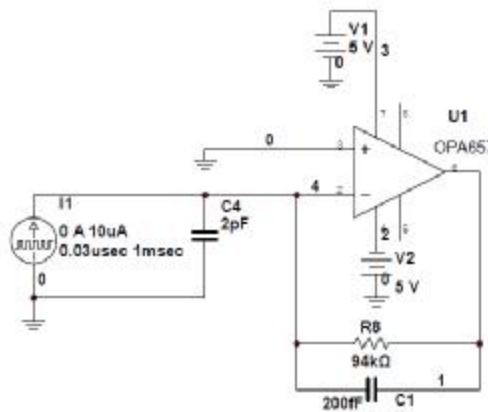
الشكل (11): منحنى الاستجابة الترددية بتغيير قيمة المكثفة C1



الشكل (12): تغيير الطور بتغيير قيمة المكثفة C1

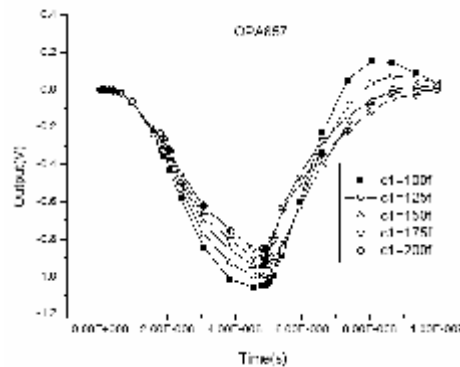
بتطبيق عرض نبضة 10ns على المضخم OPA847 نجد أن قيمة مقاومة التغذية الخلفية $R_f=23K$ وقيمة $NEP=2nW$ وتضخيم الكاشف الانهياري $M_{opt}=70$ ، ومن ثم تكون أقل استطاعة يمكن كشفها هي 13nW. أمّا بتطبيق عرض نبضة 100ns على المضخم OPA847 فنجد أن قيمة مقاومة التغذية الخلفية $R_f=2.3M$ ونسبة الإشارة إلى الضجيج 12 وقيمة $NEP=0.646nW$ وتضخيم الكاشف الانهياري $M_{opt}=70$ ، من ثم تكون أقل استطاعة يمكن كشفها هي 4.2nW.

بتكرار ما سبق وباستخدام المضخم OPA657، عند تطبيق نبضة بعرض 10ns تم الحصول على قيمة



الشكل (9): دارة المضخم الاولي

أجريت المحاكاة للدارة السابقة باستخدام برنامج Multisim وذلك للحصول على الاستجابة العابرة للمضخم الشكل (10) بتغيير قيمة المكثفة C1 للحصول على الاستجابة المناسبة وعدم الحصول على peaking عندما تكون قيمة $C_1 < 125f$. يتطابق ذلك مع الاستجابة الترددية الشكل (11) والشكل (12).



الشكل (10): الاستجابة العابرة للمضخم بتغيير قيمة المكثف C1

مقاومة التغذية الخلفية $R_f=10.39K$ وقيمة $NEP=2.2185nW$ وتضخيم الكاشف الانهياياري $M_{opt}=120$ ، من ثم تكون أقل استطاعة يمكن كشفها هي $14.4nW$. أمّا بتطبيق عرض نبضة $100ns$ على المضخم OPA657 فنجد أن قيمة مقاومة التغذية الخلفية $R_f=1.039M$ ونسبة الإشارة إلى الضجيج 14.87 ، وقيمة $NEP=0.622nW$ وتضخيم الكاشف الانهياياري $M_{opt}=20$ ، من ثم تكون أقل استطاعة يمكن كشفها هي $4nW$.

الاستنتاجات:

نستنتج مما سبق أن استخدام المضخمين OPA847 و OPA657 كمضخمين أوليين كجزء من دائرة مستقبل ضوئي، متكافئان تقريباً من أجل كشف منبع ليزري نبضي بعرض نبضة $30ns$. لذا أُجريت مقارنة إضافية بين أداء المضخمين في حال استُخدمَ منبع ليزري بعرض نبضة أقل من $30ns$ أي $10ns$ وعرض نبضة أكبر من $30ns$ أي $100ns$.

نستنتج من ذلك أنه في حال النبضات القصيرة فإنّ المضخم OPA847 بمدخل BJT يفضل على المضخم OPA657 بمدخل FET، بسبب ضجيج تيار الدخل المكافئ المنخفض للمضخم OPA847 مقارنة بالمضخم OPA657. أمّا في حال النبضات الطويلة فإنّ المضخم OPA657 بمدخل FET يفضل على المضخم OPA847 بمدخل BJT، بسبب ضجيج تيار الدخل المكافئ المنخفض للمضخم OPA657 مقارنة بالمضخم OPA847.

المراجع:

1. G. Ghione, semiconductor devices for high-speed optoelectronics, Cambridge University press, 2009.
2. Z. Bieleck, W. Kolosowski, R. Dufrene, and M. Borejko, "Low noise optical receiver" 11th GAAS Symposium- Munich 2003.
3. H. N. Burns, system design of pulsed laser rangefinder. Optical engineering, 1991.
4. Electro-optics, RCA Handbook (1974).
5. S.F Clifton, Active Electro-optical systems. Vol. (6), SPIE optical engineering press, 1993.
6. Silicon avalanche photodiodes C30902 data sheet, PerkinElmer optoelectronics.
7. Alexander, S.B. Optical Communication Receiver design, Bellingham, Washington: SPIE The International Society for Optical Engineering. 1997.
8. OPA847 operational amplifier data sheet.
9. OPA657 operational amplifier data sheet.