

تحسين نسبة الإشارة إلى الضجيج في أنظمة الاتصالات ذات تجميع التقسيم الترددي البصري

الدكتور مخائيل سليم مخول *

(تاريخ الإيداع 5 / 4 / 2010. قُبل للنشر في 29 / 9 / 2010)

□ ملخص □

- تتضمن مقالتنا تحليل التأثيرات الحرارية على أداء نظم الاتصالات ذات تجميع التقسيم الترددي (OFDM) البصرية التقليدية، و تقدم تعريفاً و مخططاً صندوقياً لنظام اتصال OFDM مقترح جديد. من خلال دراستنا الرياضية، التحليلية و الحسابية، وجدنا أن:
1. النظام FM/IM OFDM المقترح الجديد أكثر حساسية بالإشارة المستقبلية من مستقبلات النظام التقليدي OFDM.
 2. عند عمل كلا النظامين FM/IM OFDM المقترح الجديد و التقليدي عند ذات العوامل، كانت عموماً نسبة استطاعة الإشارة المفيدة إلى الضجيج في النظام FM/IM OFDM المقترح الجديد أفضل مما كانت عليه في النظام التقليدي FM/IM OFDM.
 3. النظام FM/IM OFDM المقترح الجديد قليل التأثير بالضجيج الحراري، و يعمل بأداء جيد عند درجات حرارة عالية مقارنة بنظام الكشف التقليدي FM/IM OFDM.

الكلمات المفتاحية: SNR، OFDM، FM/IM، الضجيج، الحرارة، الكشف المترابط.

*أستاذ مساعد - قسم الأتمتة الصناعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Improving SNR in the OFDM Communication Systems

Dr. Mikhaiel Salim Makhoul *

(Received 5 / 4 / 2010. Accepted 29 / 9 / 2010)

□ ABSTRACT □

Our paper contains analysis of the temperatures effects on the performance of the Traditional FM/IM OFDM Communication System, and offers a new definition of the block diagram to the new suggested FM/IM OFDM system. From mathematical analysis, and computation of the new and Traditional techniques, we found:

1. The new suggested System potentially offers improved receiver sensitivity more than Traditional Communication techniques.
2. When the new and Traditional FM/IM OFDM Communication techniques work at the same parameters, SNR in The new coherent FM/IM OFDM Communication System is usually better than Traditional Coherent FM/IM OFDM Communication techniques.
3. The new suggested System does not have effects by a thermal noise, and stability works at the high temperatures comparatively with Traditional FM/IM OFDM system.

Key Words: SNR, OFDM, FM/IM, Noise, Temperature, Coherent Detection.

* Associate Professor , Faculty of Technical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تُعاني نظم الاتصالات الضوئية كثيراً من المشاكل التي يؤدي حلها إلى تحسين الأداء العام للنظام. يؤثر الضجيج الحراري، وضجيج الإطلاق (الطليقي) بشكل أو بآخر على أداء أنظمة الاتصالات الضوئية، في حين أن مصادر الضجيج الأخرى يمكن إهمالها لقلّة تأثيرها أو لإمكانية إغائها بالوسائل التقنية. تُعتبر نسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) معياراً أساسياً لتقييم أداء نظم الاتصالات التمثيلية. لذلك فإن العمل على تحسين هذه النسبة (SNR) أمر هام.

غالباً ما تُستخدم المكبرات الإلكترونية لرفع مستوى الإشارة إلى السوية المطلوبة، وهذا لا يكون صحيحاً في الواقع العملي لأنظمة الاتصالات، لأن استخدام المكبرات يكون مرتبطاً بظاهرة أخرى لاضطراب الإشارة، ألا وهي الضجيج، و المكبرات تقوم بتكبير الإشارة المفيدة كما تُكبر الضجيج لذلك لا يُعتبر أمراً مفيداً استخدام المكبرات الإلكترونية لتحسين نسبة استطاعة الإشارة إلى الضجيج، أضف إلى ذلك أن المُكبر يُولد ضجيجاً إضافياً.

تشكل كلمة Laser من الأحرف الأولى للعبارة الانكليزية " Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation" و هي تعني بدقة تضخيم الضوء بطريقة الإصدار المحثوث للإشعاع [1]. و الليزر جهاز يُولد حزمة ضوئية أشد بكثير من الضوء الذي تصدره المصادر الأخرى، و يتمتع بخاصية الترابط (Coherence) و هي خاصية لا تتمتع بها الحزم الضوئية العادية. كما أن انتشاره الزاوي (Angular Spread) أصغر بكثير من الانتشار الزاوي للحزم الضوئية العادية. إن هذه الخصائص الهامة لليزر تدفعنا للتفكير بكيفية الاستفادة منها. يمتزج في الكشف الهيتروديني حزمة من الضوء صادرة عن هزاز محلي ضوئي (ليزري) L.O. بالموجة المعدلة المرسلّة القادمة عبر الليف عند مدخل الكاشف [2, 3]. و يحوّل الكاشف الهيتروديني تغيرات الطور في تردد الحامل البصري إلى تغيرات طور في الشدة البصرية. و يُعتبر نظام الكاشف الهيتروديني مناسباً لأنظمة الإرسال البصرية ذات تجميع التقسيم الترددي (Optic Frequency Division Multiplexing, OFDM).

أهمية البحث و أهدافه:

تحسين أداء أنظمة الاتصالات البصرية ذات تجميع التقسيم الترددي باستخدام عدّة هزازات ليزرية محلية في طرف الاستقبال الهدف منها تكبير الإشارة الضوئية المستقبلية ولاسيما أن استخدام مكبرات الكترونية بعد عملية الكشف الضوئي لزيادة SNR و تحسين كفاءة النظام لا يخدم هذه الغاية تماماً.

طرائق البحث ومواده:

لقد أنجز هذا البحث اعتماداً على دراسة العديد من البحوث المنجزة في هذا المجال و التوقف عند نتائجها وتوصياتها، كما تم الاعتماد لإثبات النتائج الطرق التحليلية و الرياضية و الحسابية معتمدين على المراجع العلمية المختصة، و لغة برمجة متلاب (Matlab) لنمذجة نظام الاتصالات FM/IM OFDM المُقترح و مقارنة نتائجه بنظام اتصال FM/IM OFDM تقليدي.

تعديل الشدة الضوئي الترددي (Frequency Optical Intensity Modulation, IM)

التعديل هو تغيير أحد عوامل إشارة الحامل (مطال، تردد، طور) بما يتناسب مع تغيير في مطال إشارة المعلومات لنحصل على إشارة جديدة بخواص زمنية و ترددية مختلفة عن الإشارة المرسلّة.

الإشارة الراديوية الحاملة للمعلومات تعطى بالشكل التالي [4, 5, 6]:

$$\varphi(t) = A(t)\cos[\omega_c t + \theta(t)] = A(t)\cos\psi(t) \quad (1)$$

حيث إن $A(t)$ مطال الإشارة، ω_c التردد الزاوي للحامل، و $\theta(t)$ طور الإشارة التي تحتوي إشارة المعلومات. عندما تكون كل من A و θ ثابتين فإن $\varphi(t)$ تصبح إشارة جيبية بسيطة تمثل إشارة الحامل. أما عندما تتغير θ وبالتالي ψ أو تتعرض A للتغيير وفقاً لتغير مطال إشارة المعلومات فإن $\varphi(t)$ تسمى عندئذ إشارة مُعدّلة وبناء على تغير إحدى هاتين القيمتين نحدد نوعين من التعديل. التعديل المطالي وفيه تكون A تابعة للزمن وفقاً للتغيرات اللحظية في مطال إشارة المعلومات، والتعديل الزاوي وفيه تكون ψ تابعة للزمن وفقاً للتغيرات اللحظية في مطال إشارة المعلومات. والتعديل الزاوي ينقسم إلى قسمين، التعديل الترددي (Frequency Modulation, FM)، و التعديل الطوري (Phase Modulation, PM). هذان النوعان من التعديل مُرتبطان فيما بينهما بشكل وثيق ويختلفان عن بعضيهما فقط بخواص تغير ψ مع تغير إشارة المعلومات ويختلف طيف الإشارة المعدلة وفقاً لنوع التعديل المُعتمد.

يتغير التردد اللحظي في حالة التعديل الطوري بشكل خطي مع تفاضل (مشتق) إشارة المعلومات $m(t)$. أما في التعديل الترددي فيتغير التردد اللحظي بشكل خطي مع مطال إشارة المعلومات وتعطى معادلته كالتالي:

$$\omega_i(t) = \omega_c t + \beta \cdot m(t) \quad (2)$$

حيث β عامل التعديل الترددي. أما الزاوية اللحظية تعطى كما يلي:

$$\psi(t) = \omega_c t + \beta \int_{-\infty}^t m(t) dt \quad (3)$$

وبالتالي تصبح المعادلة الكلية للتعديل الترددي:

$$\varphi_{FM}(t) = A \cos \left[\omega_c t + \beta \int_{-\infty}^t m(t) dt \right] \quad (4)$$

يتغير الطور اللحظي في حال التعديل الترددي بشكل خطي مع تكامل الإشارة المعدلة وإن النوعين السابقين من التعديل (الترددي، الطوري) ليسا فقط نمطين لتعديل واحد هو التعديل الزاوي بل من الصعوبة فصلهما عن بعضهما. فكل موجة معدلة بطريقة PM بالإشارة $m(t)$ هي موجة معدلة بطريقة FM بمشتقها وكل موجة معدلة بطريقة FM بالإشارة $m(t)$ بمشتقها هي موجة معدلة بطريقة PM بتكاملها [6].

عندما تتغير الاستطاعة البصرية طردياً مع تغير تيار الدخل يُستخدم عندئذ مُصطلح تعديل الشدة (Intensity Modulation, IM)، و يختلف تعديل الشدة عن التعديل المطالي. حيث يتغير في التعديل المطالي اتساع الحامل بدلاً من استطاعته بما يتناسب مع مطال إشارة المعلومات. فإذا كان التعديل لإشارة جيبية وحيدة فإن التيار يُعطى بالعلاقة التالية:

$$i(t) = I_s \cdot \cos(\omega_c t + \beta \cdot \sin \omega_m t) \quad (5)$$

حيث إن I_s مطال الإشارة الأعظمي، ω_m التردد الزاوي لإشارة المعلومات، ω_c التردد الزاوي لإشارة الحامل.

في أنظمة التعديل الترددي يتم احتواء المعلومات المرسل في طور الموجة الحاملة، و توجد الرسالة في التغيير الزمني لـ $(\theta(t) = \beta \cdot \sin \omega_m t)$. ويشمل طيف إشارة الـ FM منطقة تحيط بالتردد الحامل $f_c = \frac{\omega_c}{2\pi}$ ، وله عرض نطاق كلي يساوي $B_T = 2B + 2\Delta f$ ، حيث إن B عرض حزمة النطاق الأساسي (FM) و Δf هو الانحراف الترددي الأعظمي، ويعطى بالعلاقة $\Delta f = \beta \cdot f_m$ ومنه $\beta = \Delta f / f_m$ ، و f_m هو أعلى تردد تعديل في الرسالة. عادة يكون عرض نطاق القناة (نظرية نيكويست) $B_T = 2f_m + 2\beta \cdot f_m$ ، ومن أجل قيمة $\beta \ll 1$ ينتج $B_T = 2f_m$.

وعلى اعتبار I_0 تيار الانحياز فإن المعادلة $i(t) = I_0 + I_s \cdot \cos(\omega_c t + \beta \cdot \sin \omega_m t)$ تشكل دخلاً لمعدل شدة لمنبع بصري (Frequency Modulation-Intensity Modulation, FM/IM) لحامل فرعي، فإن الاستطاعة البصرية (على خرج المعدل) من أجل موجة جيبية وحيدة تتغير كمايلي:

$$P(t) = P_0 + P_s \cdot \cos(\omega_c t + \beta \cdot \sin \omega_m t) \quad (6)$$

إذا كان لدينا عدة أفنية تُعدل منبعاً واحداً فإن التيار العائد لكل قناة يجب أن يكون صغيراً بحيث إن التيار الكلي لا يقود الباعث إلى أبعد من المجال الخطي. ويجب أن يبقى تيار الذروة المتوقع عند توحيد عدة أفنية أقل من الحد الذي يتحملة المنبع الضوئي وإلا فإن المنبع قد يتلف.

عندما يكون لدينا مجموعة من الحوامل الفرعية ممثلة لـ N قناة تكون معادلة التيار على الشكل التالي:

$$i_{eq}(t) = I_0 + I_s \cdot \sum_{i=1}^N \cos(\omega_{c_i} t + \beta \cdot \sin \omega_{m_i} t) \quad (7)$$

و تكون الاستطاعة البصرية على خرج المعدل الضوئي IM:

$$P_{eq}(t) = P_0 + P_s \cdot \sum_{i=1}^N \cos(\omega_{c_i} t + \beta \cdot \sin \omega_{m_i} t) \quad (8)$$

إن تخفيض التيار في كل قناة يخفض كمية الاستطاعة المرسل. وستتدنى نوعية الإشارة بقدر تخفيض الاستطاعة المرسل في كل قناة تماماً كما تنخفض استطاعتها نتيجة ما تحدثه الخسارات في القوارن و المواصلات والليف أو أي مكونات أخرى. بواسطة تجميع التقسيم الترددي البصري (Optic Frequency Division Multiplexing, OFDM) يمكن إرسال عدة أفنية FM تُفصل عن بعضها بعرض نطاق B_T . تواجه عملية التعديل باستخدام الثنائي الليزري مجموعة من المشاكل كوجود تيار عتبة، و اعتماده كل من تيار العتبة و طول موجة البث على التقادم ودرجة الحرارة. و يمكن أن تُحل تلك المشاكل باستخدام المنابع الضوئية الخطية والمبرددات [5, 6, 7]. تؤدي اللاخطية التي لا يمكن تجنبها في خواص التيار-استطاعة للمنبع إلى لغط بين الأفنية و تداخل. كما تؤدي اللاخطية في دائرة الإرسال والكاشف الضوئي ودائرة الاستقبال إلى تشويه التداخل ولذلك يجب تخفيضها إلى الحد الأدنى.

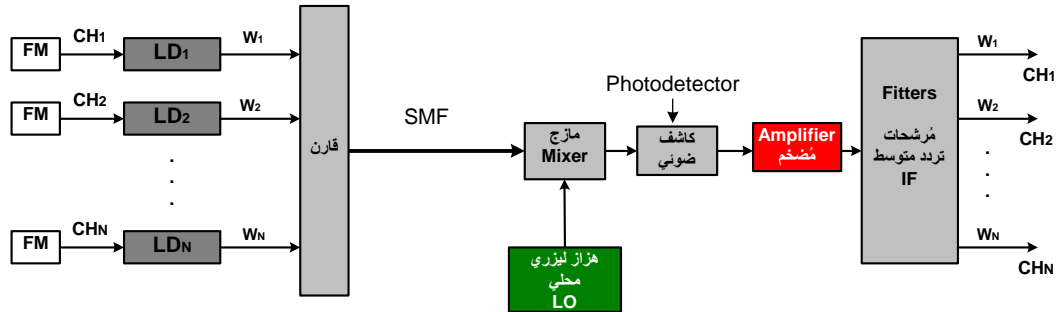
بنية و آلية عمل النظام FM/IM OFDM

في نظام الإرسال (Optic Frequency Division Multiplexing, OFDM) يتم إرسال عدة رسائل بنفس الوقت عبر الليف بواسطة تجميع التقسيم التردد البصري. و يُعتبر نظام الكشف الهيتروديني مناسباً لهذه الغاية.

يوضح الشكل (1) نظام الكشف الهتروديني FM/IM OFDM [5, 6, 7, 8]، وفيه يُعابير حرارياً عدد N من الثنائيات الليزرية المتماثلة كي تبث الضوء عند ترددات مختلفة $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_N$ ، و تُعدل الثنائيات بالرسائل المرغوبة. يُقرن خرج كل ثنائي إلى ليف و تُقرن الألياف الخاصة بكل الثنائيات بواسطة قارن إلى ليف الإرسال. هناك حد لعدد الأقبية N . ويمكن إضافة أقبية إضافية بحوامل فرعية جديدة فقط إذا كانت تردداتها أصغر من عرض نطاق الليف.

تظهر درجة هامة من الضياعات نتيجة انحناءات متواجدة في مسار الليف، و عادةً حالة استقطاب المستقبل ليست استقطاباً بشكل قطع ناقص و لكنها تتغير مع الزمن وتغيير موضع الليف [5]. والاستقطاب المتذبذب الناتج يمكن أن يسبب تلاشياً و ضياعات بالإشارة. لذلك يجب أن تحقق الألياف المختارة الغاية المرجوة منها و هي إيصال الإشارة المرسلّة إلى المستقبل بأقل نسبة من التغيير، ونختار لهذه الغاية الألياف المتجانسة وحيدة النمط (Single Mode Fiber, SMF).

باستخدام تعديل الحامل الفرعي يمكن إرسال عدة رسائل معاً عبر الليف و كل رسالة يجب أن تُعدل حاملاً فرعياً مختلفاً، و يجب أن يكون كل حامل بعيداً عن الآخر بحيث لا تتداخل أطيف الأقبية المتجاورة لأن الأطياف المتداخلة تسبب التداخل (Crosstalk)، وهكذا كل قناة يجب أن تشغل نطاقاً مساوياً لضعفي أعلى تردد مُعدل و يقع نصف النطاق فوق الحامل الفرعي ونصفه الآخر تحته، وبذلك فإن الحوامل الفرعية تتباعد عن بعضها بمقدار ضعفي تردد المُعدل الأعظمي، و تُفصل الأقبية المختلفة للمعلومات عن بعضها عند المستقبل بواسطة المرشحات بعد عملية الكشف الضوئي، و التضخيم، و يمكن تصميم مرشحات تحقق هذا الهدف تماماً [9, 10].

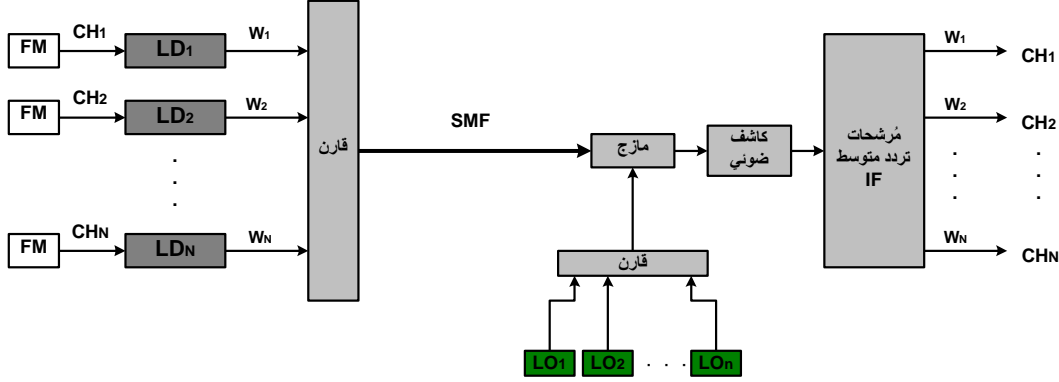


الشكل (1) تجميع التقسيم الترددي الضوئي FM/IM OFDM .

يلي الكاشف الضوئي عادة مكبر يقوم بتقوية إشارة المستقبل إلى السوية المطلوبة و في الحالة المثالية تضرب استطاعة الإشارة المفيدة و الضجيج بعامل ربح المضخم (G)، و تساوي نسبة الإشارة إلى الضجيج عند خرج المضخم تلك التي تكون عند مدخله، و لأن المضخمات الإلكترونية العملية لا تضاعف ضجيج الدخل فقط وإنما تنتج ضجيجاً خاصاً بها، فإن نسبة استطاعة الإشارة إلى الضجيج على خرج المضخم أقل مما هي عليه عند مدخله [7]، مما يستدعي إعادة النظر باستخدام المضخمات الإلكترونية في أجهزة الاستقبال، و يجعل البحث عن حلول جديدة أمراً مشروعاً.

المضخمات الإلكترونية لا تقدم حلاً لزيادة SNR و الهزات الليزرية محدودة الاستطاعة البصرية، لذلك نقترح أن نوضع في طرف الاستقبال مجموعة من الهزات الليزرية $LO_1, LO_2, LO_3, \dots, LO_n$ ذات استطاعة

المستقبلية عبر الليف (SMF). ثم تُكشف الإشارة ضوئياً، و تقوم مزيلات التعديل الترددي باستخلاص المعلومات التي تحويها $\theta(t)$. الشكل (2) يوضح نظام الاتصال البصري الهيتروديني OFDM (المقترح) باستخدام عدة هزازات ليزرية محلية.



الشكل (2) تجميع التقسيم الترددي الضوئي FM/IM OFDM باستخدام n هزاز ليزري محلي.

نسبة الإشارة إلى الضجيج (Signal-to-Noise Ration, SNR)

يعتمد الكشف الهيتروديني على التداخل بين حزمتي ضوء الإشارة الواردة والهزاز المحلي ولن تتداخل الحقول ما لم تكن مستقطبة بشكل متماثل، و تتطلب الأنظمة الهيترودينية العملية أليافاً وحيدة النمط مبنية خصيصاً للمحافظة على الاستقطاب. إذاً، في تحليلنا نفترض أن:

1. المعادلات تعتمد الضوء الوحيد اللون و الثنائيات اليزرية المستقطبة خطأً.
2. الليف وحيد النمط.
3. المرسل الليزري والهزاز المحلي مستقران ترددياً.
4. يجب أن تتماثل جبهتا الموجتين و تتطابقا لكل من الإشارة المُستقبلية و إشارة الهزاز المحلي.
5. حجم البقع (Spot Size) والاستقطاب و اتجاهات الانتشار ذاتها لكل من حزمتي المرسل والهزازات المحلية.

أ. حساب SNR لنظام كشف هيتروديني FM/IM OFDM:

على اعتبار أن الحقول الكهربائية للموجة المستقبلية E_{sig} و إشارة المذبذب المحلي E_{LO} على التوالي هي:

$$\left. \begin{aligned} E_{sig} &= E_s \cos(\omega_c t + \theta(t)) \\ E_{LO} &= E_L \cos(\omega_c t + \omega_{IF} t) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

حيث إن ω_c هو تردد الحامل البصري، ω_{IF} التردد المتوسط، و $\theta(t)$ إشارة تحوي الرسالة المعدلة ترددياً. يتناسب التيار المستقبل مع مربع الحقل الكهربائي الكلي [5, 6, 7]:

$$I = (E_{sig} + E_{LO})^2 \quad (10)$$

و منه فإن [7, 8]:

$$i(t) = (E_{sig} \cdot \cos[W_c t + \theta(t)])^2 + (E_{LO} \cdot \cos[(W_c + W_{IF})t])^2 + 2E_{sig} \cdot E_{LO} \cdot \cos[W_c t + \theta(t)] \cdot \cos[(W_c + W_{IF})t] \quad (11)$$

و بالتالي فإن:

$$i(t) = \frac{1}{2} E_{sig}^2 \cdot \{1 + \cos[2W_c t + 2\theta(t)]\} + \frac{1}{2} E_{LO}^2 \cdot \{1 + \cos[2(W_c + W_{IF})t]\} + E_{sig} \cdot E_{LO} \cdot \{\cos[W_{IF}t - \theta(t)] + \cos[(2W_c t + \theta(t) + W_{IF}t)]\} \quad (12)$$

إن الحدود الثلاثة التي تتذبذب قرب التردد $2W_c$ تقع خارج استجابة الكاشف و لا تظهر على خرجها. ومن جهة أخرى وحتى و لو أعطى الكاشف الضوئي تياراً يتردد $2W_c$ فإن السعة الشاردة الصغيرة c ستكون ذات ممانعة صغيرة ($1/j\omega c$) بحيث إن التيار سيمر إلى الأرض مباشرة من غير أن يمر خلال مقاومة الحمل، وبالتالي:

$$i_{out}(t) = 0.5E_{sig}^2 + 0.5E_{LO}^2 + E_{LO}E_{sig} \cdot \cos[\omega_{IF}t - \theta(t)] \quad (13)$$

وهكذا بهذه التقنية حافظنا على $\theta(t)$.

لما كانت استطاعة الحزمة الضوئية تتناسب مع مربع حقلها الكهربائي نستنتج أن القدرة البصرية $P_{in,op}$ تكون

كما يلي:

$$P_{in,op} = 0.5(P_{LO} + P_{sig}) + \sqrt{P_{sig}P_{LO}} \cdot \cos[\omega_{IF}t - \theta(t)] \quad (14)$$

حيث إن P_{sig} استطاعة الإشارة المرسله، و P_{LO} استطاعة إشارة الهزاز المحلي.

و يتصرف الكاشف كأنه منبع للتيار. تيار خرج الكاشف يتألف من المركبة المستمرة i_{dc} ، والمركبة i_{IF} بتردد متوسط (Intermediate Frequency, IF)، و يُعبر عنه بالعلاقة الرياضية التالية:

$$i_{out} = \frac{\eta e}{hf} P_{in,op} = 0.5 \frac{e\eta}{hf} (P_{LO} + P_{sig}) + \frac{\eta e}{hf} \sqrt{P_{LO} \cdot P_{sig}} \cdot \cos[\omega_{IF} - \theta(t)] \quad (15)$$

حيث إن η كفاءة الباعث (عدد الإلكترونات N_e مقسوماً على عدد الفوتونات N_{ph})، e شحنة الإلكترون، h ثابت بلانك، و f تردد الكشف. ويتم التخلص من مركبة التيار المستمر $i_{dc} = 0.5 \frac{\eta e}{hf} (P_{LO} + P_{sig})$ باستخدام

عنصر ربط سعوي. أما التيار ذو التردد التوسط $i_{IF} = \frac{\eta e}{hf} \sqrt{P_{LO} \cdot P_{sig}} \cdot \cos[\omega_{IF} - \theta(t)]$ فإنه

يُكبر، في حين أن كواشف التعديل FM الإلكترونية التقليدية تقوم باستخلاص المعلومات التي تحويها $\theta(t)$.

بالأخذ بعين الاعتبار كل من ضجيج الإطلاق والضجيج الحراري و إهمال باقي أنواع الضجيج (لقلة تأثيرها أو لإمكانية إغائها) تُعطى علاقة SNR بالعلاقة [5, 6, 7, 8]:

$$SNR = \frac{P_{ES}}{P_{SN} + P_{TN}} \quad (16)$$

حيث إن استطاعة الإشارة المفيدة $P_{ES} = 0.5(\eta e/hf)^2 P_{LO} \cdot P_{sig} \cdot R_L$ ، استطاعة ضجيج الإطلاق (Shot

و استطاعة الضجيج (Noise) $P_{SN} = 2e \cdot \Delta f \cdot R_L [I_D + (\eta e/2hf) \cdot (P_{LO} + P_{sig})]$ ،

الحراري $P_{TN} = 4KT\Delta f$. في هذه الحالة تكون علاقة نسبة الإشارة إلى الضجيج للنظام FM/IM OFDM الهيدروديني (Hydrodyne):

$$SNR = \frac{0.5(\eta e/hf)^2 P_{LO} \cdot P_{sig} \cdot R_L}{2e \cdot \Delta f \cdot R_L [I_D + (\eta e/2hf) \cdot (P_{LO} + P_{sig})] + 4KT \cdot \Delta f} \quad (17)$$

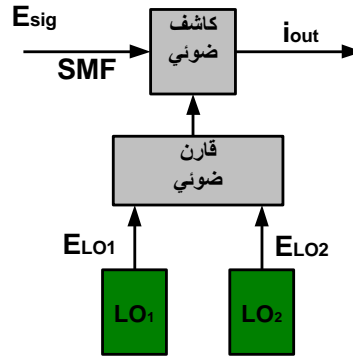
حيث إن R_L مقاومة الحمل، T درجة الحرارة المطلقة، و I_D تيار الظلام (تيار عكسي صغير مار في الثنائي المستقطب عكسياً عندما لا تتدفق قدرة بصرية من خلاله)، $h = 6.63 \cdot 10^{-34}$ ثابت بلانك، و $K = 1.38 \cdot 10^{-23}$ ثابت بولتزمان.

من الملاحظ أن استطاعة الهزاز الضوئي المحلي تقدم تكبيراً للإشارة، و كلما كانت استطاعة الهزاز الضوئي P_{LO} أكبر كانت استطاعة الإشارة الكهربائية أكبر. و لما كان الهزاز الليزري محدود الاستطاعة تفقد هذه النتيجة إلى تساؤل مشروع حول إمكانية تحسين أداء نظم الاتصالات FM/IM OFDM الهيدرودينية باستخدام عدة هزازات ليزرية محلية في طرف الاستقبال. للإجابة على هذا التساؤل ندرس علاقة SNR في حالة وضع عدة هزازات محلية في مستقبل النظام FM/IM OFDM و نحاول إيجاد تعميم لهذه العلاقة (SNR).

ب. حساب SNR لنظام كشف هيدروديني FM/IM OFDM باستخدام هزازين محليين:

يُوضع في طرف الاستقبال هزازين ليزريين LO_1 ، LO_2 ذوي استطاعة P_{LO_1} ، P_{LO_2} على التوالي، و يُجمع خرجهما عبر قارن ضوئي يشكل خرجاً دخلاً للمزج مع الإشارة المستقبلية عبر الليف (SMF). كما هو موضح بالشكل (3). و باعتبار أن الحقول الكهربائية للموجة المستقبلية و الهزازات المحلية E_{LO_2} ، E_{LO_1} ، E_{sig} هي على التوالي $E_{sig} = E_s \cos(\omega_c t + \theta(t))$ ، $E_{LO_1} = E_{L1} \cos(\omega_c t + \omega_{IF1} t)$ ، $E_{LO_2} = E_{L2} \cos(\omega_c t + \omega_{IF2} t)$ ، إن تيار الكاشف يتناسب مع مربع الحقل الكهربائي، و بالتالي فإن:

$$i_{out}(t) = [E_s \cos(\omega_c t + \theta(t)) + E_{L1} \cos(\omega_c t + \omega_{IF1} t) + E_{L2} \cos(\omega_c t + \omega_{IF2} t)]^2$$



الشكل (3) تجميع التقسيم الترددي الضوئي FM/IM OFDM باستخدام هزازين ليزريين.

و بالأخذ بعين الاعتبار كما في الحالة (أ) أن الحدود التي تتذبذب قرب التردد $2\omega_c$ تقع خارج استجابة الكاشف ولا تظهر عند الخرج، و من جهة أخرى حتى لو أعطى المكشاف خرجاً (تياراً) بتردد $2\omega_c$ فإن السعة الشاربية ستكون ذات مفاعلة صغيرة بحيث تقصر هذا التيار إلى الأرض مباشرة دون أن يمر في مقاومة الحمل R_L . و على اعتبار أن الترددات المتوسطة ω_{IF1} و ω_{IF2} هي ترددات معروفة و متساوية و ثابتة و مُحددة مسبقاً فإن علاقة التيار:

$$i_{out}(t) = 0.5E_s^2 + 0.5E_{L1}^2 + 0.5E_{L2}^2 + (E_s E_{L1} + E_s E_{L2}) \cos(\theta(t) - \omega_{IF} t) \quad (18)$$

و بما إن استطاعة الحزمة الضوئية تتناسب مع مربع حقلها الكهربائي فتكون الاستطاعة البصرية الكلية:

$$P_{op} = 0.5(P_s + P_{L1} + P_{L2}) + (\sqrt{P_s \cdot P_{L1}} + \sqrt{P_s \cdot P_{L2}}) \cdot \cos(\theta(t) - \omega_{IF} t) \quad (19)$$

حيث إن P_s استطاعة الإشارة المرسله، P_{L1} استطاعة إشارة الهزاز الأول، P_{L2} استطاعة إشارة الهزاز الثاني. مرة أخرى تيار خرج الكاشف يُعبر عنه بالعلاقة الرياضية التالية:

$$i_{out} = (\eta e / 2hf) \cdot (P_s + P_{L1} + P_{L2}) + (\eta e / hf) \cdot (\sqrt{P_s \cdot P_{L1}} + \sqrt{P_s \cdot P_{L2}}) \cos(\theta(t) - \omega_{IF} t) \quad (20)$$

بناءً عليه، و بذات الطريقة السابقة تكون نسبة استطاعة الإشارة إلى استطاعة الضجيج هي:

$$SNR_1 = \frac{0.5R_L \cdot (\eta e / hf)^2 \cdot (P_s \cdot P_{L1} + P_s \cdot P_{L2})}{2e \cdot \Delta f \cdot R_L [I_D + (\eta e / 2hf) \cdot (P_s + P_{L1} + P_{L2})] + 4KT \cdot \Delta f} \quad (21)$$

بالمقارنة العلاقة (21) مع العلاقة (17) نلاحظ أن وجود هزاز محلي ثانٍ في طرف الاستقبال قد زاد استطاعة الإشارة المفيدة بنفس الوقت الذي زاد فيه استطاعة ضجيج الإطلاق الموجودة في المقام، أما الضجيج الحراري فلم يتأثر.

في الحالة التي تكون فيها الخواص المطالية للهزازين واحدة أي $P_{L1} = P_{L2} = P_L$ تصبح نسبة الإشارة إلى الضجيج:

$$SNR_1 = \frac{R_L \cdot (\eta e / hf)^2 \cdot (P_s \cdot P_L)}{2e \cdot \Delta f \cdot R_L [I_D + (\eta e / 2hf) \cdot (P_s + 2 \cdot P_L)] + 4KT \cdot \Delta f} \quad (22)$$

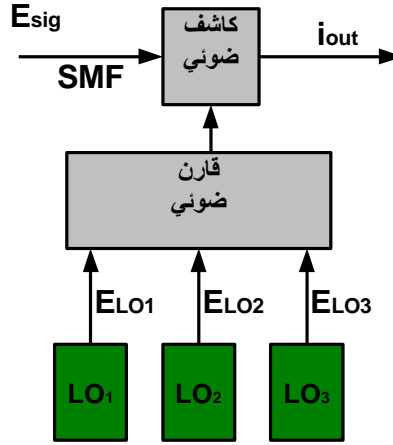
إن إهمال الضجيج الحراري أمام ضجيج الإطلاق بقيمته الجديدة قد يساعد على تقييم أفضل للنظام الجديد من ناحية الإضافة التي قدمها الهزاز المحلي لجهتي بسط و مقام نسبة الإشارة إلى الضجيج. إن علاقة نسبة الإشارة إلى الضجيج المحدودة بالكَم و بإهمال تيار الظلام هي:

$$SNR_1 = \frac{(\eta / hf) \cdot (P_s P_{L1} + P_s P_{L2})}{2\Delta f \cdot (P_s + P_{L1} + P_{L2})} \quad (23)$$

مما سبق نستنتج ما لا شك فيه أن استطاعة الهزازات المحلية المضافة تقدم تكبيراً للإشارة مُحسنة الكشف.

ت. حساب SNR للنظام FM/IM OFDM باستخدام ثلاثة هزازات محلية:

تُوضع في طرف الاستقبال ثلاثة هزازات ليزيرية LO_1 , LO_2 , LO_3 ذات استطاعة P_{LO_1} , P_{LO_2} , P_{LO_3} على التوالي، و تُجمع عبر قارن ضوئي يشكل خرجهُ دخلاً للمزاج مع الإشارة المستقبلية عبر الليف (SMF). كما هو موضح بالشكل(4).



الشكل (4) تجميع التقسيم الترددي الضوئي FM/IM OFDM باستخدام ثلاثة هزازات ليزيرية.

إن دراسة هذه الحالة هي مقدمة لتعميم علاقة نسبة الإشارة إلى الضجيج وفق عدد الهزازات المحلية المستخدمة. لا تختلف هذه الحالة عن الحالة (أ) و (ب) من حيث الجوهر، غير أننا نستخدم ثلاثة هزازات محلية حقولها الكهربائية موضحة على التوالي: $E_{LO1} = E_{L1} \cos(\omega_c t + \omega_{IF1} t)$ ، $E_{LO2} = E_{L2} \cos(\omega_c t + \omega_{IF2} t)$ ، $E_{LO3} = E_{L3} \cos(\omega_c t + \omega_{IF3} t)$ ، و بالتالي فإن علاقة التيار:

$$i_{out}(t) = 0.5E_s^2 + 0.5E_{L1}^2 + 0.5E_{L2}^2 + 0.5E_{L3}^2 + (E_s E_{L1} + E_s E_{L2} + E_s E_{L3}) \cos(\theta(t) - \omega_{IF} t) \quad (24)$$

و علاقة الاستطاعة على خرج الكاشف:

$$P_{in,op} = 0.5(P_s + P_{L1} + P_{L2} + P_{L3}) + (\sqrt{P_s \cdot P_{L1}} + \sqrt{P_s \cdot P_{L2}} + \sqrt{P_s \cdot P_{L3}}) \cdot \cos(\theta(t) - \omega_{IF3} t) \quad (25)$$

بناءً على، فإن مركبتي خرج الكاشف المستمرة i_{dc} ، ومركبة التيار التوسط i_{IF} ، و يُعبر عنهما على التوالي

بالعلاقين التاليين:

$$i_{dc} = (\eta e / 2hf) \cdot (P_s + P_{L1} + P_{L2} + P_{L3})$$

$$i_{IF} = (\eta e / hf) \cdot [\sqrt{P_s \cdot P_{L1}} + \sqrt{P_s \cdot P_{L2}} + \sqrt{P_s \cdot P_{L3}}] \cos(\theta(t) - \omega_{IF} t) \quad (26)$$

و بالتالي تكون نسبة استطاعة الإشارة إلى استطاعة الضجيج هي:

$$SNR_2 = \frac{0.5R_L \cdot (\eta e / hf)^2 \cdot (P_s \cdot P_{L1} + P_s \cdot P_{L2} + P_s \cdot P_{L3})}{2e \cdot \Delta f \cdot R_L [I_D + (\eta e / 2hf) \cdot (P_s + P_{L1} + P_{L2} + P_{L3})] + 4KT \cdot \Delta f} \quad (27)$$

و في الحالة التي تكون فيها الخواص المطالية للهزازات واحدة أي $P_{L1} = P_{L2} = P_{L3} = P_L$ تصبح نسبة

الإشارة إلى الضجيج:

$$SNR_2 = \frac{0.5 \cdot R_L \cdot (\eta e / hf)^2 \cdot (3 \cdot P_s \cdot P_L)}{2e \cdot \Delta f \cdot R_L [I_D + (\eta e / 2hf) \cdot (P_s + 3 \cdot P_L)] + 4KT \cdot \Delta f} \quad (28)$$

ج. حساب SNR لنظام الكشف FM/IM OFDM باستخدام n هزاز ليزري محلي:

توضع في طرف الاستقبال مجموعة n من الهزازات الليزرية $LO_1, LO_2, LO_3, \dots, LO_n$ ذات استطاعة $P_{LO_1}, P_{LO_2}, P_{LO_3}, \dots, P_{LO_n}$ وتُجمع عبر قارن ضوئي يشكل خرجاً دخلاً للمزج مع الإشارة المُستقبلة عبر الليف (SMF). كما هو موضح في الشكل (2)، وبالأخذ بعين الاعتبار نفس الشروط والاعتبارات في أ، ب، ت، نجد أن:

$$SNR_{new} = \frac{0.5R_L \cdot (\eta e/hf)^2 \cdot (P_S \cdot P_{L1} + P_S \cdot P_{L2} + P_S \cdot P_{L3} + \dots)}{2e \cdot \Delta f \cdot R_L [I_D + (\eta e/2hf) \cdot (P_S + P_{L1} + P_{L2} + P_{L3} + \dots)] + 4KT \cdot \Delta f} \quad (30)$$

و بالتالي في حالة الكشف الضوئي باستخدام n هزاز ليزري محلي يمكن استنتاج العلاقة التالية:

$$SNR_{new} = \frac{0.5 \cdot R_L \cdot (\eta e/hf)^2 \cdot P_S \left(\sum_{i=1}^{i=n} P_{Li} \right)}{2e \cdot \Delta f \cdot R_L \left[I_D + (\eta e/2hf) \cdot \left(P_S + \sum_{i=1}^{i=n} P_{Li} \right) \right] + 4KT \cdot \Delta f} \quad (31)$$

و باعتبار أن خواص الاستطاعة للهزازات الليزرية متساوية $P_{L1} = P_{L2} = P_{L3} = \dots = P_L$ فإن نسبة الإشارة إلى الضجيج:

$$SNR_{new} = \frac{0.5 \cdot R_L \cdot (\eta e/hf)^2 \cdot (n \cdot P_S \cdot P_L)}{2e \cdot \Delta f \cdot R_L [I_D + (\eta e/2hf) \cdot (P_S + n \cdot P_L)] + 4KT \cdot \Delta f} \quad (32)$$

و بالتالي فإن نسبة الإشارة إلى الضجيج مُقدرة بالـ dB تُعطى بالعلاقة: $SNR_{new, dB} = 10 \cdot \log(SNR_{new})$.

بمقارنة العلاقة (31) SNR_{new} لأنظمة الاتصال ذات تجميع التقسيم الترددي البصري المتعددة الهزازات الليزرية (النظام المُقترح) مع العلاقة (17) SNR للنظام الهيروديني (التقليدي)، وبالأخذ بعين الاعتبار كل من $P_S < P_{LO}$ ، $\sum_{i=1}^{i=n} P_{Li}$ ، و $P_S < \sum_{i=1}^{i=n} P_{Li}$ في كل من العلاقتين السابقين على التوالي، وبملاحظة أن $P_S < P_{LO} < \sum_{i=1}^{i=n} P_{Li}$ و $P_S < \sum_{i=1}^{i=n} P_{Li}$ نجد أن:

1. البنية المُقترحة أكثر حساسية من مُستقبلات الكشف الهيروديني التقليدية.

2. البنية المُقترحة تؤمن استقبالاً أجود و توفر إمكانية إرسال الإشارات على مسارات أطول بدون

استخدام المضخمات الإلكترونية أو المكررات.

النتائج والمناقشة:

نفترض أن لدينا نظاماً يتألف من مرسل ضوئي LED يبيت استطاعة مقدارها $P_S = 10mW$ عند طول موجة $\lambda_{LED} = 0.85\mu m$ ، و من كابل ضوئي SMF ذي خسارة $20dB/km$ ، ومن كاشف ضوئي PIN ذي استجابة $\rho_{PIN} = 0.5A/W$ ، و تيار ظلام للكاشف $I_D = 2nA$ ، و مقاومة حمل $R_L = 50\Omega$ و عرض حزمة المُستقبل $\Delta f_1 = 10MHz$ (قناة واحدة) و درجة الحرارة $T = 300K$ كما تتضمن خسارات النظام بالإضافة إلى تخامد الليف نقص قدرة مقدارها $14dB$ بسبب اقتران المنبع، و خسارة مقدارها $10dB$ بسبب الموصلات والوصلات المختلفة. وجدنا في هذه الحالة $SNR_{dB} = 10.8dB$. و عند استخدام مُضخم يلي المكشاف الضوئي ذي ربح قدره $G_A = 10dB$ و درجة حرارة $T_e = 754K$ وجدنا نسبة استطاعة الإشارة إلى الضجيج عند مخرجه $SNR_{dB,A} = 6.8dB$ وهذا

يعني أن المُضخم يزيد كلاً من قدرة الإشارة المفيدة و إشارة الضجيج المُعتبر في مدخلة بعامل مقداره $G_A = 10$ و يخفض نسبة استطاعة الإشارة المفيدة إلى الضجيج بمقدار $4dB$ (من $SNR_{dB} = 10.8dB$ إلى $SNR_{dB,A} = 6.8dB$). و قد وجدنا بإهمال الضجيج الحراري أن نسبة الاستطاعة إلى الضجيج المحددة بـ $SNR_{dB} = 48dB$ و هي كافية لاستقبال جيد للإشارة. مما يؤكد أن للضجيج الحراري تأثيراً سلبياً على أداء النظام و أن المضخمات الإلكترونية لا تقدم حلاً لزيادة نسبة الإشارة إلى الضجيج.

سنناقش أثر الضجيج على أداء كل من نظامي الاستقبال التقليدي و المُقترح لنظام الكشف OFDM، لذلك سندرس SNR للنظام FM/IM OFDM التقليدي، و SNR_{new} للنظام FM/IM OFDM المُقترح بحالات مُختلفة باستخدام لغة برمجة MATHLAB & Simulink [11]. و مع الأخذ بعين الاعتبار أن قيمة $SNR = 50dB$ قيمةً معيارية لعمل النظام و بإهمال التشويش قد أُعتمدت القيم النموذجية وفق الجدول 1.

الجدول 1 القيم النموذجية لعوامل النظام OFDM.

القيمة النموذجية	العامل
$e = 1.6 \cdot 10^{-19}$	شحنة الإلكترون
$T = 300K^o (27C^o)$	درجة حرارة عمل النظام
$R_L = 50\Omega$	مقاومة الحمل
$\alpha_{dB} = 44dB$	مجموع الضياعات في النظام
$\rho_{PIN} = \eta e / hf = 0.5A/W$	استجابة الكاشف
$\lambda_{LED} = 0.85\mu m = 0.85 \cdot 10^{-6} m$	طول موجة المرسل الضوئي
$P_S = 0.1mW$	استطاعة الإشارة المُستقبلية
$P_L = 1mW$	استطاعة الهزار الليزري الضوئي
$K = 1.38 \cdot 10^{-23}$	ثابت بولتزمان
$h = 6.63 \cdot 10^{-34}$	ثابت بلانك
$T_e = T + T_A = 1000K^o$	درجة حرارة عمل النظام المطلقة عند استخدام المضخمات
$I_D = 2nA = 2 \cdot 10^{-9} A$	تيار الظلام
$\Delta f = 500 \cdot 10^6 Hz$	عرض حزمة الإرسال للنظام

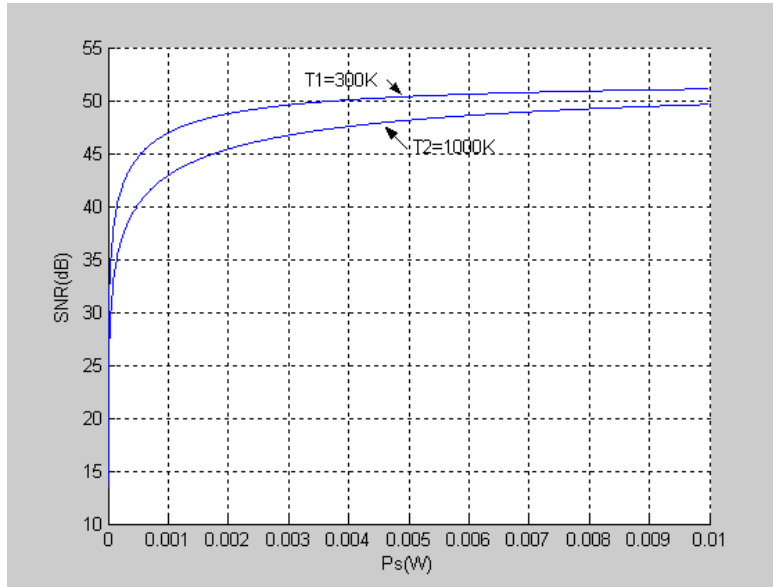
1. تأثير درجة الحرارة على أداء النظام:

يُوضح الشكل (7-1-A) نسبة الإشارة المفيدة إلى الضجيج SNR كتابع للاستطاعة المُستقبلية لنظام الكشف FM/IM OFDM المترابط التقليدي في حالة إهمال التشويش عند $T_1 = 300[K^o]$ ، و $T_2 = 1000[K^o]$ على التوالي. في حين أن باقي عوامل النظام تبقى نموذجية ثابتة. بدراسة المنحنيات المُوضحة في الشكل (7-1-A)، نجد أن:

أولاً: يتحسن أداء نظام الكشف FM/IM OFDM المترابط بسويات مُختلفة مع زيادة الاستطاعة المُستقبلية P_s عند القيم الصغيرة $P_s < 1mW$ تزداد نسبة استطاعة الإشارة إلى الضجيج بشكل ملحوظ مع زيادة طفيفة في P_s و يستقر عمل النظام عند $P_s > 4mW$.

ثانياً: قيم SNR في النظام FM/IM OFDM المترابط عند $T = 300 [K^0]$ أعلى من مثيلاتها عند $T = 1000 [K^0]$ على كامل المجال المدروس، وهذا يعني أن الكواشف المترابطة حساسة جداً لدرجة الحرارة و لمستوى لا يمكن إهماله.

ثالثاً: عند عمل النظام على درجة حرارة $T_1 = 300[K^0]$ كانت $SNR_{T_1} = 50dB$ عند $P_s = 4mW$ وعند ارتفاع درجة الحرارة إلى $T_2 = 1000[K^0]$ مع الحفاظ على جميع عوامل النظام الأخرى كانت $SNR_{T_2} = 47dB$. هذا يعني أن SNR قد نقصت بمقدار $3[dB]$ تقريباً وهي قيمة مُعتبرة، و تتغير هذه القيمة بزيادة و نقصان استطاعة الإشارة المفيدة المستقبلية.



شكل (7-1-A) نسبة استطاعة الإشارة إلى الضجيج SNR كتابع لاستطاعة الإشارة المُستقبلية P_s .

يُوضح الشكل (7-1-B) و SNR_{new} كتابع لدرجة الحرارة المطلقة لنظام الكشف FM/IM OFDM التقليدي و المُقترح في حالة إهمال التشويه. في حين أن باقي عوامل النظام تبقى نموذجية ثابتة. بدراسة المنحنيات المُوضحة في الشكل (7-1-B)، نجد أن:

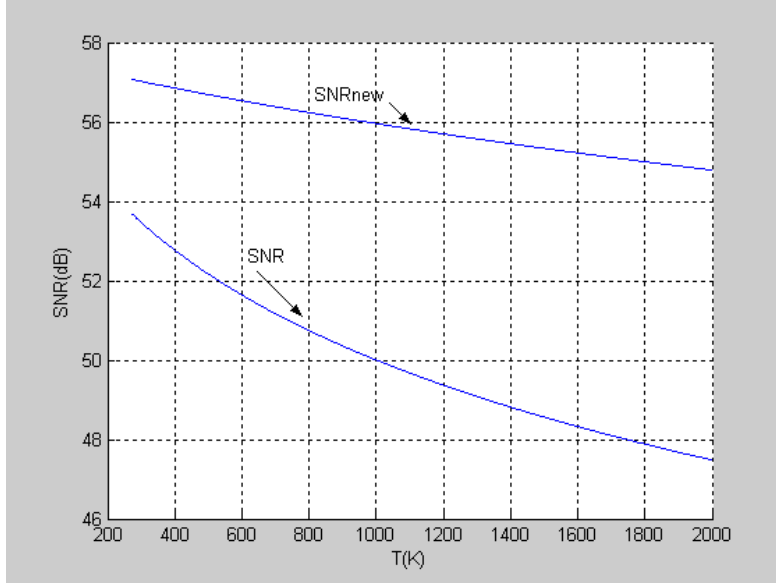
أولاً: عند عمل النظام FM/IM OFDM التقليدي و المُقترح على درجة حرارة $T_1 = 300[K^0]$ كانت $SNR_{T_1} = 53.5dB$ و $SNR_{new,T_1} = 57dB$ على التوالي. و عند ارتفاع درجة الحرارة إلى $T_2 = 1000[K^0]$ مع الحفاظ على جميع عوامل النظام الأخرى كانت $SNR_{T_2} = 47.5dB$ و $SNR_{new,T_2} = 55dB$ على التوالي. هذا يعني تغييراً صغيراً (مُهملًا) في SNR_{new} مقداره $2[dB]$ تقريباً، وتغييراً مُعتبراً في SNR مقداره $6[dB]$.

ثانياً: إن قيم SNR في النظام FM/IM OFDM التقليدي أدنى من مثيلاتها SNR_{new} للنظام المُقترح على ذات المجال المدروس لدرجة الحرارة $T = [300K^0 - 2000K^0]$ ، وهذا يعني إن الكواشف المترابطة حساسة جداً لدرجة الحرارة و لمستوى لا يمكن إهماله.

ثالثاً: عند عمل النظام بالمُستقبل التقليدي و بدرجة حرارة $T = 1000[K^0]$ و استطاعة إشارة مستقبلية مقدارها $P_s = 250 \cdot 10^{-6} W$ كانت قيمة $SNR = 50dB$. في حين أنه في حالة عمل النظام بالمُستقبل المُقترح

مع الحفاظ على جميع عوامل النظام الأخرى كانت قيمة $SNR_{new} = 56dB$. و بالتالي فإن استطاعة الإشارة المفيدة إلى الضجيج قد زادت بمقدر 6[dB] تقريباً مقارنة بعمل النظام التقليدي، وهي قيمة لا يمكن تجاهلها إطلاقاً.

و كنتيجة عامة يتأثر أداء المُستقبلات التقليدية في نظم الاتصالات ذات التجميع التقسيم الترددي بدرجة الحرارة، في حين أن نظم الكشف المُقترحة مهمة التأثير بدرجة الحرارة تقريباً في المجال المدروس لدرجة الحرارة .



شكل (7-1-B) و SNR_{new} كتابع لدرجة الحرارة المطلقة عند استطاعة الإشارة المرسله $P_s = 250 \cdot 10^{-6} W$.

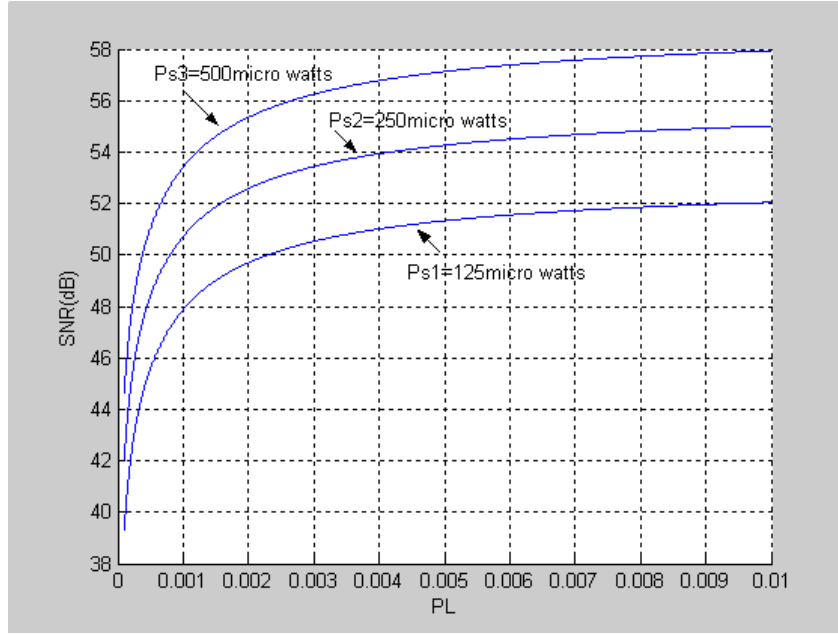
2. تأثير استطاعة الهزاز الليزي على أداء النظام:

عند دراسة تأثير استطاعة الهزاز الليزي على أداء النظام FM/IM OFDM يجب أن نأخذ بعين الإعتبار أن الهزازات الليزرية المحلية محدودة القدرة.

يوضح الشكل (7-2) نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR لنظام الكشف FM/IM OFDM التقليدي كتابع لإستطاعة الهزاز الليزي P_L عند درجة الحرارة مطلقة $T = 300K^0$ ، $\rho = 0.5A/W$ ، $P_L = 1mW$ ، واستطاعة إشارة مُستقبله $P_{s1} = 0.125mW$ ، $P_{s2} = 0.250mW$ ، $P_{s3} = 0.500mW$ نحصل على $SNR_{s1} = 48dB$ ، و $SNR \cong 51dB$ ، و $SNR = 53.5dB$ على التوالي، في حين أن باقي عوامل النظام تبقى نموذجية ثابتة.

بدراسة المنحنيات على الشكل (7-2) نجد أنه:

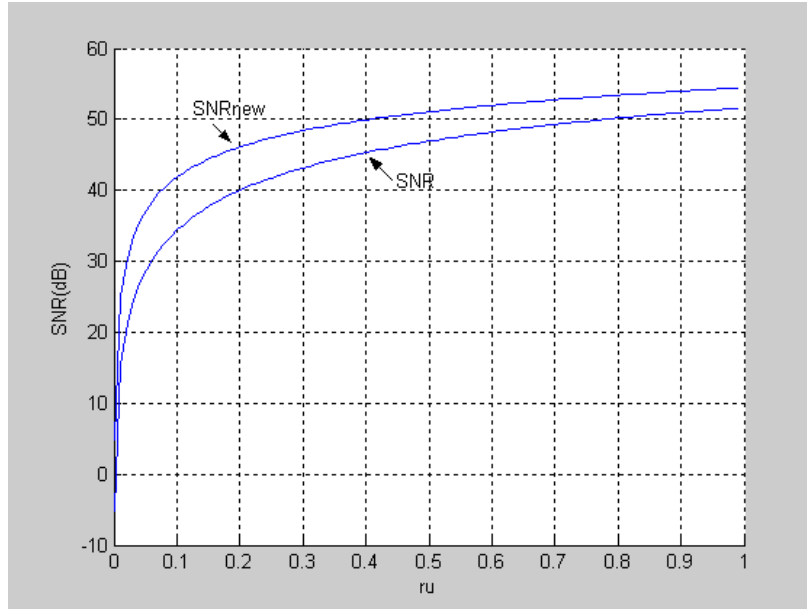
تزداد SNR بزيادة P_L ، إلا أنه عند الاستطاعات الصغيرة للهزاز المحلي نحتاج إلى استطاعة إشارة مُستقبله عالية لتحقق استقراراً جيداً لعمل النظام التقليدي FM/IM OFDM ، و هذا يؤكد حساسية أفضل لنظام الاتصال FM/IM OFDM المُقترح مقارنة بالنظام التقليدي.



شكل (7-2) SNR_{new} و SNR كتابع لاستطاعة الإشارة المرسلية P_L عند $T = 300K^0$.

3. تأثير الاستجابة على أداء النظام:

يُوضح الشكل (7-3) نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR و SNR_{new} كتابع لاستجابة النظام ρ عند درجة حرارة مطلقة $T = 300K^0$ ، $P_s = 0.1mW$ ، و $P_L = 1mW$ لنظام الكشف FM/IM OFDM المترابط التقليدي و المُقترح في حالة إهمال التشويه. في حين أن باقي عوامل النظام تبقى نموذجية ثابتة.



شكل (7-3) SNR_{new} و SNR كتابع للاستجابة ($\rho \equiv ru$) عند درجة الحرارة المطلقة $T = 300K^0$.

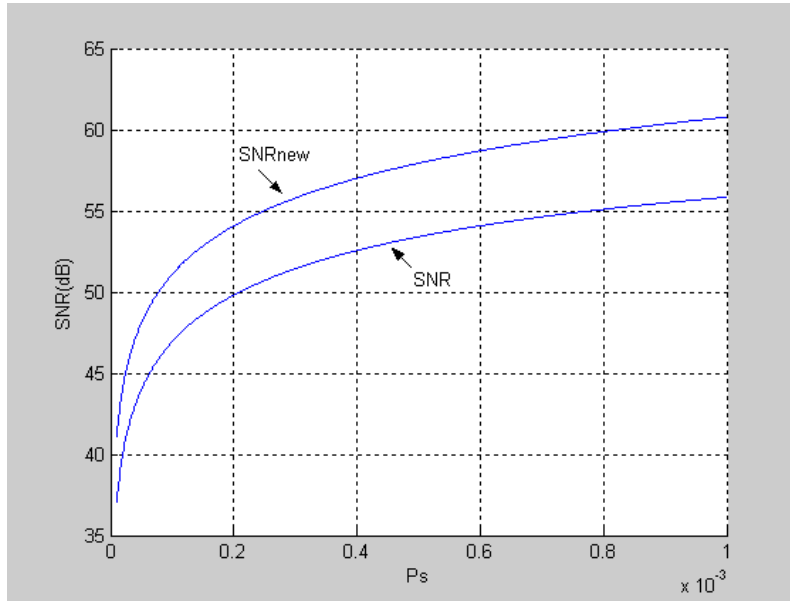
بدراسة المنحنيات على الشكل (7-3) نجد:

عند عمل النظام FM/IM OFDM باستجابة $\rho = 0.8 = A/W$ مع الحفاظ على جميع العوامل الأخرى كانت قيمة $SNR = 50dB$ و $SNR_{new} = 54dB$ للنظام التقليدي و المُقترح على التوالي. و حصلنا على

الضوئية مقارنة بالنظام التقليدي. و هذه النتيجة تؤكد أن النظام المقترح أكثر استقراراً عند الاستجابات المنخفضة للكواشف عند استجابة $SNR = 45dB$ و $SNR_{new} = 50dB$ (مُحققةً استقرار جيد لعمل النظام المقترح) عند استجابة $\rho = 0.4 = A/W$.

4. تأثير استطاعة الإشارة المُستقبلية على أداء النظام:

يُوضح الشكل (7-4) نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR و SNR_{new} كتابع ل P_s عند درجة الحرارة المطلقة $T = 300K^0$ ، و $P_L = 1mW$ ، $(\sum_{i=1}^n P_{L_i} = 10mW)$ لنظام الكشف FM/IM OFDM المترابط التقليدي و المقترح حالة إهمال التشويه. في حين أن باقي عوامل النظام تبقى نموذجية ثابتة.



شكل (7-4) نسبة الإشارة إلى الضجيج SNR و SNR_{new} كتابع لاستطاعة الإشارة المُستقبلية P_s .

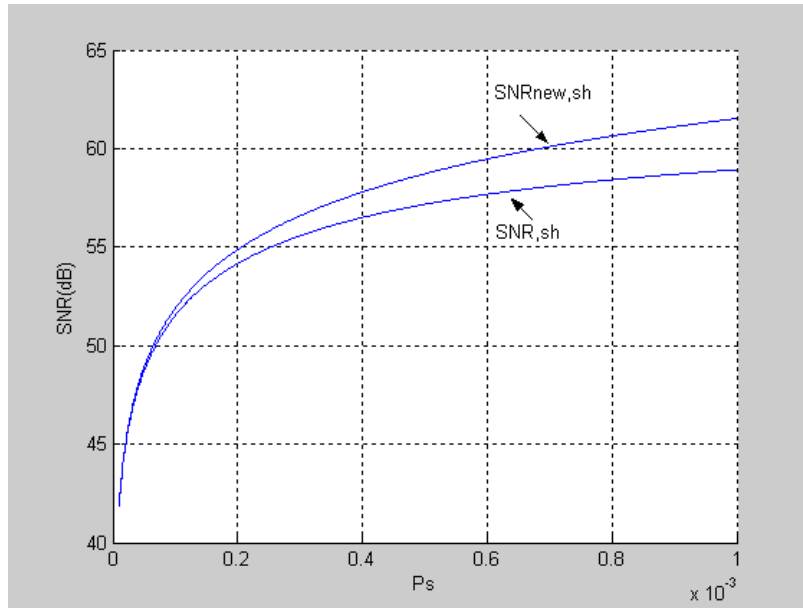
بدراسة المنحنيات على الشكل (7-4) يتضح لنا:

عند عمل النظام FM/IM OFDM المقترح و التقليدي باستطاعة مُستقبلية $P_s = 0.1mW$ نحصل على $SNR_{new} = 50dB$ و $SNR = 45dB$ على التوالي. و نحصل على $SNR = 50dB$ و $SNR_{new} = 54dB$ عند $P_s = 0.2mW$ ، و بالتالي للحصول على أداء جيد لعمل النظام التقليدي نحتاج لاستطاعة استقبال أكبر مقارنةً بأداء النظام المقترح.

5. تأثير ضجيج الإطلاق على أداء النظام بإهمال تأثير الضجيج الحراري:

يُوضح الشكل (7-5) SNR_{sh} و $SNR_{new,sh}$ كتابع لاستطاعة الإشارة المُستقبلية P_s عند $P_L = 1mW$ ، و $\rho = 0.5A/W$ و $\sum_{i=1}^n P_{L_i} = 10mW$ لنظام الكشف FM/IM OFDM المترابط التقليدي و للنظام المقترح بإهمال تأثير ضجيج الحراري. بدراسة المنحنيات على الشكل (7-5) يتضح لنا أن SNR_{sh} للنظام التقليدي أقل من مثيلاتها $SNR_{new,sh}$ للنظام المقترح. أي أن $SNR_{new,sh} > SNR_{sh}$ على كامل المجال المدروس.

و النتيجة عند إهمال الضجيج الحراري أن عمل النظام FM/IM OFDM المقترح أفضل من عمل النظام بالمستقبل التقليدي مهما كانت قيم الاستطاعة المستقبلية.

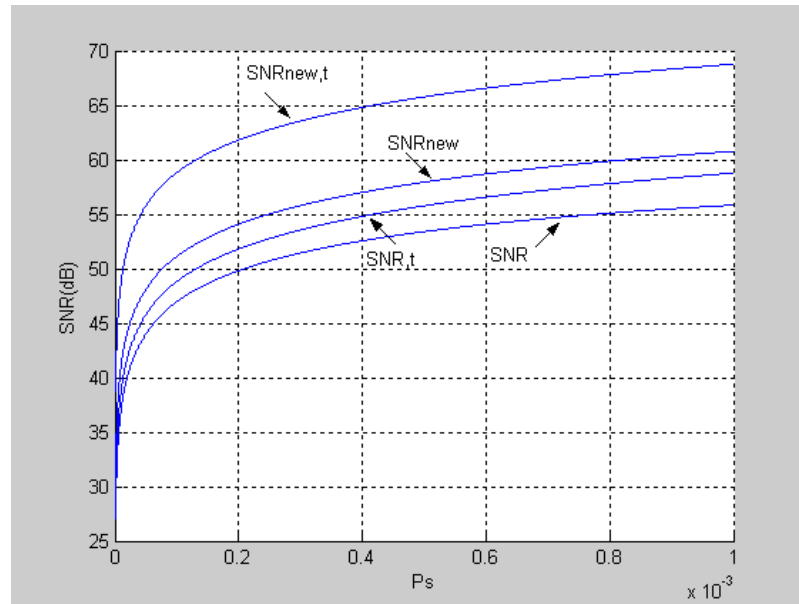


شكل (7-5) $SNR_{new,sh}$ و SNR_{sh} كتابع لاستطاعة الإشارة المرسل P_s بإهمال الضجيج الحراري.

6. تأثير الضجيج الحراري على أداء النظام بإهمال تأثير ضجيج الإطلاق:

يوضح الشكل (7-6) $SNR_{e,t}$ و $SNR_{e,t}$ كتابع لـ P_s عند $P_L = 1mW$ و $\rho = 0.5A/W$

و $\sum P_L = 10mW$ للنظام FM/IM OFDM المترابط التقليدي و المقترح بإهمال تأثير ضجيج الإطلاق.



شكل (7-6) $SNR_{new,t}$ ، SNR_t و SNR_{new} ، SNR كتابع لـ P_s بإهمال و بدون إهمال ضجيج الإطلاق.

و بدراسة المنحنيات على الشكل (7-6) نجد:

إن كلا النظامين FM/IM OFDM التقليدي و المُقترح يتأثران بالضجيج و بشكل ملحوظ عند القيم الصغيرة للإشارة المُستقبلية. إلا أنه و على كامل المجال المدروس للاستطاعة المُستقبلية بقيت $SNR_{new} > SNR$. عند القيم الكبيرة لـ P_s و بإهمال ضجيج الإطلاق كلا النظامين التقليدي و المُقترح أقل تأثراً بالضجيج الحراري و إنهما يتأثران بشكل ملحوظ عند القيم الصغيرة للإشارة المُستقبلية. و لكن بقي النظام المُقترح أقل تأثراً بالضجيج الحراري مُقارنةً بنظام الكشف التقليدي و بقيت $SNR_{new,t} > SNR_t$ على كامل المجال المدروس للاستطاعة المُستقبلية.

و النتيجة عند إهمال ضجيج الإطلاق فإن عمل النظام FM/IM OFDM المُقترح أفضل من عمل النظام التقليدي مهما كانت قيم الاستطاعة المُستقبلية.

الاستنتاجات والتوصيات:

1. نظام الاستقبال OFDM التقليدي أكثر تأثراً بدرجة الحرارة مُقارنةً بالنظام المُقترح.
2. النظام OFDM المُقترح أكثر استقراراً عند الاستجابات المنخفضة للكواشف الضوئية مُقارنةً بالنظام التقليدي.
3. النظام OFDM المُقترح أكثر حساسية باستطاعة الإشارة المُستقبلية P_s مُقارنةً بالنظام التقليدي.
4. نظام الاستقبال OFDM المُقترح أقل تأثراً بالضجيج (الطلقات و الحراري) مُقارنةً بالنظام التقليدي.

وبذلك نوصي باستبدال المضخمات الإلكترونية بالهزازات الضوئية في نُظم الاتصالات ذات تجميع التقسيم الترددي البصري FM/IM OFDM مما يحقق بنية متلائمة و تحسناً ملحوظاً بأداء النظام.

المراجع:

- [1]. CLIFFORD, H.; GOVIND, AGRAWAL, P.; *Raman Amplification in Fiber Optical Communication Systems*. Printed in the United States of America, Copyright 2005, 372.
- [2]. GERD, K.; *Optical Fiber Communications*. McGraw-Hill, Inc. New York, Copyright 1991, 461.
- [3]. VASUDEVAN, V., S.; LIU, X.; and KOLLMANSBERGER, K.; *IPTV Architectures for Cable System: An Evolutionary Approach*. IEEE Communication Magazine, Vol. 46, No. 5, May 2008, 102-118.
- [4]. T.-W. Oh, J.-H. Shin, H. D. Kim, C.-H. Lee, M. S. Lee and B. Y. Lee. Kim; *Bidirectional erbium-doped fiber amplifier with non reciprocal optical filter*. ELECTRONICS LETTERS, Vol. 37, No. 5, 1st March 2001, 283-284.
- [5]. صنيح، جورج، الاتصالات بالألياف البصرية (ترجمة). المركز العربي للتعريب و الترجمة و التأليف والنشر - الطبعة الأولى 1992، الصفحات 608.
- [6]. مخول، مخايل، تقليل التأثيرات السلبية لعدم خطية المعدلات الليزرية على أداء النظام الضوئي المترابط SCM AM/VSB CATV. مجلة جامعة تشرين للدراسات و البحوث العلمية، سلسلة العلوم الهندسية، 2005، الصفحات 113-132.
- [7]. مخول، مخايل، نظم الاتصالات. جامعة تشرين، 2007-2008، الصفحات 640.
- [8]. جركس، تاج الدين؛ علي، صادق، نظم الاتصالات السلكية. جامعة تشرين، 2005-2006، الصفحات 362.
- [9]. علي، سهيل، معالجة الإشارة. جامعة تشرين، 1989، الصفحات 343.
- [10]. الصابوني، هدى، معالجة الإشارة. جامعة حلب، 1986، الصفحات 427.
- [11]. MATHLAB & Simulink, R2009 Multiplatform, WWW.mathworks.com.