تصميم وتشغيل دائرة تضمين موقع نبضة لليزر أشباه الموصلات المستخدم في الاتصالات البصرية

سلمى محمد حسين* ؛ رنا اسامه مهدي* و عمار هادي جريز**

* قسم العلوم التطبيقية، الجامعة التكنولوجية.

**كلية التربية، قسم الفيزياء، جامعة بغداد.

الخلاصة

في هذا البحث، جرى تصميم وبناء وتشغيل منظومة تضمين موقع وعرض النبضة لاستخدامها في أجراء التضمين لليزر أشباه الموصلات المستخدم في منظومات الاتصالات البصرية. أظهرت النتائج النظرية والعملية المستحصلة ان هذه المنظومة تعمل باستقرارية وموثوقية مقبولين. تعتمد هذه المنظومة في عملها على فولتية تشغيل قليلة وإمكانية التحكم بالتردد من خلال التحكم بقيم المقاومة والمتسعة في دائرة امرار تربط مع هذه المنظومة . يعد هذا البحث محاولة لتصميم منظومات التضمين وبنائها على شكل مدمج مثل الدائرة المتكاملة لتكون صالحة للاستخدام في معماريق الاتصالات البصرية الحديثة.

المقدمة

تعتبر دوائر التضمين Modulation من أهم الدوائر الإلكترونية في نظم الاتصالات السلكية . وتعتبر الموجات المضمنة أساس عمل البث الإذاعي والتلفزيوني للسهولة التقنية في إرسال الموجات الحاملة ذات الترددات العاليه بالاشعاع (الانتشار) خلال الجو. كما ان الموجات المضمنة يمكن اختيارها من طيف ترددي يحتوي علا موجات أخرا باستخدام دوائر اختيار إلكترونية وتستخدم الموجات المضمنة أيضا في كثير من المقاييس الالكترونية مثل مقياس الانفعال الإلكتروني وفي منضومات القياس عن بعد (Telemetry) وشبكات اتصال الحاسبات (3-1)هن انضمة الاتصالات الحديثة تستند بشكل كبير الى الترددات الراديوية (RF) والموجات المايكروية (MW) ولقد اهملت طرق الاتصالات الضوئية لعدم كفاية الاجهزة المتوفرة بالاضافة الى عدة اسباب تقنية منها صعوبة ارسال حزمة ضوء خلال جو الارض، وكون معظم انضمة الاتصالات تعمل على اساس تضمين تردد الناقل (carrier frequency) مع الاشارة بحيث يستخدم واحد للاشعاع لارسال عدد من الاشارات المستقلة وبترددات مختلفة (Channels) لغرض زيارة عدد القنوات المتوفرة يكون من المستحسن تضمين التردد الناقل لاكبر ممكن مقدار 10 % من التردد الحقيقي. وان صعوبات تضمين موجة الضوء الى هذه الدرجة تكون كبيرة (6-4).

لقد وفر اكتشاف الليزر مصدرا مثاليا للاشعاع لنضام الاتصالات الضوئية ولم يكن هذا السبب كافيا لاعادة الاهتمام بالطرق الضوئية التي اعيد التفكير بها لسنين وان من الاسباب الاخرى هي بروز الحاجة لانظمة الاتصالات الفضائية التي تتطلب معدات مدمجة (compact) قليلة الوزن جعلت حزمة الليزر الضيقة وقليلة الانفراج وذات كثافة القدرة العالية جدا مرشحا مثاليا . وعلى الرغم من مشاكل الجو والتي لا تظهر في انظمة الفضاء و فان الاتصالات الضوئية الارضية توفر حلا مباش را لتحديد عرض النطاق لانظمة التقليدية. يمكن تسمية اكثر انظمة الاتصالات عن بعد (Telecommunication) المعقدة في الوقت الحاضر بانظمة نقطة-الى- نقطة (Point-Point) التي تحمل مختلف القنوات من الهواتف الى التلفزيون الملون . يمكن ان يصل التردد الناقل في هذه الانظمة الى 12 X 10 HZ والاي يناظر موجة مايكروية طولها الموجي (2.5 CM) بالامكان تحقيق ترددات اعلى من ذلك ولكن عند التردد 24 GH z يكون الامتصاص في الجو كبيرا وعند التردد (35 GH z) تظهر مشاكل عديدة اخرى في التضمين والارسال والكشف (14- 6).

في الوقت الحاضر، يتم تحقيق انظمة ارسال ذات سعة عالية جدا عن طريق مضاعفة عدد الانظمة ذات السعة القليلة والترددات الواطئة. وعلى الرغم من هذا الوضع يكون مقبولا في الوقت الحاضر فان التوسع السريع

والمستمر في الاتصالات يدعو الى ايجاد حل اخر . وان انظمة الاتصالات الوئية التي تستعمل الل يزرات توفر الجواب اذ يتراح مدى الترددات الضوئية بين Hz (10−10)، لذلك فان تضمينا بمقدار (% 0.1) يعني زيادة هائلة في عدد القوات المتوفرة وكما في الجدول (1). يعد الليزر مثاليا للاتصال اذا كان يمتلك قدرة خرج مستمرة وكبيرة ومتانة عالية وعمر طويل وامكانية العمل بدرجة حرارة الغرفة وله استقرارية تردد كبيرة وتشاكه فضائي وزماني جيد مع سهولة اجراء التضمين عليه. ان ليزر شبه الموصل زرنيخيد الكاليوم المطعم بالالمنيوم (AIGaAs) له ميزة منفردة في ذلك لسهولة التضمين بمقدار Hz 10 عن طريق تضمين تيار الدخل المستمر ، كذلك له عمر تشغيل طويل جدا، سومع ذلك فانه يعاني من صغر التشاكه الفضائي والزمني ويحتاج الى التبريد الفائق (20 − 15).

هناك صنفان من الموجات المضمنة ، احدهما تكون فيه الموجة جيبية، اما في الاخرى فيجري التضمين على احد خصائص حزمة متكررة من النبضات وهو ما يعرف بالتضمين النبضي (Pulse Modulation) فاذا اعتبرنا اشارة موجة حاملة كما في المعادلة الاتية :

$$E(t) = E \sin 0(t) \quad \text{.....(1)}$$

حيث E (t) القيمة اللحظية للموجة الحاملة، E اتساع الموجة ، 0 (t) الازاحة الطورية و t الزمن.

يمكن تعريف التضمين على انه عملية تغير احد معلمات (Parameters) الموجة الحاملة (Carrier) والتي عادة تكون جيبية (Sinusoidal) وفقا لاشارة المعلومات . وان الاشارة الحاملة E (t) يمكن بصورة عامة ان تكتب كالاتي :

$$E(t) = Ac \cos(2\pi fc - \theta c) \quad \text{.....(2)}$$

حيث ان Ac يمثل الاتساع، Fc تمثل التردد، Oc تمثل الطور. ان التضمين النبضي يمكن ان ياخذ اشكال مختلفة هي التضمين الاتساعي النبضي (PAM) وتضمين موقع النبضة (PPM) وتضمين عرض النبضة (PWM) والتضمين النبضي الجفري(PCM).

عند اجراء النمذجة على الاشارة مقارنة بنبضة ضيقة جدا فاننا نحصل على المكافى العملي لنمذجة النبضة (IMPUSE) هذه النماذج يمكن استخدامها لتضمين الموقع او الفترة الزمنية للنبضات في رتل النبضات الدوري . ينتج تضمين مدة النبضة (PDM) عند تغير وقت حدوث الحافتين المتقدمة والمتاخرة او احداهما نسبة لاشارة الانطاق الاساس. وتسمى هذه العملية بتضمين موقع النبضة (PPM) (17−18).

اذا كانت الموجتان المضمنتان e1 (t) و e0 (t) غير متراكبتين في الزمن. فان الموجتين S1 (t) و S 0 (t) ستكونان متعامدتين وهذا احد انواع تضمين موقع النبضة . لندرس النبضات المضمنة ذات الاشكال الاتية (2−1):

$$e_1(t) = \left(\frac{4E}{T}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad 0 < t \le \frac{T}{2}$$
$$= 0 \qquad \frac{T}{2} < t \le T \quad \text{.....(3)}$$

$$e_o(t) = 0 \qquad 0 < t \le \frac{T}{2}$$
$$= \left(\frac{4E}{T}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \frac{T}{2} < t \le T \quad \text{.....(4)}$$

يلعب التضمين دورا مهما سفي نضم الاتصالات عموما لحويل التردد (Frequency Conversion)، ومع ذلك فان له اغراض اخرى منها تخصيص موقع الترددات (FLA) وتغير عرض الحزمة (Bandwidth Alteration) وزيادة كفائة الاشعاع ، اذ ان الاشارات المسموعة (Audio) لها مركبات تردد بحدود Hz 100 او اقل وهذا يتطلب هوائيات بطول موجي km 300 = اذا اريد ارسالها مباشرة وهذا غير ممكن عمليا . لذا يمكن ان يتم اختزال طول الهوائي الى m 300 = بازاحة هذا التردد الى MH z 1. كما يمكن استخدام الضمين لتقليل الضوضاء والتداخل اذ ان انواعا معينة من التضمين النبضي لها خاصية تقليل الضوضاء والتداخل ولكن على حساب عرض حزمة الارسال (معدل التردد) وذلك يحتم زيادة عرض الحزمة الاصلية. ويمكن التغلب على تحديدات الاجهزة اعتمادا على التضمين اذ يكون تصميم نظام معين محددا بالاجهزة المتوفرة واداء هذه الاجهزة يعتمد على

الترددات المستخدمة وان الضمين يمكن ان ينقل الاشارة الى ذلك الجزء من طيف التردد الذي عنده تكون تحديدات الاجهزة اقل ما يمكن(12 و8 و5 – 1).

الجانب العملي

جرى استخدام برنامجي (EWB 5. 12) و (CIRMAKER 5.0) لتصميم الدائرة التي تخدم الهدف من هذا البحث وتشغيلها قبل تنفيذها عمليا . كذلك جرى استخدام برنامج (EDS 1. 2) لتشغيل الدائرة والحصول عاى جدول الحقيقة لها وكما مبين في الجدول (2). استخدمت نفس البرامج السابقة لمحاكاة اداء الدائرة حيث يمكن في هذا البرنامج تغير قيم المقاومات والمتسعات وتردد الاشارة الداخلة والحصول على نتائج التشغيل والاداء قبل تنفيذ الدائرة عمليا.

تم ربط اجزاء الدائرة المصممة الى دائرة RC كما مبين في الشكل (11) لغرض التعرف على شكل الا شارة الخارجة وتاثير قيم المتسعة C والمقاومة R على عرض الاشارة الخارجة . يتم تزويد الاشارة الداخلة من مولد الاشارات (Function generator) حيث يمكن التحكم بشكل االشارة وترددها وسعتها وادخالها الى الدائرة عن طريق الطرف (5) فيما يتم الحصول على الاشارة الخارجة عن طريق الطرف(6) الى اوسيلسكوب خازن نوع TEKTRONIX 100MHz DIGISCOPE حيث يمكن قياس تردد وسعة وعرض الاشارة الخارجة والمقارنة ما بين الاشارة الاصلية والاشارة المضمنة.

استخدمت دائرتان من نفس النوع (6) تدخل الى الدائرة الثانية عن طريق الطرفين المقترنين (4 & 3). يتم الحصول على الاشارة الداخلة الى الدائرة الاولى عن طريق نفس مولد الاشارات المستخدم في الحالة السابقة وكذلك تسجيل الاشارة الخارجة من الدائرة الثانية على نفس جهاز الاوسيلسكوب. ججرى بعد ذلك تجميع اجزاء الدائرة داخل علبة بلاستيكية (Package) بحجم cm (3mm) وعمل توصيلات خارجية لاطرافها لتمثل دائرة متكاملة يمكن استخدامها بشكل مباشر وموثوق.

يمكن استخدام الاشارة الخارجة من دائرة التضمين هذه في تشغيل ليزر اشباه الموصلات المستخدم في الاتصالات البصرية والذي يحتاج فولتية تشغيل تتراوح ما بين V (0 . 5–5 . 1) والشكل(2) يبين الترتيب العملي لاستخدام هذه الدائرة مع ليزر اشباه الموصلات.

النتائج والمناقشة

يوضح الشكل(3) نتائج تشغيل الدائرة باستخدام برنامجي EWB 5. 12 (3ا) و CIRMAKER 5 . 0 (3ب) ويلاحظ ان الدائرة يمكنها التحكم بعرض وموقع النبضة بشكل جيد مما شجعنا على تنفيذ الدائرة عمليا.

يبين الشكل (4) الاشارة المستخدمة كاشارة ادخال (input signal) عن طريق الطرف(5) من الدائرة الاولى وهي اشارة مربعة يمكن التحكم بسعتها وترددها . فيما يوضح الشكل (5) التغير الحاصل في عرض الاشارة المربعة الخارجة من الدائرة الاولى اذ يزداد عرض الاشارة بسبب التاخير الحاصل في خروج الاشارة من الدائرة بسبب دائرة RC التي تفرض تاخير زمنيا مقداره (0. 7RC) كما مر ذكر ذلك سابقا يمن اعتبار هذه الاشارة الخارجة مضمنة ايضا اذ ان تغير عرض النبضة هو احد انواع التضمين انبضي (PWM). ولكن هذه الاشارة لا يمكن الاستفادة منها بشكل كبير في تضمين ليزر اشباه الموصلات المستخدم في الاتصالات البصرية الان التاخير الحاصل في عرض النبضة يمكن ان يسبب تسخين الليزر وكما هو معلوم فان تراكيب اشباه الموصلات تكون شديدة التاثير والحساسية لاي تغير في درجة حرارة التركيب وهذا يؤثر سلبا على اداء الليزر.

يوضح الشكل (6) الاشارة المربعة الداخلة الى الدائرة الثانية بينما يلاحظ تغير موقع النبضة في الاشارة الخارجة من الدائرة الثانية في الشكل (7) اذ ان زيادة عرض الاشارة بسبب التاخير الحاصل في خروج الاشارة من الدائرة بسبب دائرة RC الاولى (0.7R1 C1) يسبب تاخير صدور الاشارة الاصلية من الدائرة الثانية وبالتالي تغير موقعها على الرتل النبضي (Pulse train) وفي نفس الوقت يسبب هذا التاخيي صدور الاشارة النهائية بنفس العرض (Width) الذي دخلت به الاشارة الاصلية اعتمادا على قيمة دائرة RC الثانية (0. 7R2 C2).

جرى تغير تردد الاشارة الداخلة الى منظومة ليزر اشباه الموصلات عن طريق تضمين قدرة التشغيل وقياس التغير المتوقع في تردد الاشارة الخلرجة والتي هي اشارة الليزر

على الكاشف الضوئي ، وقد اوضحت النتائج المبينة في الشكل(8) ان تردد الاشارة الخارجة لا يعتمد على تردد الاشارة الداخلة لانه يمثل اصلا مقلوب الثابت الزمني (t= RC) الذي يتحدد بدوره بقيمتي المقاومة والمتسعة في دائرة الامرار (RC). تمتاز دوائر التضمين النبضي باستقرارية التردد وذلك لان يزر ات اشباه الموصلات المستخدمة في الاتصالات البصرية تمون حساسة جدا للتغير في تردد اشارة التضمين . اذا كانت خصائص الدائرة المتكاملة المعتمدة على التردد مستقرة ، فان ذلك يجعلها مؤهلة اكثر للاستخدام بشكل واسع في دوائر الاتصالات والتضمين.

جرى تغير قيمة المتسعة(C2) قياس تاثير ذلك على قيمة الثابت الزمني RC لكل من الدائرتين وبالتالي تاثير ذلك على تردد الاشارة الخاجة من الدائرة . والشكل(9) بين ثاثير تغير قيمة المتسعة على تردد الاشارة الخرجة من الدائرة الثانية وبذلك يمكن التحكم بتردد التضمين الخارجة الى الليزر من خلال استخدام متسعة متغيرة للحصول على القيمة المطلوبة لتردد التضمين.

وجد عمليا ان القيم المثلى لمتسعة دائرة الامرار تتراوح ما بين (100 f - 10pf) فيما تراوح القيم المثلى للمقاومة ما بين (40– 1.4) اذ تتراوح قيمة الثابت الزمني (RC) ما بين (2. 8S - 9.8NS).

الاستنتاجات

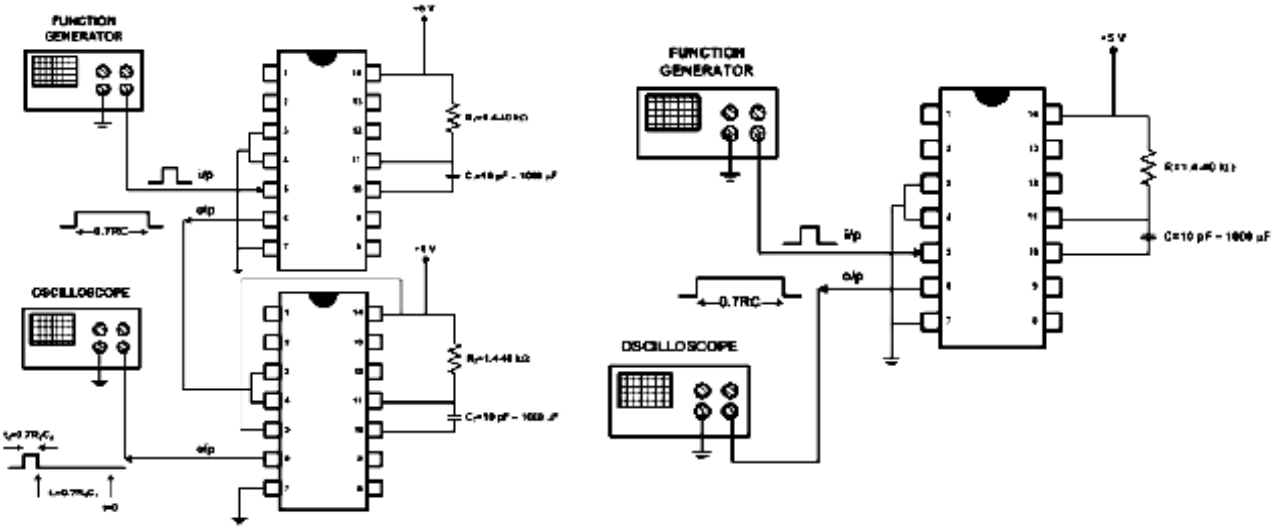
من النتائج المستحصلة، نستنتج انه يمكن تصميم دائرة متكاملة لبناء دائرة تضمين يمكنها اجراء نوعين من التضمين النبضي في وقت واحد هما تضمين عرض النبضي (PWM) وتضمين موقع النبضة (PPM) . يمكن التحكم بتردد الاشارة الخارجة من دائرة تضمين موقع النبضة من خلال التحكم بقيم المتسعة والمقاومة في دائرة الامرار (RC) . لا يتاثر تردد الاشارة الخارجة من دائرة تضمين موقع النبضة بتردد الاشارة الداخلة وهذه تعد ميزة لمثل هذه الدوائر . يمكن استخدام هذه الدائرة لتضمين ليزرات اشباه الموصلات المستخدمة في الاتصالات البصرية اذ يمكن لهذه الدوائر ان تعمل بفولتيات قليلة كالاتي تعمل بها هذه الليزرات.

جدول (1) مقارنة عدد قنوات الهاتف والتلفزيون التي يمكن إرسالها على مختلف أنواع الحاملات [4]

Carrier Type	Frequency Range	Usable Bandwidth	Approximate Number of Telephone Channels	Approximate Number of TV Channels
LW	30kHz – 300 kHz	10%	3	-
MW	300kHz – 3MHz	10%	25	-
SW	3MHz – 30MHz	10%	200	-
VHF	30MHz – 300MHz	10%	4000	-
UHF	300MHz – 3000MHz	10%	10.000	10
Microwave	3000MHz – 10^{12}Hz	10%	100.000	100
Optical	5.10^{13} Hz - 10^{15}Hz	0.1%	10^{8}	10^{3}

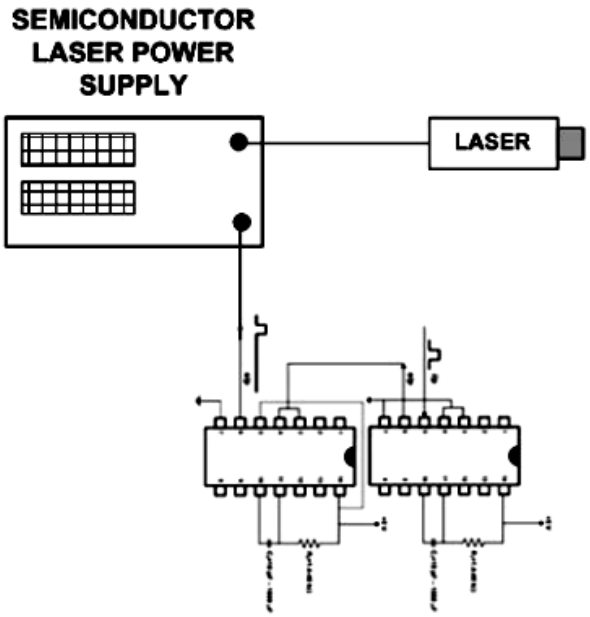
جدول (2) جدول الحقيقة للدائرة المتكاملة المصممة في هذا البحث باستخدام برنامج EDS1.2

Input conditions			Output mode
A1	A2	B	
1	1	Any	Inhibit
Any	Any	0	Inhibit
↓	1	1	Trigger
1	↓	1	Trigger
↓	↓	1	Trigger
0	1	↑	Trigger
1	0	↑	Trigger
0	0	↑	Trigger

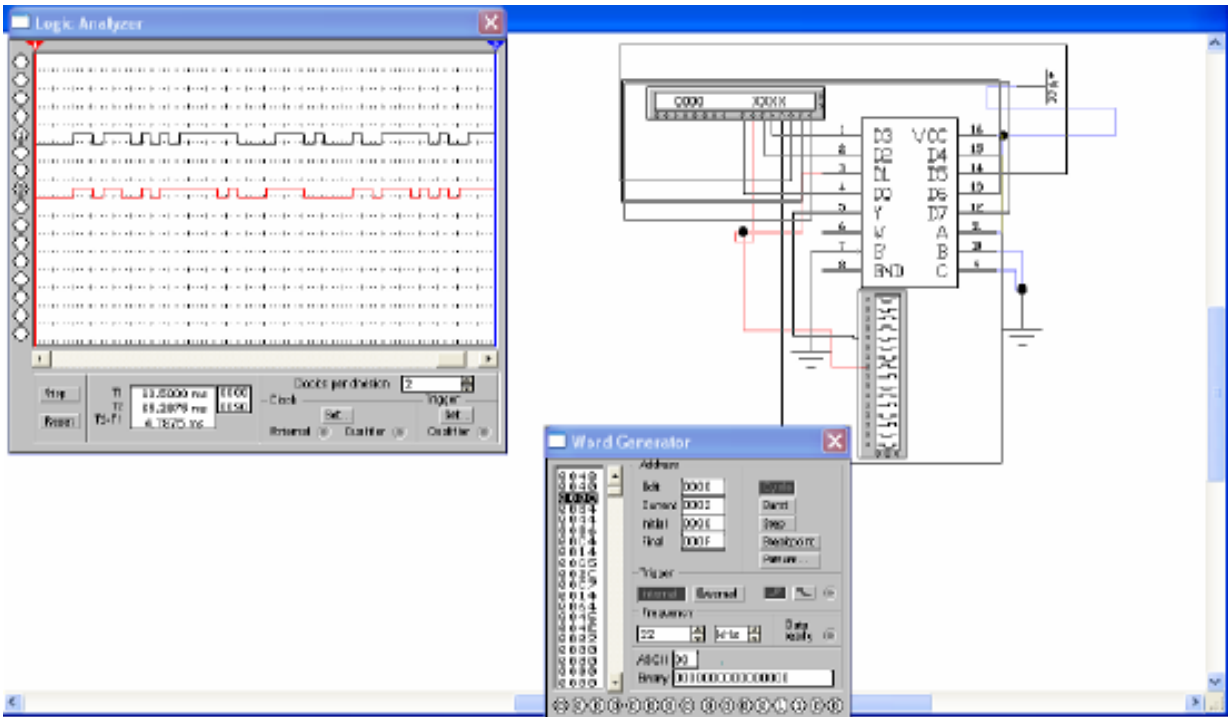


(أ) (ب)

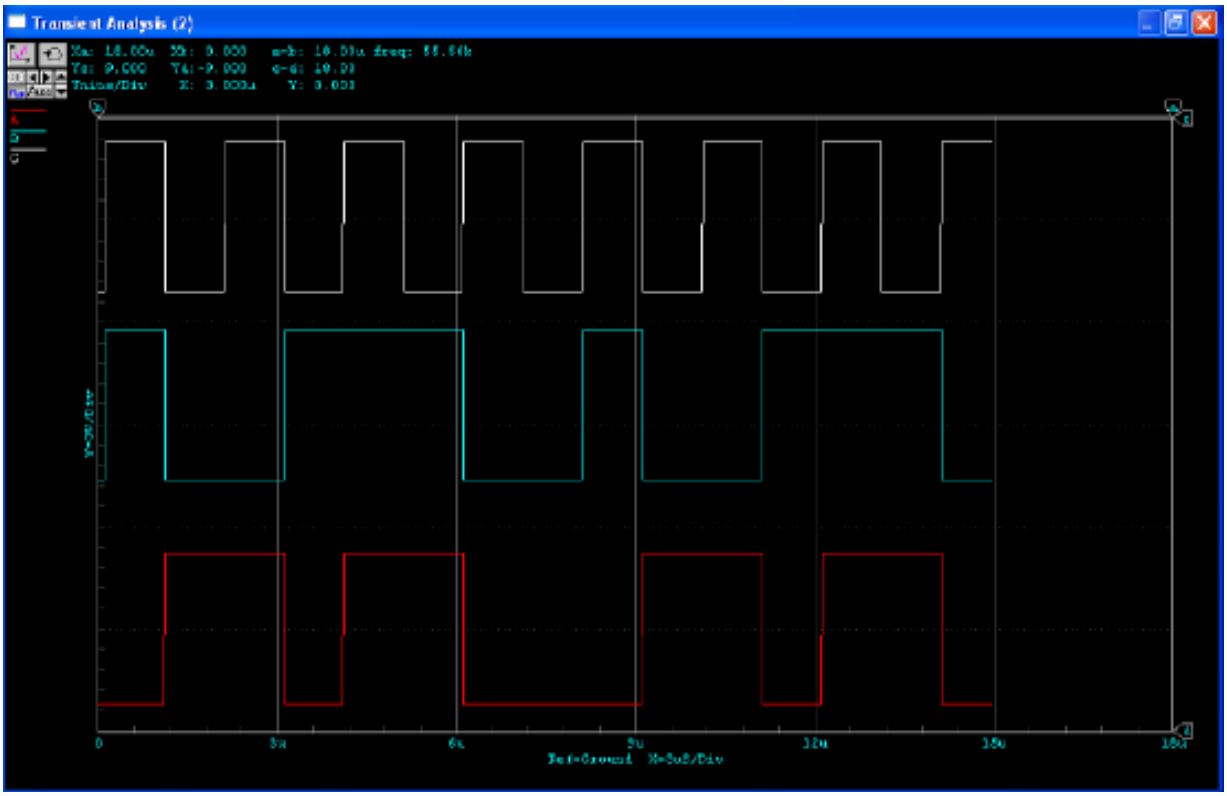
شكل (1) الترتيب العملي لقياس تردد وسعة وعرض الإشارة الخارجة
(أ) باستخدام دائرة واحدة و (ب) باستخدام دائرتين



شكل (2) الترتيب العملي لتضمين موقع النبضة لليزر أشباه الموصلات



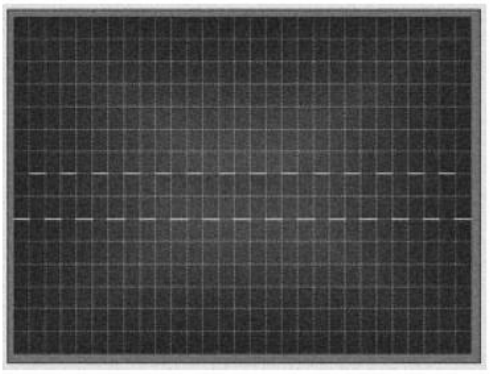
(أ)



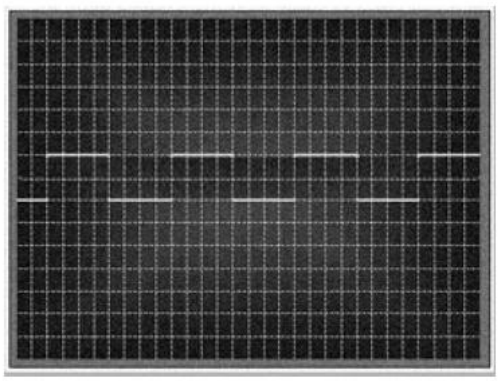
(ب)

شكل (3) نتائج تشغيل الدائرة المتكاملة المصممة في هذا البحث باستخدام

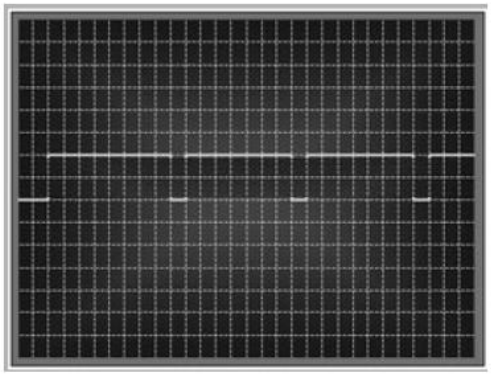
(أ) برنامج EWB 5.12 و (ب) برنامج CIRMAKER 5.0



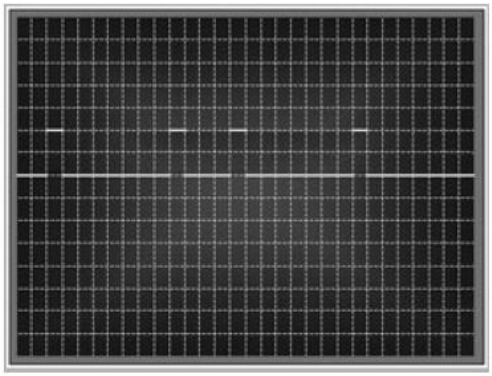
شكل(4) الاشارة الداخلة الى الدائرة المتكاملة من مولد الإشارات



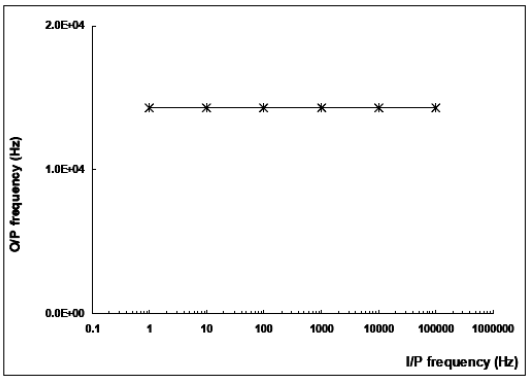
شكل(5) شكل الإشارة الخارجة في حالة استخدام دائرة واحدة



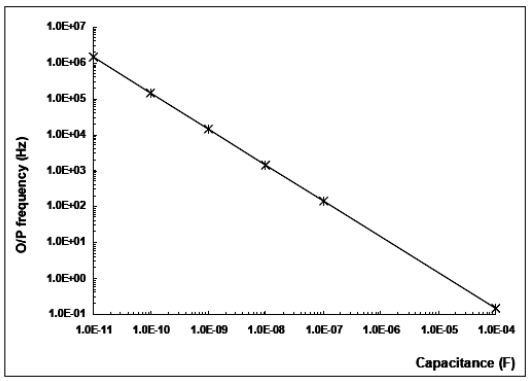
شكل (6) شكل الإشارة الداخلة الى الدائرة الثانية



شكل (7) شكل الإشارة الخارجة من الدائرة الثانية



شكل (8) ثبوت تردد الإشارة الخارجة مع تغير تردد الداخلة



شكل (9) تغير تردد الإشارة الخارجة مع تغير سعة المتسرعة في دائرة RC الثانية

المصادر

[1] M.H. Jones, "A Practical Introduction to Electronic Circuits", 2nd edition, Cambridge University Press (UK), 1985.

[2] J. M. Senior, "Optical Fiber Communications: Principles and Practice", Prentice Hall International (UK), 1985.

[3] F.G. Stremler, "Communication Systems", 3rd Edition, Addison Wesley, 1992, pp 168- 176, pp 130-145.

[4] M.M. Liu, "Principles and Applications f Optical Communications", McGraw-Hill Co., Inc., 1996.

[5] A. Yariv, "Optical Electronics in Modern Communications", 5th edition, Oxford University Press (NY), 1997.

[6] A.G. Williams and E.F. Lewise, "Characterization of cyclostationary random signal processes," IEEE Transactions on Information Theory, Vol. IT-21, 1975, p. 1.

[7] Y. Ueno, Y. Ohgushi and T. Yasugi, "An optical fibre cable communication system using pulse-interval-modulation," IEE 1st European Conf. on Optical Fibre Communication, 1975, pp 156-158.

[8] M. Sato, M. Murata and T. Namekawa, "Pulse interval and width modulation for video transmission," IEEE Trans. on Cable Television, Vol. CATV-3, 1978, pp. 165-173.
[9] A. Okazaki, "Pulse interval modulation applicable to narrowband transmission," IEEE Transactions on Cable Television; Vol. CATV-3, 1978, pp. 155-164.
[10] Y. Ueno and T. Yasugi, "Optical fibre communication systems using pulse-interval modulation," NEC Research & Development, 1978, pp. 45-52.
[11] A. Okazaki, "Still picture transmission by pulse-interval modulation, IEEE transactions on cable television", Vol. CATV-4, 1979, pp. 17-22.
[12] N.M. Calvert, M.J.N. Sibley and R.T. Unwin, "Experimental optical fibre digital pulseposition modulation system," Electronic Letters, Vol. 24, No. 2, 1988, pp 129-131.
[13] B. Wilson and Z. Ghassemlooy, "Pulse time modulation techniques for optical fibre communications: a review," IEE Proc. J, Vol. 140, 1993, pp. 346-357.
[14] J. Elmirghani and R. Cryan, "Analytic and numeric modelling of optical fibre PPM slot and frame spectral properties with application to timing extraction," IEE Proc. on Commun., Vol. 141, No. 6, 1994, pp. 379-389.
[15] Z. Ghassemlooy, E. Kaluarachchi, R. Reyher and A. Simmonds, "A new modulation technique based on digital pulse interval modulation for optical-fibre communication," Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 10, N. 1, 1995, pp. 1-4.
[16] D.C. M. Lee, J.M. Kahn, and M.D. Audeh, Trellis-Coded Pulse-Position Modulation for Indoor Wireless Infrared Communications, IEEE Transactions on Communications, Vol. 45 No. 9, 1997, p. 1080.
[17] V. Vilnrotter, M. Simon and T. Yan, The Power Spectrum of Pulse-Position Modulation With Dead Time and Pulse Jitter, TMO Progress Report 42-133 May 15, 1998.
[18] D. Shiu, and J. Kahn, Differential Pulse-Position Modulation for Power-Efficient Optical Communication, IEEE Transactions on Communications, Vol. 47 No. 8, 1999, p. 1201.
[19] J. Loughry and D.A. Umphress, Information Leakage from Optical Emanations, ACM Transactions on Information and System Security, Vol. 5, No. 3, 2002, pp. 262–289.
[20] U. Sethakaset and T. Aaron Gulliver, Differential Amplitude Pulse-Position Modulation for Indoor Wireless Optical Communications, European Journal on Applied Signal Processing, Vol. 1, 2005, pp. 3-11.

Abstract

In this work. A PPM-PWM system designed. constructed and operated to be employed for modulation of semiconductor lasers used in optical communication system The simulation and experimental results– obtained from this work–showed that this modulation system has acceptable stability and reliability. this system is operated at low voltages and the output frequency can be controlled by according to the values of resistors and capacitors in the passing circuit connected to this system. This work is an attempt to design modulation systems and make them compact as the integrated circuit to be suitable for the modern optical communications architectures.