

التحكم عن بعد باستخدام الليزر نصف الناقل: تخفيف أثر الضجيج الضوئي وأثر الأمطار على نقل الإشارة الليزرية

* أسعد عباس

** أحمد إبراهيم

(تاريخ الإيداع ٢٠ / ٩ / ٢٠٢٠ . قبل للنشر ١٤ / ١ / ٢٠٢١)

الملخص

تمت دراسة عدة طرق لتخفيف أثر الضجيج الضوئي ثابت الشدة وتخفيف أثر الأمطار على عملية التحكم عن بعد (أو إرسال الرسائل المشفرة)، وذلك من خلال اختيار مناسب لطريقة الترميز المناسبة من جهة، وتحسين كفاءة دارة الاستقبال من جهة ثانية. وقد تم استخدام ثلاثة طرق في الترميز؛ الأولى: يتم الترميز فيها بعدد معين من نبضات متماثلة في الزمن. الثانية: يتم الترميز فيها بنبضة واحدة فقط ذات مجال زمني محدد بحيث يمكن اختيار زمن تشغيل النبضة من ضمن هذا المجال. الثالثة: يتم الترميز فيها بنبضة واحدة فقط ولكن لكل نبضة زمن محدد وليس مجال زمني.

وتم استخدام ليزر نصف ناقل ذو طول موجة (630nm) واستطاعة وسطية (4mW). وقد تبين أن طرق الترميز الثلاثة فعالة بوجود الضجيج الضوئي ثابت الشدة، أما بوجود الأمطار فإن طريقة الترميز الأفضل هي الطريقة الثانية بشرط أن تكون النبضة شديدة القصر. وقد تم اقتراح طرق لتحسين كفاءة دارة الاستقبال في كل من الحالتين السابقتين.

الكلمات المفتاحية: ليزر نصف ناقل، التشفير، الترانزستور الضوئي، الضجيج الضوئي.

*مدرس - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

** طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا.

Remote control with semiconductor laser: Reducing the effect of optical noise and the effect of rain on the transmission of the laser signal

*Asaad Abbas

** Ahmad Ibrahim

(Received 20 / 9 / 2020 . Accepted 14 / 1 / 2021)

ABSTRACT

Several methods have been studied to mitigate the effect of constant-intensity light noise and mitigate the impact of rain on the remote control process (or send encrypted messages), by choosing a suitable coding method on the one hand, and improving the efficiency of the receiving circuit on the other hand. Three coding methods are used: The First: It is coded by a certain number of pulses that are identical in time. The second: it is coded by only one pulse with a specific time range so that the operating time of the pulse can be chosen from within this range. The third: It is coded by one pulse only, but each pulse has a specific time and not a time range.

It is used a semiconductor laser with wavelength (630nm) and average Capability (4mW).

It was found that the three coding methods are effective in the presence of light noise of constant intensity, but in the presence of rain, the best coding method is the second method, provided that the pulse is very short. Methods have been proposed to improve the efficiency of the receiving circuit in each of the previous two cases.

Keywords: Semiconductor Laser, Encrypt, Phototransistor, Light noise

*Teacher, Department of Physics, Faculty of science, Tishreen University , Lattakia, Syria.

**Postgraduate Student, Department of Botany, Faculty of science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

لعل أهم المعوقات التي تحول دون استخدام الليزر في عملية التحكم عن بعد هو تأثير انتشار الإشارة الليزرية بالظروف الجوية المختلفة كالأمطار والضباب والغبار وغيرها من المعوقات. كما أن استجابة المستقبل الضوئي لهذه الإشارة تتأثر بالضجيج الخارجي (كالضجيج الشمسي مثلاً) والضجيج الداخلي (ضمن دارة الاستقبال). لهذا دأب الباحثون على معالجة هذه المعوقات محاولين التغلب عليها بغية الاستفادة قدر الإمكان من استخدام الليزر في عملية الاتصال والتحكم عن بعد.

فمن أهم ميزات استخدام الليزر في التحكم عن بعد هو إمكانية التحكم على مسافات طويلة (مئات أو آلاف الأمتار) وبدقة عالية، فضلاً عن السرية التامة وعدم إمكانية التجسس على الإشارة المرسل [1]. وتشتمل هذه الحلول على جوانب عديدة منها الاختيار المناسب لنمط ونوع الترميز (التشفير) للإشارة المرسله والاختيار المناسب لنوع الليزر المستخدم في الإرسال وكذلك طول الموجة الملائم لوسط الإرسال. ونضيف إلى ذلك الاختيار المناسب لمواصفات دارة الاستقبال بما في ذلك عدد الترانزستورات الضوئية وطريقة توصيلها ونوع دارة الاستقبال المستخدمة [2].

وفي هذه المقالة نستعرض دراسة تجريبية حول تخفيف أثر الضجيج الضوئي ثابت الشدة على استجابة المستقبل الضوئي للإشارة الليزرية (ويقصد بالضجيج الضوئي ثابت الشدة أي الناتج عن منابع ضوئية يكون إصدارها للضوء ثابتاً خلال زمن إرسال الإشارة الليزرية). كما سنستعرض دراسة تجريبية أخرى حول تخفيف أثر الأمطار على وصول الإشارة الليزرية إلى المستقبل الضوئي.

أهمية البحث وأهدافه:

يقدم هذا البحث مساهمة علمية في مجال التحكم عن بعد (ونقل الرسائل القصيرة المشفرة) باستخدام الليزر نصف الناقل وذلك من خلال دراستين تجريبيتين علميتين تهدف إحداهما إلى تحسين كفاءة نقل الإشارة الليزرية في حال وجود ضجيج ضوئي خارجي ثابت الشدة (كضوء الشمس أو ضوء مصابيح الغرفة)، وتهدف الثانية إلى تحسين كفاءة نقل الإشارة الليزرية في حال وجود أمطار تعيق وصول الإشارة بسبب تشتتها بقطرات المطر. ومما سبق تظهر أهمية هذا البحث في مجال التطبيقات العسكرية لاسيما منها التحكم عن بعد والاتصالات السرية المشفرة (بما يشبه إشارة مورس).

مواد وطرائق البحث:

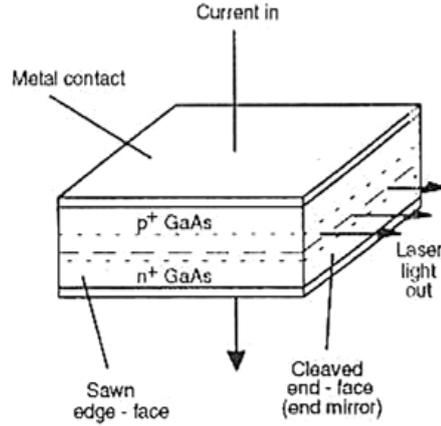
لتحقيق الهدف من هذا البحث تم استخدام دارتي إرسال واستقبال وليزر نصف ناقل.

1- القسم النظري:

1-1- الليزر نصف الناقل (Semiconductor Laser):

يتألف الليزر نصف الناقل بأبسط أشكاله من وصلة (p-n) فهو يشبه الثنائي الضوئي المشع LED من حيث البنية، إلا أن الفارق الفيزيائي (وليس البنوي) بين المشع الثنائي الضوئي والليزر هو وجود كثافة عالية من أزواج (إلكترون- ثقب) في حالة الليزر وذلك لجعل الإصدار المحثوث هو المسيطر. حيث تتم إشابة المنطقة (p) بكثافة كبيرة ثم تُحقن بعدد كبير من الإلكترونات، أو تتم إشابة المنطقة (n) بكثافة كبيرة ثم تُحقن بعدد كبير من

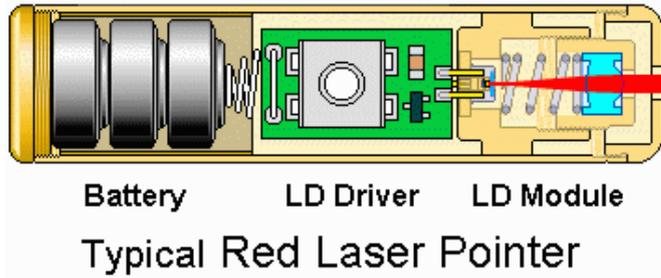
الثقوب مما يوفر أزواج كافية من (إلكترون- ثقب) للاتحاد عبر فجوة الطاقة. وإضافة لذلك فإن الوصلة الليزرية تحوي زوجاً من المرايا في طرفيها تكون المسافة بينهما 1 mm تقريباً، أو يمكن أن تُقلق نهاية نصف الناقل على طول مستويات بلورته وتضبط (مرايا النهاية) بشكلٍ دقيق حتى الأبعاد الذرية. وللحصول على الضوء من هذه الوصلة فإننا نغذي الوصلة كما في المشع الثنائي بتحيز أمامي، فينتج عن اجتماع الإلكترونات والثقوب (في منطقة لا يزيد سمكها عن $1\mu\text{m}$) إصدار فوتونات فجوة الطاقة من منطقة الوصلة. الشكل (1). [3].



شكل (1) يُمثل الثنائي الليزري المتجانس حيث المنطقة (---) تُحدد الوصلة، بينما (.....) تُحدد الحجم المُشع

2-1- المؤشرات الليزرية (Laser Pointers):

مؤشر الليزر أو قلم الليزر وهو الليزر المستخدم في هذا البحث، وهو جهاز صغير محمول باليد يتألف غالباً من ديود ليزري يُصنع عادة من AlGaInP أو AlGaAs وهي تشع في المجال $(0.63 - 0.9)\mu\text{m}$. ويجهز المؤشر الليزري بمصدر للطاقة (عادة ما يكون بطارية) بالإضافة لدارة كهربائية لتنظيم التغذية، كما يتم إضافة عدسة خارجية لمحركة الحزمة الصادرة، الشكل (2). وتكون الحزمة الليزرية الصادرة ضمن المجال المرئي وذات قطر صغير نسبياً وطاقة منخفضة. [4].



الشكل (2): أحد نماذج المؤشرات الليزرية البسيطة

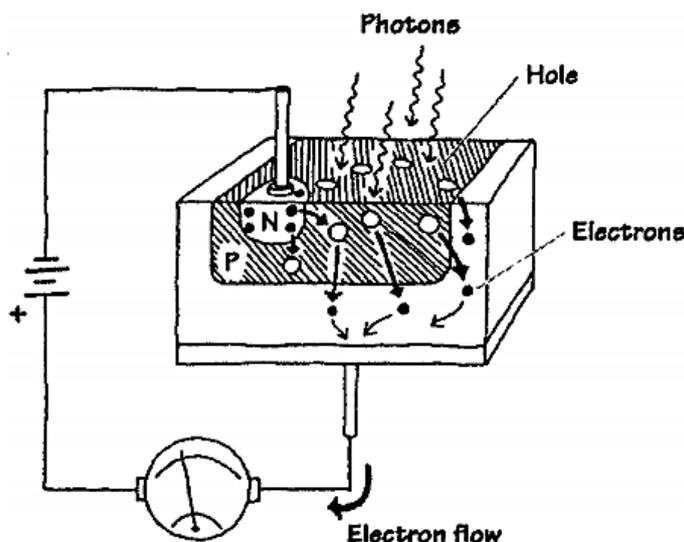
3-1- ميزات ليزرات أنصاف النواقل:

- 1- ليزرات صغيرة الحجم والعديد منها لا يحتاج إلى مرايا خارجية، وهي مستقرة ميكانيكياً لأن المرايا جزء متكامل من بنية الليزر مما يجعلها مناسبة في الدارات التكاملية وفي الاتصالات.
- 2- يمكن ضخها بشكل مباشر باستخدام التيار كهربائي، ويمكن أن تعمل بالنمط المستمر أو النبضي.

- 3- كفاءتها عالية تصل إلى 32% وسهلة الاستخدام ورخيصة الثمن .
 4- تعطي فعلاً ليزرياً في مجال طيفي واسع وذلك بالاختيار المناسب لنوع نصف الناقل.
 5- لها عمر استخدام طويل يصل إلى 10^7 ساعة عمل.[4]

1-4- الترانزستور الضوئي (Phototransistor): بُنيته ومبدأ عمله:

ليكن لدينا ترانزستور ضوئي نوع (n-p-n) موصل بمنبع تغذية مستمر (المجمع موصل بالقطب الموجب والباعث موصل بالقطب السالب). تتكون منطقة القاعدة من طبقة من نوع (p) كبيرة جداً معرضة للضوء، الشكل (3). عند تصادم فوتونات الضوء مع إلكترونات المنطقة (p) فإن الإلكترونات تكتسب طاقة كافية للقفز فوق الحاجز الكموني للوصلة (p-n) بشرط أن تمتلك هذه الفوتونات تردداً وطاقة مناسبين، ونتيجة لقفز الإلكترونات من المنطقة (p) إلى المنطقة (n) تتولد ثقب في المنطقة (p)، وتنجذب الإلكترونات القافزة إلى القطب الموجب للبطارية، وتحرك إلكترونات من القطب السالب للبطارية إلى المادة نصف الناقلة العلوية ذات النوع (n) لتعبر الوصلة (p-n) وتلتقي بالثقوب من جديد، ونتيجة لذلك يتشكل تيار إلكتروني يتدفق من الباعث إلى المجمع لتكون الجهة الاصلاحية للتيار من المجمع إلى الباعث وهذا بالضبط ما يحصل عند سقوط الضوء على القاعدة. توضع المواد نصف الناقلة المكونة للترانزستور الضوئي ضمن غلاف يعمل كعدسة مكبرة، كما يستخدم غلاف معدني ونافذة مغطاة بالبلستيك الشفاف في بعض أنواع الترانزستورات الضوئية.[5].



الشكل (3): بنية الترانزستور الضوئي

1-5- التشفير (Encrypt):

تتمثل فكرة أي نظام تشفير في إخفاء المعلومات السرية من خلال ترميز (Encoding) مكوناتها (صور، كلمات، حروف، أرقام ... إلخ) بطريقة ما ليصبح معناها غير مفهوم بالنسبة إلى أي شخص غير مصرح له بالاطلاع عليها. وتشفير المعلومات لا يعني عدم وصولها للأشخاص غير المصرح لهم وإنما يضمن عدم تمكنهم من فهم ما يرونه. وغالباً ما يطلق على المعلومات المراد إخفاؤها اسم (النص الأصلي)، ويطلق على النص الأصلي المشفر اسم (النص المشفر) أو (بيان التشفير)، كما يطلق على مجموعة القواعد المستخدمة في تشفير معلومات النص الأصلي (خوارزمية التشفير). وتعتمد هذه الخوارزمية عادة على (مفتاح التشفير)؛ وهو يمثل المدخل والقاعدة

المتبعة في التشفير. وحتى يتمكن المتلقي من استرجاع الرسالة من خلال النص المشفر يجب أن تتوفر (خوارزمية فك التشفير) التي تمكننا عند استخدامها مع (مفتاح فك التشفير) من استرجاع النص الاصلي من النص المشفر. [6].

وتجدر الإشارة إلى أن نظم التشفير في التحكم عن بعد (ترميز الأوامر) تكون أقل تعقيداً من نظم التشفير المستخدمة في الاتصالات لأن التحكم عن بعد لا يتضمن نقلاً معقداً للبيانات (كالوسائط المتعددة والنصوص)، وإنما يتضمن نقلاً لأوامر محددة فقط.

1-6- الضجيج في الاتصالات:

ينقسم الضجيج في الاتصالات إلى نوعين؛ الأول هو الضجيج الخارجي وينتج في وسط الانتشار، أما الثاني فهو الضجيج الداخلي وينتج داخل جهاز الاستقبال نفسه. ويمكن إيجاز هذين النوعين فيما يلي: [2]

• الضجيج الخارجي (External Noise):

ينتج هذه الضجيج من عدة مصادر خارجية يمكن إيجازها فيما يلي:

- الضجيج الناتج من أنشطة الإنسان: وهو يمثل مشكلة حقيقية لأن مصادره متعددة مثل أضواء المدينة وأضواء السيارات وغيرها مما يصعب ضبطه أو التنبؤ به، وتنتج عنها إشارات يمكن أن تؤثر على الإشارة المرسله أثناء انتشارها وخاصة إذا كانت إشارات الضجيج موجودة في محيط الإشارة المرسله وتقع في مجالها الترددي.
- الضجيج الجوي (Atmospheric Noise): وينتج من الاضطرابات التي تحدث في الغلاف الجوي المحيط بالأرض كالبرق والعواصف الرعدية مثلاً، وينتشر هذه الضجيج على طول الطيف الترددي.
- ضجيج الفضاء (Space Noise): ينتج من الفضاء الخارجي وبشكل أساسي من الشمس (ويسمى الضجيج الناتج عنه بالضجيج الشمسي (Solar Noise))، كما أن النجوم الأخرى في الفضاء تنتج ضجيجاً يطلق عليه الضجيج الكوني (Cosmic Noise)، ولكن نظراً لبعده هذه النجوم عن الأرض فإن الضجيج الناتج منها يكون ضعيفاً.

• الضجيج الداخلي (Internal Noise):

ويقصد به التأثيرات الغير مرغوب فيها الناتجة عن مكونات وعناصر الدارات الإلكترونية، وللضجيج الداخلي أشكال متعددة نذكر منها:

- ضجيج جونسون أو الضجيج الحراري: وينشأ نتيجة ارتفاع درجة الحرارة في مكونات الدارات الإلكترونية حيث يزيد ذلك من الحركة العشوائية للذرات والإلكترونات في المادة فيظهر ذلك على هيئة جهد ضجيج غير مرغوب فيه.
- الضجيج الناتج عن مشاكل التغذية الكهربائية لمكونات الدارات الإلكترونية في أنظمة الاتصالات.

وفي هذا البحث ستم دراسة تخفيف أثر الضجيج الضوئي الخارجي ثابت الشدة، والذي يمكن أن يكون ناتجاً عن مصادر مختلفة (طبيعية أو صناعية). وفيما يلي مثال عن أهم مصادر الضجيج الضوئي الخارجي ثابت الشدة التي تؤثر سلباً على استجابة المستقبل الضوئي للإشارة الليزرية وهو ضوء الشمس. حيث تبلغ الشدة الضوئية لأشعة الشمس عادة قيمة من رتبة (10^{+5} lux) في حالة الجو الصحو [1]، وهي تتغير بحسب الحالة الجوية السائدة وبحسب زاوية ورود الضوء على المستقبل الضوئي، حيث تتناسب طردياً مع تجيب الزاوية (θ) المحصورة

بين منحى ورود الضوء والناظم على سطح المستقبل وذلك استناداً إلى قانون التجيب (cosine law) الذي يعطى بالعلاقة:

$$P = P_0 \cos \theta \quad (\text{Lux}) \quad (1)$$

حيث (P) هي الشدة الضوئية الواردة على سطح المستقبل بزاوية (θ)، و(P_0) هي الشدة الضوئية الواردة بشكل ناظمي على سطح المستقبل، و(θ) الزاوية المحصورة بين منحى ورود الضوء والناظم على السطح. ولهذا يتم الحد من الضجيج الضوئي عادةً بترتيب دارتي الإرسال والاستقبال بحيث تتحرف الأشعة الضوئية (المسببة للضجيج) عن المحور البصري للمستقبل دوماً بزاوية (θ) بحيث تكون قيمة ($\cos \theta$) أصغر ما يمكن [7]. كما يجب تحسين كفاءة دارة الاستقبال بحيث تصبح الشدة الضوئية الخارجية الواردة على المستقبل الضوئي والمسببة للضجيج بأدنى قيمة لها.

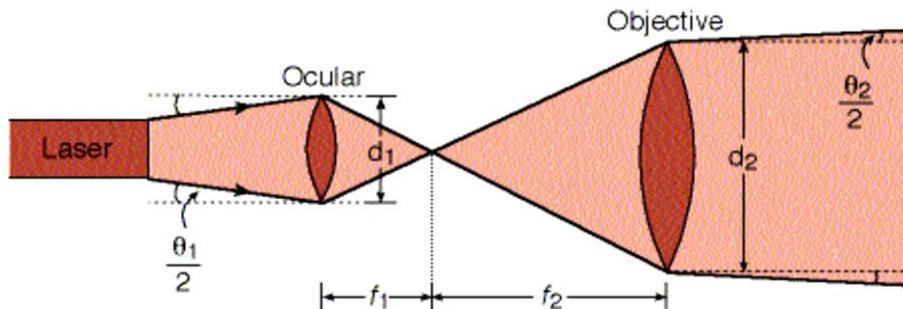
3-1-7- التوهين النوعي الناجم عن المطر:

يعطى التوهين النوعي الناجم عن المطر γ_{Rain} بالعلاقة:

$$\gamma_{Rain} = k R^\alpha \quad (\text{dB/km}) \quad (2)$$

حيث: (α , k) معاملان يتعلقان بحجم قطرة المطر ودرجة حرارة المطر وبتردد الضوء المنتشر. وتتراوح قيمة المعامل (α) بين 2 و 4، أما المعامل (k) فتتراوح قيمته بين 0.08 و 0.25 [2]. (R): هو معدل هطول المطر (يقاس بوحدة mm/h).

نلاحظ من العلاقة السابقة أنه كلما زاد حجم (أو نصف قطر) قطرة المطر ازداد التوهين النوعي الناجم عن المطر، حيث تسبب قطرة المطر تشتت الإشارة الليزرية وتبعثرها خاصة إذا كان قطر قطرة المطر أكبر أو يساوي قطر الشعاع الليزري. ولهذا يمكن تقليل أثر هذا التوهين من خلال زيادة قطر الشعاع الليزري بحيث يصبح قطره أكبر من قطر قطرة المطر والذي تكون قيمته عادة ضمن المجال mm [1-7.6] علماً أنه من النادر أن يتجاوز 4mm لأن قطرة المطر تتفكك عند ازدياد حجمها [8]. ولزيادة قطر الشعاع الليزري مع الحفاظ على قيمة زاوية الانفراج صغيرة وثابتة تقريباً يمكن استخدام موسع حزمة نوع (كبلر) كما هو موضح في الشكل (4). حيث يعتمد مبدأ موسع الحزمة في الحصول على أشعة ضوئية متوازية على فكرة أن الأشعة الضوئية الصادرة عن منبع ضوئي موضوع في محرق عدسة محدبة الوجهين تخرج من الوجه الآخر للعدسة موازية لنفسها وللمحور البصري للعدسة (والعكس صحيح). وكما هو موضح في الشكل (4) فإنه يتم استخدام عدستين محدبتي الوجهين ومحرقاهما منطبقان. حيث تتجمع الأشعة الضوئية الصادرة عن الأولى في محرقها (الذي هو محرق العدسة الثانية) لتتابع الأشعة مسيرها من هذا المحرق إلى العدسة الثانية لتخرج من وجهها الآخر متوازية تقريباً وبزاوية انفراج أقل من زاوية الانفراج عند خروجها من المنبع. [9].



الشكل (4): موسع حزمة (نوع كبلر) يتألف من عدستين محدبتي الوجهين، قطر الثانية أكبر من قطر الأولى، وتتوضعان بحيث يكون محرقا العدستين منطبقين. ونلاحظ من الشكل أن زاوية انفرج الشعاع عند خروجه من العدسة الثانية (θ) أصغر من زاوية انفرج الشعاع (θ_1) عند خروجه من المنبع الليزري.

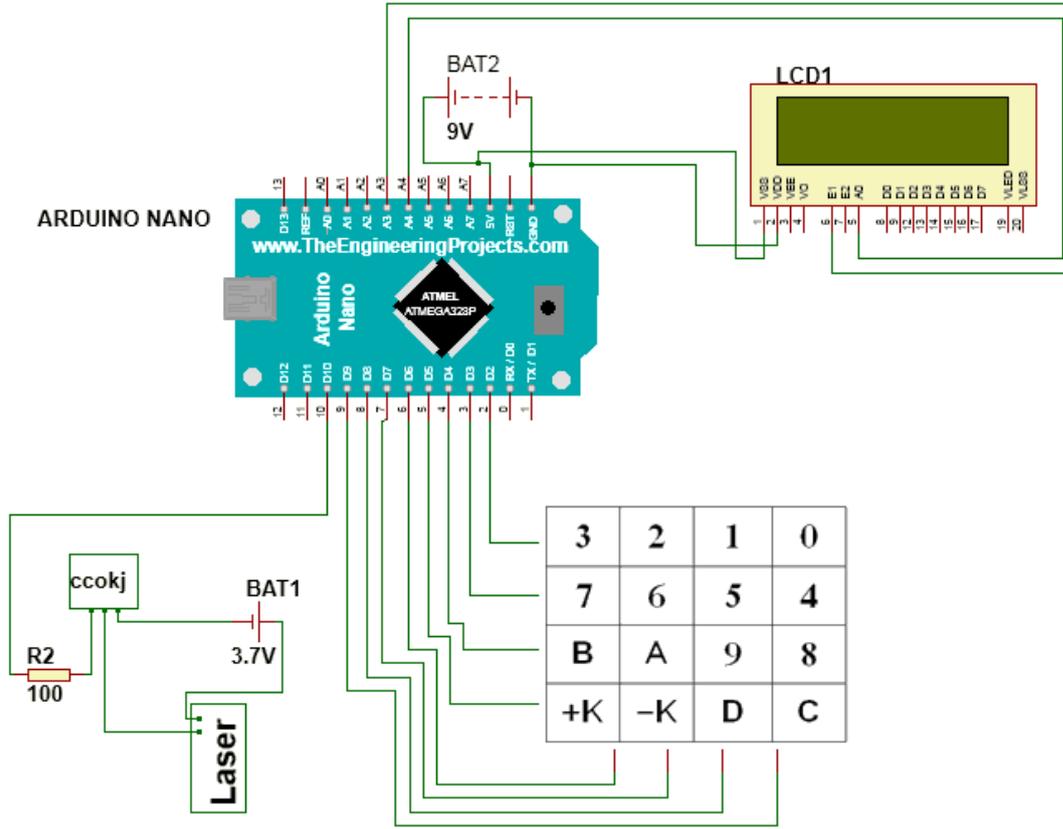
2- القسم العملي:

تم أخذ القياسات العملية في مخبر جامعة تشرين خلال شهرين.

2-1- وصف دائرة الإرسال:

يبين الشكل (5) مخطط دائرة الإرسال التي تتألف من:

- 1- دائرة Arduino Nano . 2- لوحة مفاتيح (Keypad 4x4) . 3- شاشة كريستالية (LCD (16x2) . 4- ليزر نصف ناقل (HLM1230) ذو استطاعة وسطية (4mW) وطول موجي (630nm) . 5- منبع تغذية 9V .



الشكل(5): دائرة الإرسال

• مبدأ عمل دائرة الإرسال:

يتصل بدارة (Arduino) كل من لوحة مفاتيح (Keypad) لاختيار الرمز المراد إرساله، ومنبع ليزري (630nm) لإرسال الرموز .

عند الضغط على مفتاح الرمز المراد إرساله فإن دارة (Arduino) تستجيب وفق البرنامج المخزن في ذاكرتها فتغلق دارة الليزر وتفتحها حسب عدد النبضات وزمن كل منها. يوضح الجدول (1) طريقة ترميز كل حرف أو رقم تم استخدامه في هذا البحث:

جدول (1): يوضح الرموز المستخدمة وطريقة ترميز كل منها وزمن كل نبضة والزمن الفاصل بين نبضتين:

طريقة الترميز	الرمز	عدد النبضات N	زمن النبضة Δt_1 (ms)	الزمن الفاصل بين نبضتين Δt_2 (ms)
الترميز بنبضات متعددة	0	3	10	10
	1	3	40	10
	2	3	90	10
	3	6	50	10
	4	6	100	10
الترميز بنبضة واحدة ذات مجال زمني	5	1	[100 – 200[10
	6	1	[200 – 300[10
	7	1	[300 – 400[10
	8	1	[400 – 500[10
	9	1	[500 – 600[10
الترميز بنبضة واحدة ذات زمن محدد	A	1	700	10
	B	1	800	10
	C	1	900	10
	D	1	1000	10

وتجدر الإشارة أنه تم تعيين طرق الترميز والرموز السابقة بما يناسب دراسة نقل الإشارة الليزرية في ظروف جوية مختلفة، وتم مراعاة ما يلي:

1- ألا يتجاوز الزمن الكلي لإرسال أي رمز (1000ms) لأنه يعتبر زمن إرسال طويل نسبياً ويصبح عديم الجدوى.

2- اختيار أزمنة متعددة (حدها الأدنى 10ms والأعلى 1000ms) وذلك بغية دراسة أثر تغير زمن النبضة على جودة نقل الإشارة الليزرية في ظروف مختلفة.

وقد تمت برمجة هذه الطرق والرموز (كتابتها كبرنامج إرسال) بلغة (C++) باستخدام برنامج (Arduino) على الحاسوب، ليتم تحميلها وتخزينها في ذاكرة دارة الإرسال التي تقوم عند الإرسال بتحويل الإشارة الرقمية إلى إشارة تماثلية (نبضات ليزرية). وبنفس الطريقة تمت برمجة دارة الاستقبال بحيث تحول الإشارة التماثلية الواردة إلى إشارة رقمية وفق برنامج استقبال مخزن في ذاكرتها، فيظهر الرمز المرسل على شاشة الإظهار.

يوضح الجدول (2) توضع الرموز في لوحة المفاتيح:

جدول (2): يوضح دلالات المفاتيح. ويستخدم المفتاح +K لزيادة مجال النبضة (Δt_1) للنبضات (9 to 5) بمقدار (10ms) لكل ضغطة، ويستخدم المفتاح -K لإنقاص هذا المجال بنفس المقدار.

0	1	2	3
4	5	6	7
8	9	A	B
C	D	-K	+K

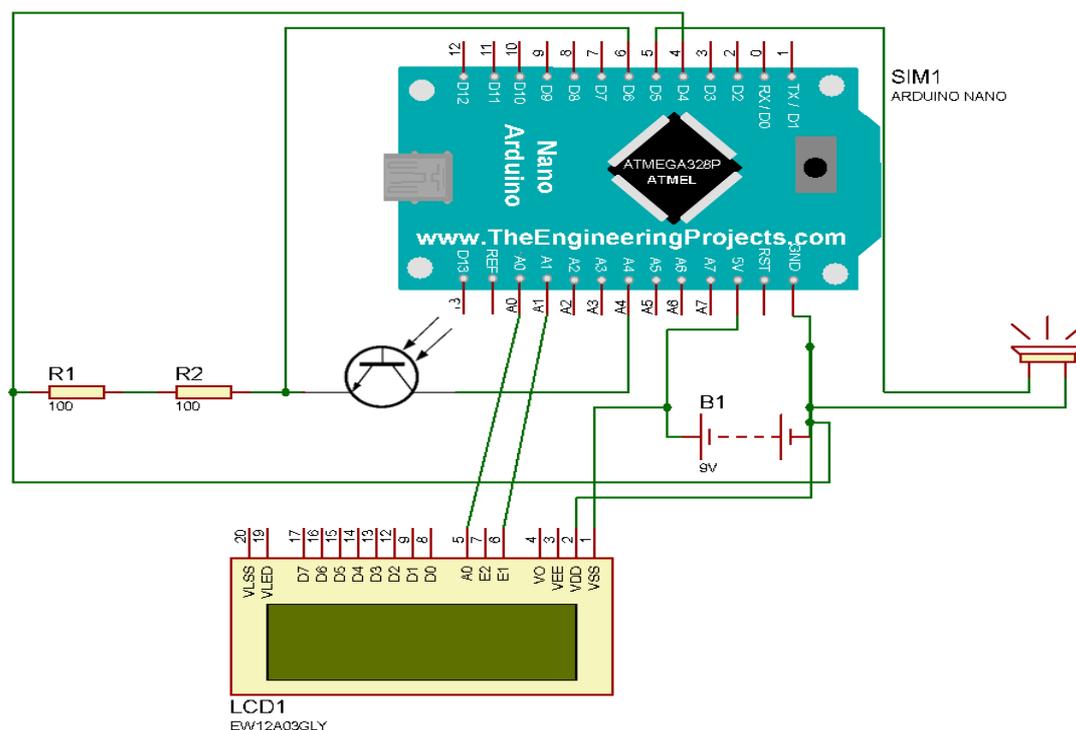
2-2- وصف دارة الاستقبال:

يبين الشكل (6) مخطط دارة الاستقبال التي تتألف من:

- (a) مستقبل ضوئي يتكون من أربع ترانزستورات ضوئية (4-62-PBY) متوزعة ضمن عاكس ضوئي بحيث يمكن استخدام أحدها فقط أو توصيلها جميعاً على التفرع أو على التسلسل.
- (b) دارة تحكم (Arduino) (c) مكبر صوت (d) منبع تغذية 9V (e) شاشة كريستالية

• مبدأ عمل دارة الاستقبال:

تستجيب دارة التحكم (Arduino) للتغيرات الضوئية التي يتلقاها الترانزستور الضوئي من خلال تغير التوتر الكهربائي بين طرفيه. ففي حالة الظلام تطبق دارة (Arduino) توتراً قدره (5V) بين طرفي الترانزستور الضوئي، وعندما يتلقى الترانزستور الضوئي إشارة ضوئية كثافتها الطاقية كافية لتحفيزه فإنه يحدث تغير في قيمة هذا التوتر، حيث تنخفض قيمة التوتر أثناء سقوط الضوء على الترانزستور ومن ثم تعود للارتفاع عند انقطاع الضوء. وتستجيب دارة التحكم (Arduino) لهذه التغيرات وفق البرنامج المخزن في ذاكرتها. [10].



الشكل (6): دائرة الاستقبال

• مثال يوضح طريقة إرسال واستقبال أحد الرموز:

عند إرسال الرقم (5) (المُرَّمَز بنبضة واحدة ذات زمن تشغيل يقع ضمن المجال الزمني -100ms]200ms)، نختار أولاً زمن تشغيل من المجال السابق وليكن (150ms) وذلك بالضغط المستمر على المفتاح (+K) في لوحة المفاتيح حتى نصل للزمن المطلوب، وبعدها نضغط على الرقم (5) فتقوم دائرة Arduino بتشغيل الليزر المتصل بها لمدة (150ms) فقط. وعندما يتلقى الترانزستور الضوئي هذه الإشارة الضوئية فإن التوتر بين طرفيه ينخفض لمدة (150ms) فتتحمس دائرة Arduino هذا الانخفاض في التوتر، وتستجيب لهذا الانخفاض اعتماداً على برنامج الترميز المخزن في ذاكرتها، فتظهر الرقم (5) على شاشة الإظهار.

2-3- أجهزة القياس المستخدمة:

• جهاز قياس الشدة الضوئية (Lux meter):

تم استخدام جهاز (Lux meter) رقمي نوع (LX-1330B)، وبين الجدول (3) المواصفات الفنية لهذا

الجهاز:

الجدول (3): المواصفات الفنية لجهاز قياس الشدة الضوئية (LX-1330B)

مجالات القياس مع الارتياح المطلق	(200 ~ 20000) Lux $\pm(3\%rdg+10dgt)$ 200000 Lux $\pm(5\%rdg+10dgt)$
درجة حرارة التشغيل	0 ~ 40 °C
مجال الحساسية الطيفية	425 ~ 700 nm

• جهاز قياس شدة التيار والتوتر والمقاومة (AVO meter):

تم استخدام جهاز (AVO meter) رقمي نوع (DT830)، ويبين الجدول (4) المواصفات الفنية لهذا الجهاز:

الجدول (4): المواصفات الفنية لجهاز قياس شدة التيار والتوتر والمقاومة (DT830)

مجالات قياس شدة التيار المستمر (DC CURRENT) مع الارتياب المطلق	200 μ A ~ 20mA \pm (1%rdg+5dgt) 200mA \pm (1.2%rdg+5dgt) 10A \pm (2%rdg+5dgt)
مجالات قياس التوتر المستمر (DC VOLTAGE) مع الارتياب المطلق	200mV ~ 200V \pm (0.5%rdg+5dgt) 1000V \pm (1%rdg+5dgt)
مجالات قياس التوتر المتناوب (AC VOLTAGE) مع الارتياب المطلق	200V ~ 750V \pm (1.2%rdg+10dgt)
مجالات قياس المقاومة مع الارتياب المطلق	200 Ω \pm (1.2%rdg+5dgt) 2k Ω ~ 200k Ω \pm (1%rdg+5dgt) 2000k Ω \pm (1.2%rdg+5dgt)
درجة حرارة التشغيل	0 ~ 40 °C

النتائج والمناقشة:

تم أخذ القياسات ضمن مخبر الليزر في جامعة تشرين، وذلك على مدار شهرين.

1-القياسات الأساسية:

يوضح الجدول (5) القياسات الأساسية:

الجدول (5): القياسات الأساسية

القيم	البارامترات
2610 \pm 79.3 LUX	الشدة الضوئية العظمى الخارجة من الليزر P_{Max}
350 \pm 20.5 LUX	عتبة الاستجابة الدنيا للمستقبل الضوئي P_{Min}
5 \rightarrow 0 V	مجال حساسية Arduino لتغير التوتر بين طرفي المستقبل الضوئي
-2.81 \pm 0.064 V	التغير الأدنى للتوتر بين طرفي الترانزستور الضوئي الذي تبدأ عنده الاستجابة (التغير العتبي) ΔU_{Min}
-5 \pm 0.075 V	التغير الأعظمي للتوتر بين طرفي الترانزستور الضوئي: ΔU_{Max}
2.42 \pm 0.074 mA	التيار الضوئي الأعظمي I_{Max}
1.29 \pm 0.062 mA	التيار الضوئي الأدنى الذي تبدأ عنده الاستجابة I_{Min}

2- المرحلة الأولى من البحث: العمل في ظروف إضاءة خارجية ثابتة الشدة:

• **الغاية من الدراسة:** تخفيف أثر الضجيج الضوئي ثابت الشدة على جودة الاستقبال، وذلك من خلال اختيار مناسب لطريقة الترميز، وتحسين كفاءة دارة الاستقبال.

• **العمل:** تم تثبيت دارتي الإرسال والاستقبال ليكون البعد بينهما ($d = 1m$)، وتم إرسال جميع الرموز بطرق الترميز الثلاثة بوجود إضاءة خارجية قوية ثابتة الشدة مسلطة بشكل ناظمي على سطح المستقبل ($\theta = 0$ rad) وذلك باستخدام منبع ضوئي ثابت الشدة (P_{Ext}). وقد تم تحديد قيمة الشدة الضوئية الخارجية الحدية (P_{Lim}) التي تتوقف عندها الاستجابة للإشارة الليزرية، وتكافئ هذه الشدة تغيراً ثابتاً في الجهد بين طرفي الترانزستور الضوئي (ΔU_{Lim}) ومرور تيار كهربائي ثابت (I_{Lim}).

• القياسات والنتائج:

$$I_{Lim} = \quad , \Delta U_{Lim} = -2.46 V \quad , P_{Lim} = 2400 \text{ lux} \quad \text{تبين بالقياس أن:}$$

$$1.14 \text{ mA}$$

يوضح الجدول (6) القياسات والنتائج المأخوذة عند إرسال الرموز:

الجدول (6): قياسات المرحلة الأولى

الاستجابة		نوع الترميز
$P_{Ext} < P_{Lim}$	$P_{Ext} \geq P_{Lim}$	
تحدث استجابة	لا تحدث استجابة	نبضات متعددة
تحدث استجابة	لا تحدث استجابة	نبضة واحدة بمجال زمني
تحدث استجابة	لا تحدث استجابة	نبضة واحدة ذات زمن محدد

• تفسير ما سبق:

عند تسليط حزمة ضوئية مستمرة وثابتة الشدة (P_{Ext}) على الترانزستور الضوئي فإنها تسبب تحفيزاً في الترانزستور (تحرير أزواج إلكترون - ثقب) بشكل ثابت ومستمر، وينتج عن ذلك تغير ثابت ومستمر في التوتر بين طرفي الترانزستور الضوئي. ولهذا التحفيز قيمة حدية معينة إذا وصل إليها (عندما $P_{Ext} \geq P_{Lim}$) فإن أي تحفيز إضافي ناتج عن شدة ضوئية إضافية (كنبضة ليزرية) لن يسبب استجابة في دارة الاستقبال مما يعني عدم الاستجابة للإشارة الليزرية. [5]

3- المرحلة الثانية من البحث: العمل في بيئة مطرية:

• **الغاية من الدراسة:** تخفيف أثر الأمطار على جودة الاستقبال باختيار طريقة الترميز المناسبة، وتحسين كفاءة دارة الاستقبال.

• **العمل:** تم تثبيت دارتي الإرسال والاستقبال ليكون البعد بينهما ($d = 1m$)، وتم إرسال جميع الرموز بطرق الترميز الثلاثة ضمن بيئة مطرية غزيرة تم إعدادها باستخدام رشاش مياه يضح الماء بغزارة (70 mm/h) تقريباً. وقد تم تمرير الإشارة الليزرية عبر الماء الغزير وتسجيل النتائج.

• القياسات والنتائج:

يوضح الجدول (7) النتائج والقياسات التي حصلنا عليها:

الجدول (7): قياسات المرحلة الثانية

نوع الترميز	الاستجابة
نبضات متعددة	الاستجابة جيدة للرقمين (0,1) أما الرقمين (2,3) فتحدث الاستجابة لهما عند زيادة القطر الوسطي للشعاع الليزري
نبضة واحدة بمجال زمني	لا تحدث استجابة أو تظهر رموز مختلفة
نبضة واحدة ذات زمن محدد	لا تحدث استجابة أو تظهر رموز مختلفة

• تفسير ما سبق:

تعمل قطرات الماء المتحركة على تقطيع الإشارة الليزرية الواردة وبالتالي عند إرسال رمز ذو نبضة واحدة طويلة نسبياً (كما في طريقتي الترميز الثانية والثالثة) يحدث تقطيع لهذه النبضة إلى عدة نبضات مما يؤدي إلى ظهور رمز جديد مختلف عن الرمز المرسل.

ولزيادة احتمال وصول الإشارة الليزرية إلى المستقبل يجب إنقاص الزمن الكلي للرمز المرسل ليصبح أقصر من الزمن الفاصل بين قطرتين متتاليتين تسقطان على محور انتشار الإشارة الليزرية، وهذا ما يفسر وصول الرقمين (0,1) بطريقة الترميز الأولى (الترميز بعدة نبضات قصيرة نسبياً) بشكل أفضل مما هو عليه بالنسبة لطريقتي الترميز الثانية والثالثة.

ومن ناحية أخرى، يزداد احتمال وصول الإشارة الليزرية إلى المستقبل الضوئي كلما كان القطر الوسطي للشعاع الليزري أكبر من القطر الوسطي لقطرة المطر، وهذا ما يفسر استجابة المستقبل للرقمين المرسلين (2,3) بعد زيادة القطر الوسطي للشعاع الليزري (فضلاً عن أنهما يملكان زمن نبضات قصير نسبياً).

الاستنتاجات:

1- بوجود الضجيج الضوئي ثابت الشدة يمكن استخدام أي طريقة ترميز من الطرق الثلاث المدروسة، أما بوجود أمطار فإن الطريقة الأفضل هي الترميز بعدة نبضات قصيرة جداً أو بنبضة واحدة ذات مجال زمني قصير جداً.

2- لتحسين كفاءة دارة الاستقبال عند العمل بوجود ضجيج ضوئي ثابت الشدة فإنه ينصح بوضع المستقبل الضوئي ضمن صندوق عاتم بحيث تدخل الإشارة الليزرية من فتحة ذات قطر مناسب. كما يمكن استخدام مرشح حزمة يسمح بمرور الطول الموجي للإشارة الليزرية المرسله دون الأطوال الموجية الأخرى مما يخفف أثر الأطوال الموجية غير المرغوب فيها. ويمكن أيضاً توصيل عدة ترانزستورات ضوئية على التسلسل في دارة الاستقبال لأنه بحسب خواص هذا التوصيل فإنه لن يمر تيار كهربائي حتى يتم تحفيز جميع الترانزستورات معاً، وبالتالي فإن الشدة الضوئية الخارجية الواردة (P_{Ext}) ستتقسم على هذه الترانزستورات مما يخفف أثرها.

أما لتحسين كفاءة دارة الاستقبال بوجود الأمطار فإنه يفضل استخدام عدد كبير من الترانزستورات الضوئية الموصولة على التفرع وتوزيعها على عاكس مناسب لزيادة مساحة سطح المستقبل مما يزيد الشدة الضوئية المستلمة.

3- لوحظ بالقياس والتجريب أنه إذا كانت الشدة الضوئية الخارجية (P_{Ext}) أدنى من الحد الذي تتوقف عنده الاستجابة فإنها تصبح عاملاً مساعداً لأنها تصبح قيمة مضافة تضاف للإشارة الليزرية (P_{Laser}) لتحديث الاستجابة. ويمكن كتابة شرط الاستفادة من الشدة الضوئية الخارجية كما يلي:

$$P_{Laser} + P_{Ext} > P_{Min} \quad \text{And} \quad P_{Ext} < P_{Lim}$$

4- عند إرسال إشارة ليزرية في بيئة مطرية فإنه يُنصح بزيادة قطر الشعاع الليزري باستخدام موسع حزمة، فهو يسمح بزيادة قطر الشعاع من جهة، ويضمن الحفاظ على قطر شعاع ليزري ثابت تقريباً (زاوية انقراج صغيرة) من جهة أخرى. وإضافة لذلك يجب زيادة قيمة الشدة الضوئية لليزر المستخدم بما يناسب ظروف عملية الإرسال. كما يُنصح باستخدام الطول الموجي (532nm) لأن امتصاصية الماء لهذا الطول الموجي أقل ما يمكن ضمن الطيف المرئي. [11]

التوصيات:

- 1- تطوير تصميم دارتي الإرسال والاستقبال بحيث تلائمان الظروف الجوية المختلفة (ضباب، ضجيج ضوئي، أمطار ...) دون الحاجة لاستبدال الدارتين كلما تغيرت الحالة الجوية السائدة.
- 2- إجراء هذه الدراسة باستخدام أنواع أخرى من الليزر بهدف تحديد نوع الليزر الملائم للتحكم عن بعد في كل حالة جوية سائدة.
- 3- إجراء دراسات مشابهة تهدف إلى تخفيف أثر العوامل الجوية الأخرى (ضباب، ثلوج...).

References

- 1- Blaunstein,N; Kopeika,N. (2018). *Optical Waves and Laser Beams in the Irregular Atmosphere*. Edition (1). London- United Kingdom. Taylor & Francis Group.
- 2- Kaushal, H; Jain, V; Kar, S. (2017). *Free Space Optical Communication*. Edition(1). India. Springer.
- 3- Orazio,S. (2010). *Principles of Lasers* . Edition(5).Italy. Springer.
- 4- Hans,Z. (2004). *Laser Diode Microsystems*. Edition(1). United State. Springer.
- 5- Vincent, J; Hodges, S. (2016). *Fundamentals of Infrared and Visible Detector Operation and Testing*. Edition(2). United State. John Wiley & Sons.
- 6- Kwong,W; Yang,G. (2013). *Optical Coding Theory with Prime*. Edition(1). London- United Kingdom. Taylor & Francis Group.
- 7- Hemmati, H. (2009). *Near-Earth Laser Communications*. Edition(1). New York- United State. Taylor & Francis Group.
- 8- Freeman, R. (2005). *Fundamentals of Telecommunications*. Edition (2). United States. John Wiley & Sons.

- 9- Ribeiro,P; Raposo, M. (2018).*Optics, Photonics and Laser Technology*. Edition(1). United States. Springer,
- 10- Boxall,J. (2013). *Arduino Workshop*. Edition (1). United States. No Starch Press.
- 11- Pegau,S; Gray,D; Ronald,J; Zaneveld,V. (1997). *Absorption and attenuation of visible and near-infrared light in water: dependence on temperature and salinity*. Applied optics journal. (No.24). Pages: 35-46.