الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته

قسم فيزياء وتقانة الليزر

تقييم مخبري لتغير طول الموجة في الاتصالات عبر الفضاء الحر

رسالة مقدمة لنيل درجة الماجستير في علوم الليزر و تطبيقاته

إعداد الطالب

مضر ديوب

المشرف الرئيسي

أ.م.د. عماد أسعد

المشرف المشارك

د. محمد سعيد معروف

العام الدراسي

2020-2021

الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

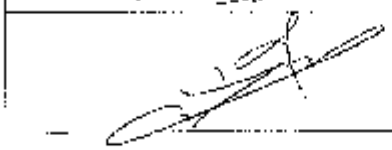
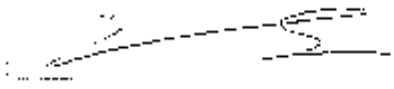
المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته

موافقة لجنة الحكم على تعديلات طالب الماجستير

قبول لجنة الحكم تعديلات رسالة الماجستير الذي قام بها الطالب **مضر ديوب** بعنوان :

تقييم مخبري لتغير طول الموجة في الاتصالات عبر الفضاء الحر

بناء على قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا ذي الرقم /٢٥٥٢/ المنعقد بالجلسة رقم /١٩/ تاريخ ٢٠٢١/٨/٢ انعقدت جلسة الدفاع يوم الاثنين بتاريخ ٢٠٢١/١٠/٤ في تمام الساعة الحادية عشر صباحاً على مدرج المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته . وقد أوصت لجنة الحكم ببعض التعديلات وبينت بأن البحث يرقى لدرجة الماجستير في علوم الليزر وتطبيقاته، وقد قام الطالب بإجراء التعديلات والتصحيحات المطلوبة منه.

أ.م.د. عماد أسعد	
د. تمام مطاوع	
د. جمان أبو جيب	

كلمة شكر

كل الشكر والتقدير إلى من كان سنداً لي فـي هذا العمل ولم يبخل علــي بالعلم والجهد لإنجاز هذا البحث.

الأستاذ الدكتور **عماد أسعد** والدكتور **محمد سعيد معروف**.

إلـــى كل الأساتذة والعاملين في المعهد العالــي لبحوث الليزر وتطبيقاته الذيـن قدموا لي كل مساعدة ممكنة.

فهرس المحتويات

عنوان الفقرة ورقمها حسب فصول الأطروحة	الصفحة
الفصل الأول المقدمة	
1-1- مقدمة البحث	**1**
1-2- دوافع ومبررات البحث	**2**
1-3- هدف البحث	**2**
1-4- لمحة عن فصول الأطروحة	**3**
الفصل الثاني تكنولوجيا الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر	
2-1- مبدأ العمل	**5**
2-2- تطبيقات الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر	**7**
2-3- مزايا استخدام الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر	**8**
2-3-1. ميزات الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر (FSO) بالنسبة للأمواج الراديوية (RF)	**8**
2-3-2. ميزات الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر (FSO) بالنسبة للألياف الضوئية (Fiber Optics)	**10**
الفصل الثالث تصميم نظام اتصال ضوئي عبر الفضاء الحر	
3-1- جهاز الإرسال	**11**
3-2- المصدر الضوئي	**12**
3-2-1. الثنائيات الباعثة للضوء (LEDs)	**12**
3-2-2. الثنائي الليزري (Laser Diode)	**13**
3-2-2-1. المعاملات الأساسية للمرسل الليزري	**15**

فهرس المحتويات

3-3- جهاز الاستقبال	**19**
3-3-1. الكواشف الضوئية	**19**
3-3-2. المعاملات الأساسية للكاشف الضوئي	**20**
3-3-3. أنواع الكواشف الضوئية	**22**
3-4- التعديل	**26**
الفصل الرابع العوامل المؤثرة على تقنية الاتصال الليزري عبر الفضاء الحر	
4-1- تخامد الحزمة الليزرية بفعل جزيئات الجو	**31**
4-1-1. الامتصاص	**31**
4-1-2. التبعثر	**33**
4-1-2-1. تبعثر رايلي	**36**
4-1-2-2. تبعثر ماي	**37**
4-2- الاضطراب في مسار الانتشار	**39**
4-2-1. بنية قرينة الانكسار	**41**
4-2-2. التألق	**41**
4-3- الضياعات الهندسية	**42**
4-4- فقدان دقة التسديد	**44**
الفصل الخامس الدراسات المرجعية	
5-1- دراسة حول نماذج توهين الضباب	**47**
5-2- دراسة تأثير التخميد الجوي على الأمواج المرئية وتحت الحمراء	**49**
5-2-1. انتشار الضوء في الغلاف الجوي	**49**

فهرس المحتويات

5-2-2. تحليل الوصلة	**50**
5-2-3. معدل البيانات	**51**
5-3- دراسة أسلوب التعديل في الاتصالات (FSO) باستخدام أطوال موجية مختلفة (650,532,405) nm	**57**
5-3-1. الإعداد التجريبي	**58**
الفصل السادس مواد وطرائق البحث- القسم العملي	
6-1- مكونات منظومة الاتصال	**65**
6-1-1. دارة قيادة الليزرات	**68**
6-1-2. مرحلة الكشف والتضخيم	**76**
6-1-2-1. الكاشف الضوئي المستخدم (Silicon photovoltaic cell)	**76**
6-1-2-2. مرحلة التضخيم	**79**
6-2- التخميد باستخدام المرشحات (Natural Density Filters) الطريقة الفيزيائية الضوئية	**79**
الفصل السابع النتائج والمناقشة	
7-1- الاختبارات العملية والنتائج	**81**
7-2- دراسة الكفاءة للمرسلات الليزرية	**82**
7-2-1. مناقشة النتائج	**83**
7-3- حساب الكفاءة الكمومية التفاضلية الخارجية (External Differential Quantum Efficiency)	**84**
7-3-1. مناقشة النتائج	**88**
7-4- مقارنة الاستطاعة الضوئية الناتجة مقابل زيادة تردد المرسل الليزري	**88**

فهرس المحتويات

7-5- التخميد باستخدام مرشحات (Natural Density Filters) الطريقة الفيزيائية الضوئية	**90**
7-5-1- مناقشة النتائج	**93**
7-6- مقارنة النتائج مع الدراسات المرجعية	**95**
الفصل الثامن الخاتمة	
8-1- خاتمة البحث	**98**
8-2- التوصيات والمقترحات المستقبلية	**100**
الملاحق	
الملحق (1) المرسل الليزري الأحمر	**105**
الملحق (2) المرسل الليزري الأخضر	**106**
الملحق (3) المرسل الليزري البنفسجي	**107**
الملحق (4) المتحكم الدقيق (Atmega 328p)	**108**
الملحق (5) الدارة المتكاملة (LM317T)	**109**
الملحق (6) الدارة المتكاملة (ULN 2003A)	**110**
الملحق (7) الدارة المتكاملة (VCO:74S124)	**111**
الملحق (8) الدارة المتكاملة (50%Duty Cycle: 74S74N)	**112**
الملحق (9) الدارة المتكاملة (TC4428ACPA)	**113**
الملحق (10) الدارة المتكاملة (ICL7611amplifier)	**114**
الملحق (11) الرماز البرمجي (VBA)	**115**
الملحق (12) الرماز البرمجي (AVR)	**128**

فهرس الأشكال

عنوان الشكل ورقمه حسب فصول الأطروحة	الصفحة
الفصل الثاني تكنولوجيا الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر	
2-1- نموذج اتصال وفق تكنولوجيا الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر	**6**
2-2- استخدام الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر لعمل نماذج اتصال عدة	**8**
2-3- الفرق بين تقنية (FSO) وتقنية (RF) من حيث عرض الحزمة ومدى الوصلة	**9**
2-4- مزايا الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر مقارنة بالألياف الضوئية	**10**
الفصل الثالث تصميم نظام اتصال ضوئي عبر الفضاء الحر	
3-1- الاستطاعة الضوئية للباعث الضوئي مقابل تيار القيادة	**13**
3-2- استطاعة الخرج لليزر مقابل تيار القيادة	**14**
3-3- العلاقة بين زاوية الانفراج وطول الوصلة وقطر الحزمة	**16**
3-4- تحديد الكفاءة الكمية لليزر	**18**
3-5- الاستجابة كتابع للطول الموجي الساقط على ثنائي ضوئي من السيليكون	**21**
3-6- الكاشف الضوئي (PIN)	**23**
3-7- الكاشف الضوئي (APD)	**25**
3-8- طرق التعديل الرقمي للموجة الحاملة	**28**
الفصل الرابع العوامل المؤثرة على تقنية الاتصال الليزري عبر الفضاء الحر	
4-1- نوافذ الإرسال في منظومة الاتصال الضوئي في الفضاء الحر كتابع للطول الموجي	**32**
4-2- أنماط التبعثر في حالتي Rayleigh و Mie	**34**

فهرس الأشكال

4-3- تبعثر ريلي الذي يعطي اللون الأزرق للغلاف الجوي	**36**
4-4- حدوث الانزياح الناتج عن الاضطراب الجوي في زوايا الموجات الضوئية	**39**
4-5- التشوهات في صدر الموجة الناتجة عن مرور سطح الموجة خلال الدوامات التي تسبب انكساراً عشوائياً لهذه الأمواج	**40**
4-6- تأثير الاضطرابات في مسار الانتشار في حال كون دوامات الاضطراب أكبر من قطر الحزمة	**41**
4-7- التألق الجوي	**42**
4-8- انفراج الحزمة الليزرية	**43**
الفصل الخامس الدراسات المرجعية	
5-1- مقارن معامل التخميد لشعاع الليزر بين أطوال موجية مختلفة	**52**
5-2- الاستطاعة الضوئية المستقبلة مقابل مدى الوصلة للطول الموجي 650nm	**54**
5-3- الاستطاعة الضوئية المستقبلة مقابل مدى الوصلة للطول الموجي 785nm	**54**
5-4- الاستطاعة الضوئية المستقبلة مقابل مدى الوصلة للطول الموجي 1550 nm	**55**
5-5- معدل البيانات مقابل مدى الوصلة للطول الموجي 650nm	**56**
5-6- معدل البيانات مقابل مدى الوصلة للطول الموجي 785nm	**56**
5-7- معدل البيانات مقابل مدى الوصلة للطول الموجي 1550nm	**57**
5-8- المخطط الصندوقي للتجربة	**59**
5-9- الكفاءة مقدرة بالنسبة المئوية للأطوال الموجية الثلاثة مقابل المسافة في النهار	**60**

فهرس الأشكال

5-10- الكفاءة مقدرة بالنسبة المئوية للأطوال الموجية الثلاثة مقابل المسافة في الليل	**61**
5-11- الكفاءة مقدرة بالنسبة المئوية للأطوال الموجية الثلاثة مقابل المسافة في النهار	**62**
5-12- الكفاءة مقدرة بالنسبة المئوية للأطوال الموجية الثلاثة مقابل المسافة في الليل	**63**
الفصل السادس مواد وطرائق البحث – القسم العملي	
6-1- المخطط الصندوقي لنظام الاتصال الليزري	**65**
6-2- مخطط الدارة الإلكترونية الأساسي	**67**
6-3- الواجهة التخاطبية الرسومية للتخاطب بين الحاسب والمتحكم الدقيق (Atmega328p)	**69**
6-4- الخلية السليكونية	**77**
6-5- مخطط الدارة المكافئة لخلية كهرضوئية نموذجية	**78**
6-6- مرشحات التخميد المستخدمة	**79**
الفصل السابع النتائج والمناقشة	
7-1- المخطط البياني لتغيرات الاستطاع الضوئية بدلالة تيار التشغيل للمرسلات الثلاثة	**82**
7-2- المخطط البياني لتغيرات الكفاءة الكمومية بدلالة التيار للمرسل الليزري الأحمر	**85**
7-3- المخطط البياني لتغيرات الكفاءة الكمومية بدلالة التيار للمرسل الليزري البنفسجي	**86**

فهرس الأشكال

7–4– المخطط البياني لتغيرات الكفاءة الكمومية بدلالة التيار للمرسل الليزري الأخضر	**87**
7–5– المخطط البياني لمقارنة تغيرات الكفاءة الكمومية بدلالة التيار للمرسلات الليزرية الثلاثة	**87**
7–6– المخطط البياني الخاص بمقارنة الاستطاعة الضوئية المستقبلة للمرسلات الثلاثة مقابل زيادة التردد (0.6 ~ 6 MHz)	**89**
7–7– المخطط البياني الخاص بمقارنة الاستطاعة الضوئية المستقبلة للمرسلات الثلاثة عند نسبة تخميد (9%) والتردد الأعظمي (6 MHz)	**91**
7–8– المخطط البياني الخاص بمقارنة الاستطاعة الضوئية المستقبلة للمرسلات الثلاثة عند نسبة تخميد (25%) والتردد الأعظمي (6 MHz)	**91**
7–9– المخطط البياني الخاص بمقارنة الاستطاعة الضوئية المستقبلة للمرسلات الثلاثة عند نسبة تخميد (50%) والتردد الأعظمي (6 MHz)	**92**
7–10– المخطط البياني الخاص بمقارنة الاستطاعة الضوئية المستقبلة للمرسلات الثلاثة عند نسبة تخميد (80%) والتردد الأعظمي (6 MHz)	**92**
7–11– المخطط البياني الخاص بمقارنة الاستطاعة الضوئية المستقبلة للمرسلات الثلاثة عند نسبة تخميد (90%) والتردد الأعظمي (6 MHz)	**93**

فهرس الجداول

عنوان الجدول ورقمه حسب فصول الأطروحة	
الفصل الثالث تصميم نظام اتصال بصري عبر الفضاء الحر	
3-1- مقارنة بين كل من الباعث الضوئي (LED) والديود الليزري (LD)	**15**
3-2- خصائص الأداء النموذجية لكل من الكواشف (PIN) و (APD)	**26**
الفصل الرابع العوامل المؤثرة على تقنية الاتصال الليزري عبر الفضاء الحر	
4-1- أنواع التبعثر الحاصل من أجل جسيمات مختلفة موجودة في الجو	**35**
الفصل الخامس الدراسات المرجعية	
5-1- التخميد الجوي مقدراً بواحدة dB/km كتابع لمجالات الرؤية من أجل الأطوال الموجية (650,785,1550) nm	**53**
5-2- معاملات النظام التي تم استخدامها في هذه الدراسة	**53**
الفصل السادس مواد وطرائق البحث- القسم العملي	
6-1- الكود الثنائي الرقمي والقيم المكافئة له في الجهد	**72**
6-2- الكود الثنائي الرقمي والقيم المكافئة له في التردد	**74**
6-3- وسطاء الخلية السيليكونية	**77**
الفصل السابع النتائج والمناقشة	
7-1- قيمة الكفاءة الكمومية لليزر الأحمر	**84**
7-2- قيمة الكفاءة الكمومية لليزر البنفسجي	**85**
7-3- قيمة الكفاءة الكمومية لليزر الأخضر	**86**
7-4- التخميد الجوي مقدراً بـ (dB/km) كتابع لعامل الرؤية للأطوال الموجية (650,532,405) nm	**94**

المصطلحات والرموز الأجنبية حسب ورودها في فصول الأطروحة

Giga byte per second (Gbps)	معدل نقل البيانات (جيجا بايت في الثانية)
Natural density filters (N.D.F)	مرشحات التخميد الضوئي
High- altitude platforms (HAP)	منصات الارتفاعات
Visible light communication (VLC)	الاتصالات الضوئية المرئية
Free space optics (FSO)	بصريات الفضاء الحر
Light- emitting diode (LED)	الديود الباعث للضوء
Nippon electric company (NEC)	شركة نيبون الإلكترونية
Infra red (IR)	الأشعة تحت الحمراء
Radio frequency (RF)	التردد الراديوي
Laser diode (LD)	ثنائي الليزر
Milliradian (Mrad)	واحدة قياس ميللي راديان
Avalanche photo diode (APD)	الثنائي الضوئي الإنهياري
Continuous wave (CW)	الموجة المستمرة
Frequency modulation (FM)	التعديل الترددي
Amplitude modulation (AM)	التعديل المطالي
Pulse modulation (PM)	التعديل النبضي
Amplitude shift keying (ASK)	الإبدال بإزاحة المطال
Frequency shift keying (FSK)	الإبدال بإزاحة التردد
Pulse shift keying (PSK)	الإبدال بإزاحة الطور
Visual basic application (VBA)	تطبيق فيجوال بيسك
Universal serial bus (USB)	الناقل التسلسلي العام
Voltage controlled oscillator (VCO)	الهزاز المتحكم به جهدياً
Wireless - fidelity (Wi-Fi)	تكنولوجيا نقل البيانات عبر الراديو
Light-fidelity (Li-Fi)	تكنولوجيا نقل البيانات عبر الضوء
Gallium indium nitride (InGaN)	نتريد إنديوم الغاليوم
Gallium nitride (GaN)	نتريد الغاليوم

الملخص

تسمح خواص الضوء الليزري وعلى الأخص ضيق العرض الطيفي (دقة كبيرة في الطول الموجي)، والانتشار ضمن حزمة ضيقة له بنقل المعطيات إلى مسافات بعيدة، وبالتالي يلعب اختيار المرسل الليزري دوراً مهماً وأساسياً في تصميم أنظمة الفضاء الحر الضوئية وذلك لأنه يحدد طول موجة العمل،كما يحدد عادة نوع التعديل المستخدم، وبالتالي فهو يحدد نوع الكاشف الضوئي وآلية كشف التعديل المستخدمة من قبل المستقبل.

في هذا البحث تم إنجاز تمثيل مخبري لبعض العوامل المؤثرة على الإشارة الليزرية في الفضاء الحر واستخلاص النتائج من هذه الدراسة في اختيار المرسل الليزري ذي الطول الموجي الأنسب من بين مرسلات ليزرية عدة حيث تم مكافأة هذه العوامل (التبعثر، الاضطراب الجوي، ضياع التوجيه، تباعد الحزمة .....) (والتي تقوم بتخميد الإشارة الليزرية)؛ بمجموعة من المخمدات الضوئية(Natural Density Filters) لتخميد الأشعة الليزرية بعد أن تم تصميم وتنفيذ منظومة اتصالات مخبرية بثلاثة أطوال موجية (650,532,405 nm) ودراسة كفاءة المرسل الليزري وقدرة الليزر على إرسال أكبر قدر ممكن من المعلومات لهذه المرسلات ذات الأطوال الموجية

المختلفة ومن ثم تحديد المرسل ذو الطول الموجي الأنسب والأكثر استقراراً بناء على النتائج المخبرية والخطوط البيانية.

الكلمات المفتاحية : الاتصالات الليزرية، الأطوال الموجية المرئية، تقنيات التعديل، الفضاء الحر، الكفاءة الكمومية.

الفصل الأول

المقدمة

تمهيد:

فـي هذا الفصل سيتم عرض مقدمـة بسيطـة عن موضوع البحث، ومبررات البحث وأهم الدوافع التـي كانت السبب الرئيسي فـي إجراء هذه الدراسـة، بالإضـافة إلـى التحدث عن الهدف الرئيسي من البحث، وأخيراً سيتم إعطاء لمحة بسيطة عن الفصول الأخرى التـي تحتويها الأطروحة.

1-1- مقدمة البحث:

تتمتـع الاتـصالات الليزرية في الفضـاء الحـر بالعديد من المزايا التـي تجعل منها حلاً لحـاجـة متزايدة إلـى منظومات اتـصال سريعة وآمنة، وهـي منظومات سهلـة وسريعـة التركيب والتشـغيل، إذ لاتحتاج إلـى تمديد خطوط وكابلات، ومن ثم تناسـب الوحدات المتحركة والمعسكرات، وهذا يعزز استعمالها في المجالات العـسكرية إلى جانب أنها كثيرة الاستعمال فـي المحـطات المتحركة التي يمكنها الاعتماد على بنية ثابتة، مثل الاتصال بين الطائرات والمركبات الهوائيـة من دون طيار (Unmanned) ومنصـات الارتفاع High-altitude platforms(HAP) إضافة إلـى استعمالـها بين المركبات والمحطات الفضائية مثل السواتل ومسابر الفضاء العميق.

ومن الجدير بالذكر أن ضيق الحزمة الليزرية المنتشرة يوفر الميزتين التاليتين:

1- صعوبة التنصت علـى خط الاتصال، وهذا يضمن سـرية الاتصالات ولاسيما العسكرية منها.

2- الحد من إمكان تداخل قناة الاتصال مع قنوات الاتصال الأخرى سواء أكانت من النوع نفسه أم من نوع مختلف، ومن ثم يغني الحصول على إذن أو تصريح من الجهات المسؤولة عن توزيع الطيف الترددي.

1-2- دوافع ومبررات البحث:

إن التقدم الكبير الذي حصل في مجال الإنترنت والوسائط المتعددة والطلب المتزايد في الحصول على موارد الإنترنت أدى إلى حصول ضغط كبير على وسائط النقل السلكية واللاسلكية التقليدية، وكذلك ارتفاع تكلفة الألياف الضوئية وصعوبة تمديدها دفعت نحو التوجه إلى استخدام تكنولوجيا الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر من أجل تأمين مجال واسع من معدلات نقل البيانات ليتمكن المستخدم من نقل البيانات والصور والفيديو والوسائط المتعددة بأسرع وقت وبأكبر كمية ممكنة.

كل هذه المبررات دفعت إلى دراسة انتشار الإشارة الليزرية في الفضاء الحر ودراسة القيود التي تحد من الاختيار العملي لمكونات المنظومة الليزرية في الأوساط غير الموجهة، والسعي إلى معرفة الأطوال الموجية المناسبة في هذا المجال.

1-3- هدف البحث:

التركيز على انتقاء طول موجة المرسل الليزري المناسب في الاتصالات الليزرية عبر الفضاء الحر والتي تعد من أهم الخطوات في تصميم منظومة الاتصال الضوئي من خلال تمثيل مخبري لبارمترات الفضاء الحر المؤثرة على الإشارة الليزرية، حيث تم مكافأة هذه العوامل التي تقوم بتخميد الإشارة الليزرية بمجموعة من المخمدات الضوئية، وقد تم ذلك بعد القيام بتصميم وتنفيذ منظومة اتصالات مخبرية بثلاث

أطوال موجية ودراســـة كفاءة المرسل الليزري وقدرته علـــى إرســـال أكبر قدر ممكن المعلومـات (نقل المعلومـات بترددات عاليـة) وبالتالـي اسـتخلاص النتائـج من هذه الدراسـة والاسـتفادة منها فـي اسـتثمار المنظومـة الليزرية بـشكل أفضل في بصريات الفضاء الحر.

1-4- لمحة عن فصول الأطروحة:

يتناول **الفصل الثاني** التعريف بتكنولوجيا الاتـصالات الضوئية فـي الفضاء الحر وشرح مبدأ عملها وتـطبيقاتـها ومزايا اسـتخدامها مقارنـة بالتقنيات الأخرى كالأمواج الراديويـة والألياف الضوئية.

يتناول **الفصل الثالث** البنية الأسـاسية لنظام الاتـصال الـضوئي فـي الفضاء الحر، مع دراسة المعاملات التي تؤثر على أداء كل من المرسـل الليزري والكاشـف الـضوئي في الاتصالات الضوئية بالإضافة إلى تقنيات التعديل المستخدمة في هذا النظام.

يتناول **الفصل الرابع** دراسة العوامل المؤثرة على تقنية الاتصال الليزري في الفضاء الحر ومقدار التخميد الناتـج عن كل عامل من هذه العوامل بالإضافة إلـى التخميد الناتج عن الضياعات الهندسية وفقدان دقة التسديد.

يتناول **الفصل الخامس** عدد من الدراسـات المرجعية فيما يخص الاتـصالات الـضوئية الليزرية في الفضاء الحر وإجراء دراسة نظرية وتحليل تأثير بعض العوامل الجويـة علـى ضـوء الليزر كمصدر للإشـارة الضوئية فـي مجـال الأطوال الموجيـة المرئيـة وتحت الحمراء.

يتناول **الفصل السادس** الأدوات التي تم استخدامها وطرائق البحث، كما تم شرح كافة العناصر الإلكترونية والضوئية التي تم استخدامها وكيفية الاستفادة منها في الحصول على القياسات والنتائج.

يتناول **الفصل السابع** نتائج البحث التي تم الوصل إليها بعد دراسة القياسات الناتجة وتحليلها والمقارنة بينها، بالإضافة إلى مناقشة هذه النتائج بشكل مفصل.

يتناول **الفصل الثامن** تلخيص لنتائج البحث مع بيان أهميتها وكيفية التعامل معها كقاعدة أساسية تمكن من بناء منظومة اتصال ضوئي بأفضل الطرق التي يمكن استخدامها في هذا المجال بالإضافة إلى التوصيات والمقترحات المستقبلية.

الفصل الثاني

تكنولوجيا الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر

تمهيد:

الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر هي تقنية اتصالات ضوئية ترسل الضوء لنقل البيانات لاسلكياً من أجل الاتصالات وشبكات الحواسيب، ويكون ذلك عبر الهواء مما يسمح بالاتصال الضوئي دون الحاجة إلى كابل الألياف الضوئية وكذلك بدون الحاجة إلى تأمين تراخيص الطيف الكهرطيسي، وأصبح هناك ترابط وثيق بين الاتصالات الضوئية والليزر وذلك لما تتميز به الأشعة الصادرة عن الليزر من خصائص مهمة ميزته عن باقي المصادر الأخرى مثل : أحادية اللون (optical spectral width) الترابط (coherence)، الاستطاعة (optical output power)، الاتجاهية العالية (directionality) [1].

2-1- مبدأ العمل:

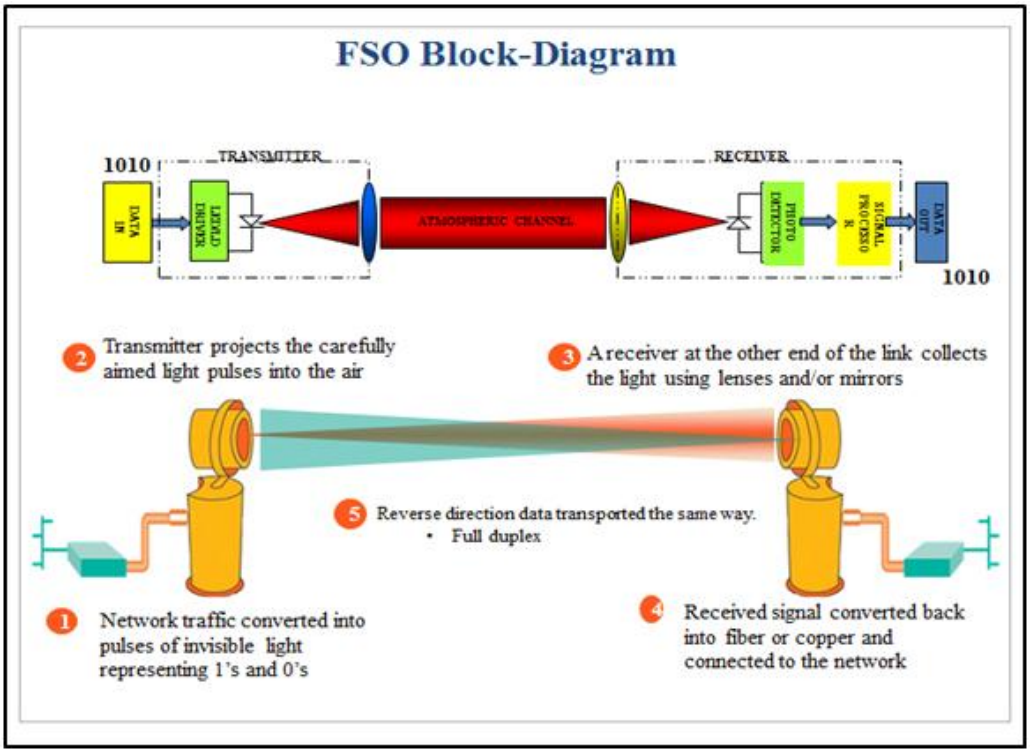
يعتمد مبدأ العمل على إنشاء نظام اتصال يمكن من خلاله إرسال البيانات و المعلومات من جهاز الإرسال إلى جهاز الاستقبال وذلك من خلال ضوء الليزر الذي يحمل الإشارة المراد نقلها وذلك مع تحقيق نسبة خطأ مقبولة وتوفير موثوقية عالية.

يتكون جهاز الإرسال من ليزر(LD) laser diode، أو ثنائي باعث للضوء (LED) light- emitting diode، معدل إشارة، دارة قيادة الليزر (من أجل تأمين التغذية اللازمة لليزر) وقد يتم فيه استخدام عدسة لعمل توسيع للحزمة الضوئية من أجل

تخفيض أثر الحيود على الحزمة الضوئية الخارجة حيث يقوم جهاز الإرسال بتحويل الإشارة من الشكل الكهربائي إلى إشارة ضوئية قابلة للإرســـال.

يتكون المـستقبل من الكاشف ومفكك تعديل للحصول علــى إشارة الخرج. الكاشف يقوم بتحويل الموجــة الـضوئية إلـى إشـــارة كهربائية ومن ثم عن طـريق مفكك التعديل يتـم اســـتعادة البيانات، ويمكن استخدام عدســـة تقوم بالتقاط الموجـــة الـــضوئيـة وتقليص حجمها بشكل يناسب الكاشف.

يوضح الشكل (2-1) نموذج اتصال وفق تكنولوجيا الاتصال الضوئي في الفضاء الحر.



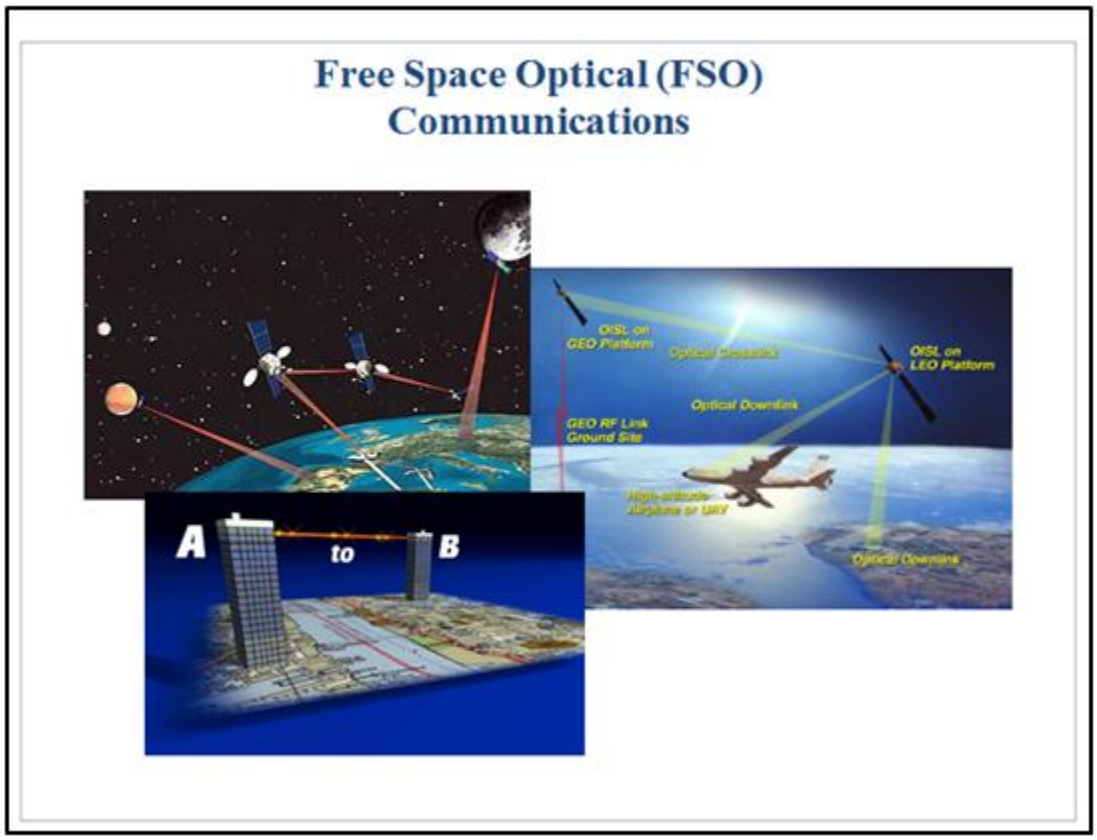
الشكل (2-1) نموذج اتصال وفق تكنولوجيا الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر [2]

2-2- تطبيقات الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر:

يوجد الكثير من الاستخدامات والتطبيقات لهذه التكنولوجيا من الاتصال نذكر منها [3]:

1. اتصالات الأشعة تحت الحمراء infrared (IR)، (تطبيقات التحكم عن بعد).
2. اتصالات الضوء المرئي visible light communication (VLC)، للتطبيقات الداخلية.
3. اتصالات الأشعة فوق البنفسجية.
4. الاتصالات بين السواتل (الأقمار الصناعية).
5. الاتصالات تحت الماء.
6. الاتصالات الضوئية الأرضية.
7. الاتصالات الهجينة RF/FSO (radio frequency/free space optics).

يبين الشكل (2-2) استخدام الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر لعمل نماذج اتصال عدة كإنشاء شبكة اتصال بين الأبنية أو بين المحطات الأرضية و المركبات الفضائية أو بين المركبات الفضائية فيما بينها.



الشكل (2-2) استخدام الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر لعمل عدة نماذج اتصال [2]

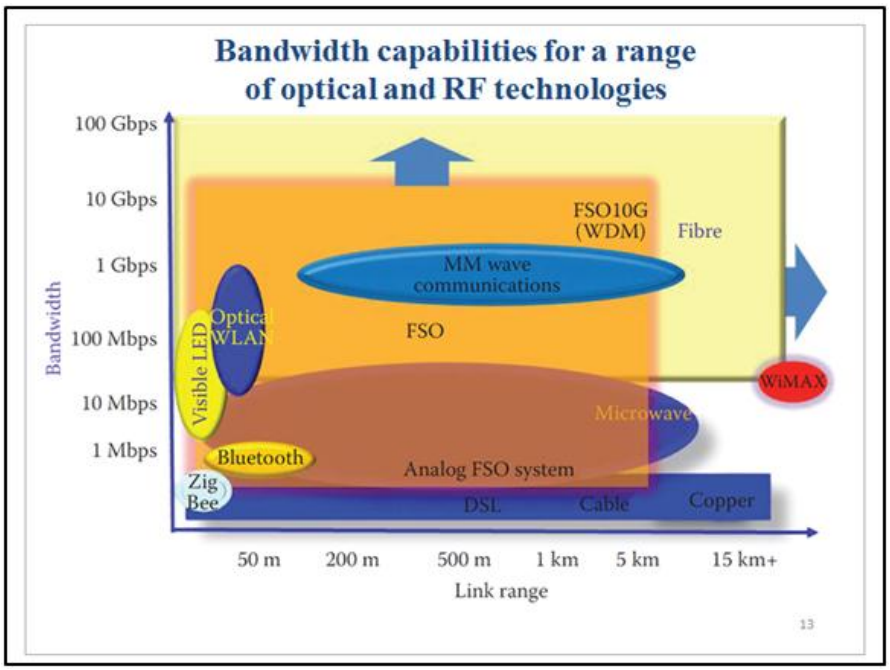
2-3- مزايا استخدام الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر:

هناك الكثير من المزايا لاستخدام الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر مقارنة بالأمواج الراديوية Radio frequency(RF) وبالألياف الضوئية (Fiber Optics).

2-3-1. ميزات الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر (FSO) بالنسبة للأمواج الراديوية (RF):

1. الإشارة المرسلة في اتصالات الفضاء الحر ذات عرض نطاق ضيق وبالتالي فإن مشكلة اعتراض البيانات أقل.
2. خفيفة الوزن، صغيرة الحجم، مقارنة بمنظومة الأمواج الراديوية.
3. الطيف واسع وخالٍ من التراخيص بينما في الموجات الراديوية تتطلب الشبكات رأس مال مرتفع للحصول على تراخيص للطيف [4].

الشكل (2-3) يوضح الفرق بين تقنية (FSO) وتقنية (RF):



الشكل (2-3) يوضح الفرق بين تقنية (FSO) وتقنية (RF) من حيث عرض الحزمة ومدى الوصلة [2]

2-3-2. ميزات الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر (FSO) بالنسبة للألياف الضوئية (Fiber Optics):

1. لا يوجد متطلبات للحفر وتصاريح من أجل التنصيب.
2. يتم تركيبها بشكل أسرع مع إمكانية التنقل وإعادة تشكيل الشبكة المطلوبة بسهولة بينما في الألياف الضوئية يستغرق التثبيت وقتاً طويلاً والتنقل مستحيل.



الشكل (2-4) مزايا الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر مقارنة بالألياف الضوئية [2]

الخلاصة:

في هذا الفصل تم التعريف بتكنولوجيا الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر وشرح مبدأ عملها وتطبيقاتها ومزايا استخدامها مقارنة بالتقنيات الأخرى كالأمواج الراديوية (Radio Frequency) والألياف الضوئية.

سيتم في الفصل التالي شرح بنية نظام الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر وكيفية تصميم هذه النظم.

الفصل الثالث

تصميم نظام اتصال ضوئي عبر الفضاء الحر

تمهيد:

تحتوي الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر (FSO) على ثلاثة مكونات : المرسل وخط النظر لقناة الإرسال الحر في الفضاء الحر والمستقبل.

يعد جهاز الإرسال عبارة عن مصدر ضوئي ويكون إما الثنائي الليزري (Laser diode) أو الثنائي الباعث للضوء light – emitting diode (LED)،لإرسال الشعاع الضوئي عبر الغلاف الجوي والذي يخضع لقانون (Beer – Lamberts).

يعتمد اختيار مصدر الليزر لتطبيقات (FSO) على عوامل مختلفة، من هذه العوامل أن يرتبط طول موجة الإرسال بإحدى النوافذ الجوية، حيث تبلغ النوافذ الجوية الجيدة في الغلاف الجوي نحو 850nm و 1550nm في نطاق الطول الموجي الأقصر للأشعة تحت الحمراء، بالإضافة إلى ذلك تحتاج معظم المنابع إلى تبريد للوصول إلى درجة حرارة منخفضة مما يحد استخدامها في تطبيقات الاتصالات التجارية [5].

3-1- جهاز الإرسال:

يتألف بشكل عام من قسمين : الأول عبارة عن واجهة ربط للوسيلة المراد إرسال المعلومات منها والقسم الثاني هو دارة الإرسال المسؤولة عن تحويل إشارة الدخل إلى إشارة ضوئية قابلة للإرسال.

3-2- المصدر الضوئي:

يعد المصدر الضوئي الجزء الرئيسي في جهاز الإرسال، وهو المسؤول عن توليد الموجة الضوئية الحاملة للمعلومات، ويكون المصدر الضوئي المستخدم في الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر على الأغلب؛ إما ثنائي ليزري (LD) laser diode، أو ثنائي باعث للضوء (LED) light-emitting iode.

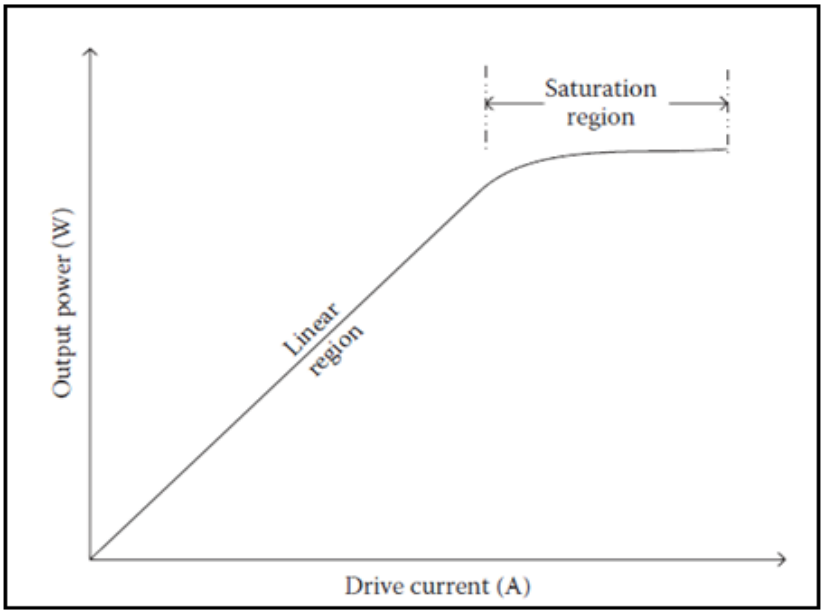
3-2-1. الثنائيات الباعثة للضوء (LEDs):

تعد الثنائيات الباعثة للضوء من أكثر أنواع الثنائيات انتشاراً، حيث تستخدم في الكثير من التطبيقات مستفيدة من طيف الألوان المتعدد الذي يمكن أن تشعه، وتعد هذه الثنائيات أحد تطبيقات الوصلة الثنائية PN ، وتكون الوصلة في هذا النوع من الثنائيات رقيقة جداً مع درجة عالية من الإشابة.

تبعث ثنائيات الـ (LED) النصف ناقلة ذات الوصلة (p-n) إشعاعاً ضوئياً تلقائياً عند تعرضها للإثارة الإلكترونية [2].

إن عملية التحويل الكهرضوئي فعالة إلى حدٍ ما وتؤدي إلى حرارة قليلة جداً مقارنة بالأضواء المتوهجة، تستخدم ثنائيات الـ (LED) بشكل أساسي في أنظمة (FSO) قصيرة المدى (أقصر من 1km) .

والشكل (3-1) يوضح الاستطاعة الضوئية المرسلة مقابل تيار القيادة للباعث الضوئي (LED) :



الشكل (3–1) الاستطاعة الضوئية للباعث الضوئي مقابل تيار القيادة [2]

3–2–2. الثنائي الليزري (Laser Diode):

ثنائيات الليزر هي عبارة عن عناصر أنصاف النواقل، ينبعث منها ضوء مترابط وهي من أكثر أنواع الليزر استخداماً، وذلك بسبب صغر حجمها، وانخفاض سعرها نسبياً، وعمرها الطويل، مما جعلها عناصر مستخدمة بكثرة في تطبيقات متعددة.

أهم مميزات ليزرات أنصاف النواقل عن باقي أنواع الليزر:

1. كفاءتها عالية تصل إلى 30%، مما يجعلها تقاد بطاقة كهربائية منخفضة، مقارنة مع أنواع الليزر الأخرى.

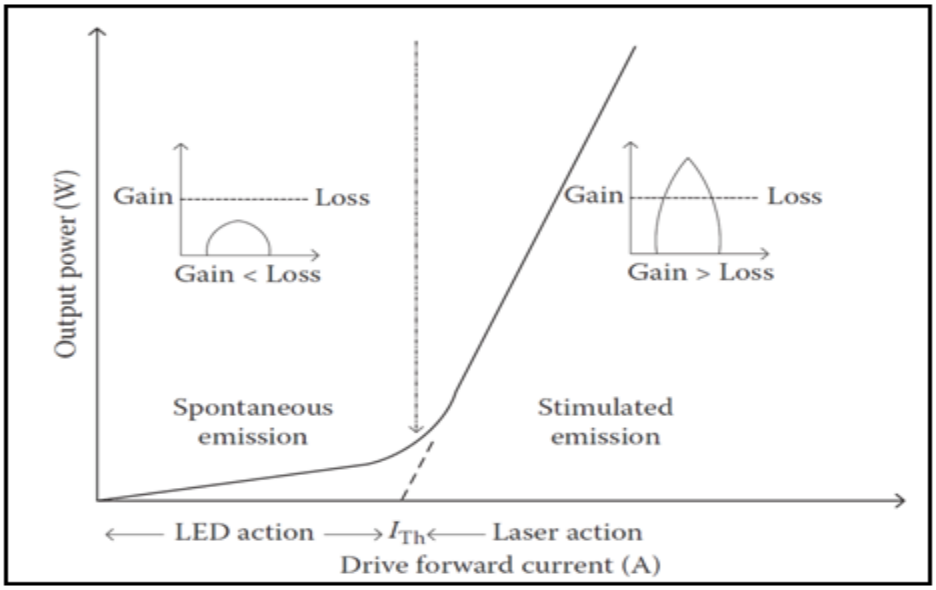
2. إمكانية التحكّم بشدة الشعاع الخارج مباشرةً بوساطة التيار الكهربائي.

3. تتميز بإمكانية الفتح والإغلاق بسرعة كبيرة ،مما يمكّننا من التحكّم به بشكل أفضل ما يجعل هذا النوع من الليزرات مثالي للتطبيقات التي تتطلّب معدلات

4. نقل عالية كتطبيقات الاتصالات.

5. إمكانية الضخ المباشر باستخدام تيار كهربائي صغير نوعاً ما.

يبين الشكل (3-2) المنحني البياني لاستطاعة الخرج لليزر مقابل تيار القيادة [2]:



الشكل (3–2) استطاعة الخرج لليزر مقابل تيار القيادة [2]

يبين الجدول (3–1) مقارنة بين البواعث الضوئية (LED) وثنائيات الليزر (LD) بالنسبة لعدد من البارامترات.

الجدول (3-1) مقارنة بين كل من الباعث الضوئي (LED) والديود الليزري (LD) [2]

Characteristics	LED	LD
Optical output power	Low power	High power
Optical spectral width	25-100 nm	0.01-5 nm
Modulation bandwidth	Tens of kHz to hundreds of MHz	Tens of kHz to tens o
E/O conversion efficiency	10-20%	30-70%
Eye safety	Considered eye safe	Must be rendered eye safe
Directionality	Beam is broader and spreading	Beam is directional and is highly collimated
Reliability	High	Moderate
Coherence	Noncoherent	Coherent
Temperature depndence	Little temperature dependence	Very temperature dependent
Drive and control circuitry	Simple to use and control	Threshold and temperature compensation circuitry
Cost	Low	Moderate to high
Harmonic distortions	High	Less
Receiving filter	Wide-increase noise floor	Narrow-lower noise floor

3-2-2-1. المعاملات الأساسية للمرسل الليزري:

من المعلوم أن الليزر هو الوسيلة الأكثر استخداماً كمصدر ضوئي في منظومة الاتصالات الضوئية وبالتالي يوجد عدد من الوسائط الأساسية للمرسل الليزري أهمها [9] :

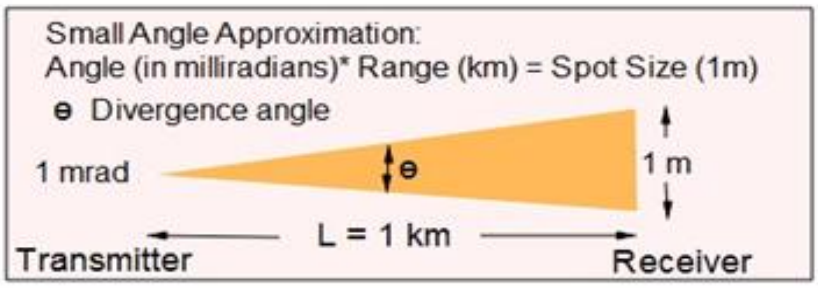
1. متوسط استطاعة الخرج:

و تعد قيمة مهمة في نظم الاتصالات، فكما هو الحال في معظم أنظمة الألياف الضوئية الرقمية؛ كذلك فإنّ معظم أنظمة (FSO) هي نظم رقمية تستخدم البتات الثنائية في إرسال المعلومات عبر الوصلة.

تستخدم أنظمة الاتصالات هذه طرق الترميز للتأكد من تمام إرسال عدد متساوٍ من الخانات الثنائية "0" و "1"، وبالتالي الحفاظ على دورة عمل بنسبة 50%، في هذه الحالة يتم إرسال ذروة استطاعة للدلالة على "1" وعدم إرسال أي استطاعة للدلالة على "0"، وبالتالي فإنّ متوسط الاستطاعة يساوي نصف ذروة الاستطاعة.

1. زاوية انفراج الحزمة :

تعبر زاوية انفراج الحزمة عن مقدار سرعة تباعد الحزمة كما هو مبين في الشكل (3-3) وهي ذات قيمة صغيرة في حالة الليزر، وذلك بسبب الاتجاهية العالية لحزمة الليزر، والتي يمكن تحقيقها من خلال التصميم الضوئي الجيد.



الشكل(3-3) العلاقة بين زاوية الانفراج وطول الوصلة وقطر الحزمة الليزرية [3]

ولإنجاز عملية الاتصال في منظومة (FSO) لا بد من اتخاذ الإجراءات اللازمة للتغلب على مشكلة الانفراج، حيث يتم في المنظومات الحديثة التسديد والتتبع آلياً، وفي هذه الحالة تبلغ زاوية انفراج الحزمة mrad (0.05-1) الأمر الذي يعني أنّ انفراج الحزمة سيكون (5cm-1m) عندما ترسل الحزمة لمسافة 1km بالإضافة لتحسينات أخرى لمقاومة ظروف تخامد المناخ المختلفة [6].

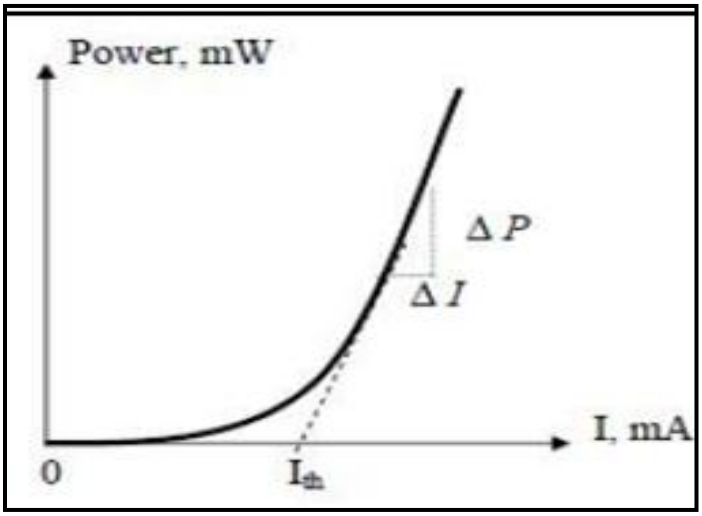
2. الكفاءة الكمية لليزر :

يمكننا تعريف الكفاءة الكمية (Quantitative Efficiency) لليزر بأنها عدد الفوتونات المتولدة داخله بالنسبة إلى عدد الإلكترونات الداخلة عليه.

ولكي يعمل الليزر يجب تطبيق تيار كهربائي لا تقل قيمته المحقونة عن قيمة تسمى تيار العتبة (Threshold current) والذي يرمز له (I_{th})، وتحسب الكفاءة الكمية رياضياً وفقاً للعلاقة [7]:

$$\eta = \frac{\Delta P}{\Delta I} \qquad (1\text{-}3)$$

حيث ترمز ΔP إلى معدل التغير في قيمة الاستطاعة الخارجة من الليزر، بينما ترمز ΔI إلى معدل التغير في قيمة التيار المشغل لجهاز الليزر، كما هو موضح في الشكل الآتي (3-4):



الشكل (3-4) تحديد الكفاءة الكمية لليزر

تختلف الكفاءة الكمية باختلاف نوع الليزر وتعتمد بشكل كبير على درجة الحرارة، وتتراوح قيمتها بين الصفر والواحد أو تعطى كنسبة مئوية، تعتبر القيمة (0.7V) جيدة لمعظم أنواع الليزرات.

3. تيار العتبة وتأثير درجة الحرارة :

يمكننا تعريف تيار العتبة بأنه الحدّ الأدنى لقيمة التيار الذي يجب أن يحقن في الليزر لتشغيله بالشكل الصحيح، أما في حالة كون التيار الداخل أقل من تيار العتبة، فإنّ الليزر يعمل كثنائي ضوئي عادي بدون أي تكبير داخلي.

5. زمن الاستجابة:

هي الزمن الذي يحتاجه الديود للانتقال من (10% إلى 90%) من الاستطاعة العظمى له عند كل عملية إطفاء وتشغيل لليزر، ويتفوق الليزر نصف الناقل على الثنائي الضوئي من ناحية زمن الاستجابة [8].

3-3- جهاز الاستقبال:

يتكون جهاز الاستقبال من كاشف ضوئي مسؤول عن تحويل الإشارة الضوئية إلى إشارة كهربائية، كما يتطّلب وجود مرشح ضوئي للتخلّص من الضجيج الناتج عن الوسط المحيط، بينما نحتاج إلى وجود مضخّمٍ للحد من قيمة الضجيج، ويمكن أن يحتوي على دارات معالجة الإشارة، وكذلك دارات فك التعديل، ومن الممكن استخدام عدسة تقوم بتجميع الإشارة الضوئية وتقليص حجمها بشكل يناسب الكاشف.

3-3-1. الكواشف الضوئية:

إن الوظيفة الأساسية للكاشف الضوئي هي تحويل الإشارة الضوئية إلى إشارة كهربائية (تيار كهربائي)؛ حيث تتناسب قيمة هذا التيار الناتج مع شدة الضوء الوارد.

توجد مجموعة متطلبات عامة للكاشف الضوئي من أجل الحصول على أداء عالٍ هي [2]:

1. حساسية عالية للطول الموجي المستخدم.
2. استجابة عالية للإشارة المستقبلة.
3. تكلفة منخفضة.
4. زمن استجابة قصير للحصول على عرض نطاق مناسب.
5. أقل قدر ممكن من الضجيج.

3-3-2. المعاملات الأساسية للكاشف الضوئي:

1. الكفاءة الكمية (Quantum Efficiency):

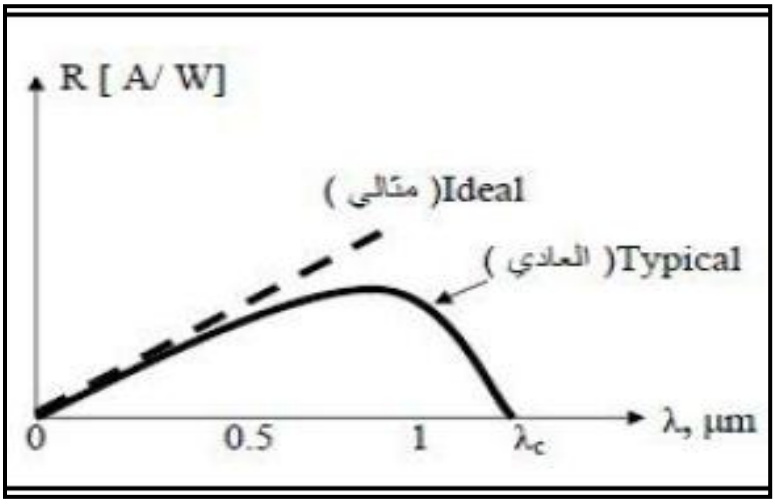
تعرف الكفاءة الكمية (η) للثنائي الضوئي بأنها نسبة عدد الإلكترونات الخارجة منه إلى عدد الفوتونات الساقطة عليه ؛حيث تتغير قيمتها بتغير الطول الموجي ودرجة الحرارة، وتكون ما بين الصفر والواحد (عادة نحو 0.7) أو تعطى كنسبة مئوية.

2. الاستجابة (Responsivity):

عند الحديث عن أداء وعمل الثنائي الضوئي؛ عادة ما تُستخدم الاستجابة R، والتي تعرّف على أنّها النسبة ما بين التيار الضوئي الخارج من الثنائي I_P إلى الاستطاعة الضوئية الساقطة عليه P_0 ، وواحدتها [A/W].

$$R = I_P/P_0 \qquad (2\text{-}3)$$

تعتمد R بشكل كبير على نوع المادة التي يُصنع منها الثنائي الضوئي، وعلى الطول الموجي كما يبين الشكل (3-5)، وعادة ما تكون قيمتها أقل من [A/W] 1 للثنائي من النوع P-I-N.



الشكل (3–5) الاستجابة كتابع للطول الموجي الساقط على ثنائي ضوئي من السيليكون [7]

3. زمن الاستجابة :

يعبّر زمن الاستجابة عن الزمن اللازم للكاشف الضوئي كي يستقبل الاستطاعة الضوئية الواصلة له ويحوّلها إلى تيار كهربائي، وفي بعض الحالات يسمّى زمن الصعود Rise Time، ويرمز له بالرمز t_r وهناك أيضاً زمن الهبوط Fall Time ويرمز له بالرمز t_f. تعتمد قيمة زمن الاستجابة على تركيبة وتصميم الثنائي، ونوع المادة المصنوع منها وجهد الانحياز، وقد تصل إلى أقل من [ns]0.1 [9].

4. جهد الانحياز :

يجب أن يكون جهد الانحياز عكسياً، وذلك لضمان عمل الكاشف الضوئي، وهنا تعتمد قيمة الجهد على نوع الكاشف الضوئي، وتؤثر على تشغيله وأدائه، حيث تتراوح من 5V إلى أكثر من 200V.

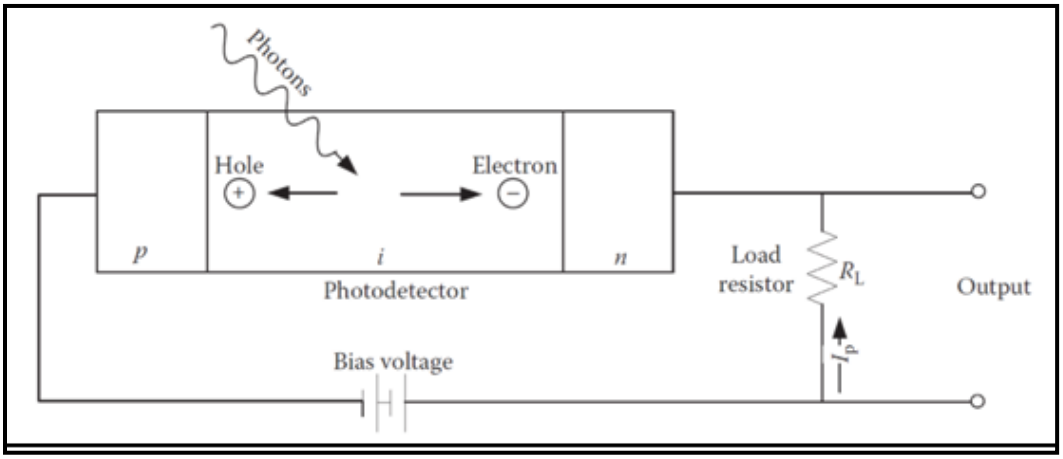
3-3-3. أنواع الكواشف الضوئية :

من أشهر أنواع الكواشف الضوئية المستخدمة في الاتصالات الضوئية [2] :

1. الكاشف الضوئي نوع P-I-N :

إن الكواشف الضوئية PIN هي الكواشف الأكثر شيوعاً في الاتصالات الضوئية، ويتضمَن الثنائي PIN طبقة ناقلة ضمنية عريضة بين المنطقتين N-P وتكاد هذه الطبقة أن تكون نقية intrinsic.

في ظروف التشغيل العادية، يتم تطبيق جهد انحياز عكسي كبير بما فيه الكفاية عبر الجهاز ويضمن الانحياز العكسي أن تكون المنطقة النقية خالية من أيٍ حاملات شحنة.



الشكل(3-6) [2] PIN photo detector

2. الكاشف الضوئي الانهياري (APD) Avalanche photo diode:

إن الكاشف الضـوئي الانهياري (APD) هو كاشف ذو وصلة نصف ناقلة يتمتع بربح داخلي واستجابة تزيد على استجابـة كاشف PIN وهذا ما يزيد حسـاسيته بشـكل كبير.

يتزايد الربح تبعاً لجهد الاستقطاب العكسي(Reverse Bias Voltage) V_B وفقاً للعلاقة الآتية [5]:

$$M = \frac{1}{1-(\frac{V_B}{V_{BR}})^n} \qquad \textbf{(3-3)}$$

M: الربح

V_{BR}: هو جهد الانحياز العكسي.

n: تحدد تجريبياً وذات قيمة أقل من الواحد.

تتراوح جهود الانهيار بين V[500 – 20] ويعطى التيار المتولد بوساطة APD ذي الربح M بالمعادلة الآتية :

$$\boldsymbol{I = \frac{M.\eta.e.p}{h.f} = \frac{M.\eta.e.\lambda.p}{h.c}} \qquad \textbf{(4-3)}$$

حيث $\boldsymbol{e}$: شحنة الإلكترون

$\boldsymbol{\lambda}$: طول الموجة

c : سرعة الضوء في الخلاء

f : تردد الضوء

p : الاستطاعة الضوئية

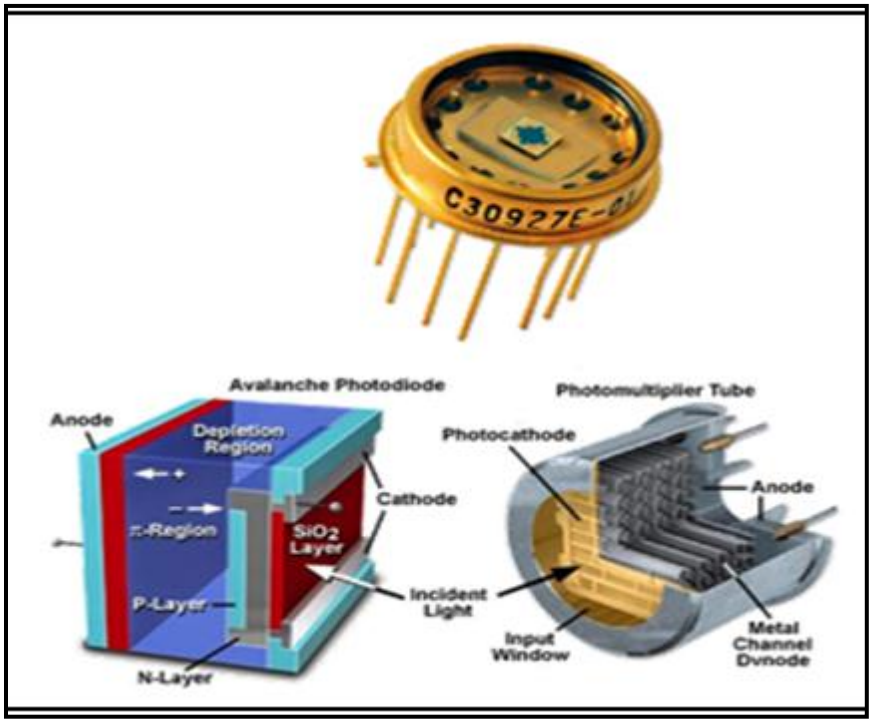
h : ثابت بلانك

η : الكفاءة الكمومية (quantum efficiency) .

وتعطى الاستجابة كما يلي :

$$\boldsymbol{R_{es} = \frac{M.\eta.e}{h.f} = \frac{M.\eta.e.\lambda}{h.c}} \qquad \textbf{(5-3)}$$

وتتراوح الاستجابة الجرفية ما بين [A/W] 80 – [A/W] 20، يبين الشكل (7-3) بنية تفصيلية للكاشف الضوئي الانهياري.



الشكل (3–7) APD photo detector [2]

فيما يلي جدول يبين خصائص الأداء النموذجية لكل من الكواشف PIN و APD ويقارن بينها [2]:

الجدول (3-2) خصائص الأداء النموذجية لكل من الكواشف PIN و APD [2]

	InGaAs	InGaAs	Germanium	Germanium	Silicon	Silicon
Parameter	PIN	APD	PIN	APD	PIN	APD
Wavelength range (nm)	400-1100		900-1700		800-1800	
Peak (nm)	900		1300(1550)	1300	1550	830
Responsivity R (A/W)	0.6		0.63-0.8 (0.75-0.97)	3-28	0.65-0.7	77-130
Quantum efficiency (%)	65-90	60-70	60-70	55-75	50-55	77
Gain	1	10-30	1	5-40	1	150-250
Excess noise factor	-	0.7	-	0.95-1	-	0.3-0.5
Bias voltage (v)	45-100	<30	5	20-35	6-10	220
Dark current (nA)	1-10	1-5	1-20	10-500	50-500	0.1-1.0
Capacitance (pf)	1.2-3	0.5	0.5-2	2-5	2-5	1.3-2
Rise time (ns)	0.5-1	0.1-0.5	0.06-0.5	0.5-0.8	0.1-0.5	0.1-2

3-4- التعديل:

يعد التعديل من العمليات الأساسية في أيِ نظام اتصال، وتتعلّق عملية التعديل عموماً بإشارتين هما [2] :

1- **إشارة المنبع أو الإشارة المعدلة** : وهي تمثل إشارة منبع المعلومات أو إشارة الرسالة.

2- **الموجة الحاملة** : والتي تكون عبارة عن إشارة جيبية في حالة الإرسال اللاسلكي وكثير من نظم الاتصالات السلكية أيضاً ويمكن أن تكون عبارة عن قطار من النبضات في الاتصالات النبضية والرقمية.

يوجد العديد من طرق التعديل المستخدمة في نظم الاتصال، وتقسم بشكل رئيسي إلى مجموعتين :

1- طرق تعديل الموجة المستمرة (Continuous Wave) :

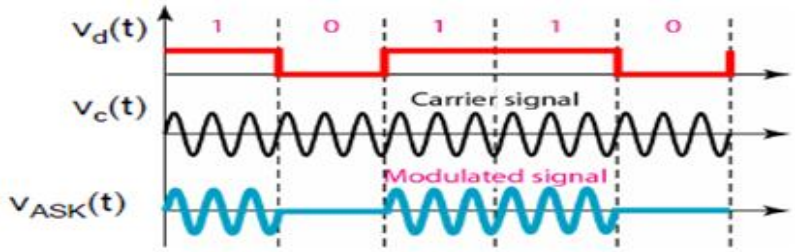
حيث تكون الموجة الحاملة عبارة عن موجة جيبية، ويتم إما تغيير مطال الموجة الحاملة تبعاً لإشارة التعديل مع بقاء التردد والطور ثابتين، ويسمّى التعديل المطالي (AM) ،أو يتم تغيير تردد الموجة الحاملة كما في حالة التعديل الترددي (FM) أو زاوية الموجة كما في حالة التعديل الطوري (PM).

2- طرق التعديل النبضي (Pulse Modulation) :

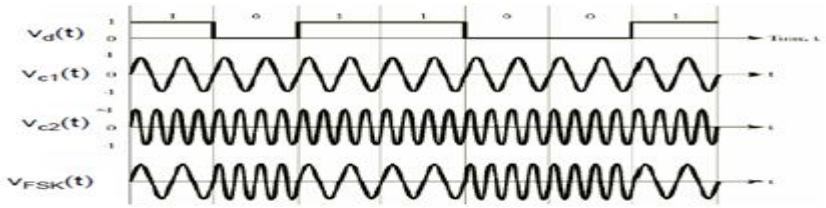
حيث تكون الموجة الحاملة عبارة عن قطار نبضات ويتم تعديل مطال النبضات أو موضع النبضات.

تستخدم أنظمة الاتصال الضوئية في الفضاء الحر(FSO) طرق تعديل تسمّى طرق التعديل الرقمي للموجات الحاملة، والتي تعد من طرق تعديل الموجة المستمرة؛ حيث تستخدم للتعديل الرقمي للموجات الحاملة طرق الإقفال أو الإبدال المفتاحي keying

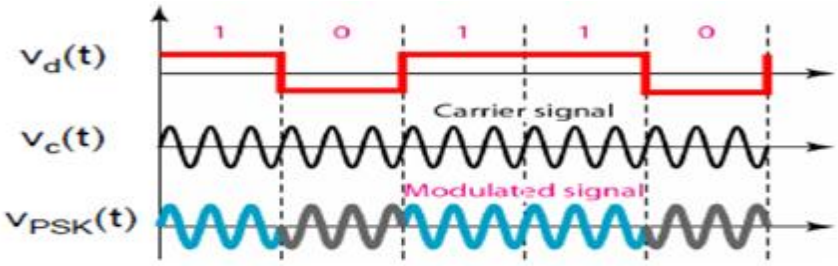
للمطال أو الطور أو التردد من قيمة معينة تقابل مثلاً الواحد الثنائي إلى قيمة أخرى تقابل الصفر الثنائي.



(a) Amplitude Shift Key



(b) Frequency Shift Key



(c) Phase Shift Key

الشكل(3-8) طرق التعديل الرقمي للموجة الحاملة [2]

فكما يبدو في الشكل (3-8) في حالة التعديل الرقمي بطريقة الإبدال بإزاحة المطال amplitude shift key (ASK)، يتم إبدال مطال الموجة الحاملة من قيمة معينة A1 تقابل الواحدات إلى قيمة أخرى A0 في حالة الأصفار، أما في حالة التعديل

الرقمي بطريقة الإبدال بإزاحة التردد frequency shift key (FSK)، فيتم تبديل تردد الموجة الجيبية من قيمة معينة في حالة الواحدات إلى قيمة أخفض في حالة الأصفار.

الخلاصة:

في هذا الفصل تم عرض البنية الأساسية لنظام الاتصال الضوئي في الفضاء الحر، مع دراسة المعاملات التي تؤثر على أداء كلّ من المرسل الليزري والكاشف الضوئي في الاتصالات الضوئية بالإضافة إلى تقنيات التعديل المستخدمة في هذا النظام.

في الفصل التالي ستتم مناقشة العوامل الجوية المؤثرة على الاتصالات الليزرية في الفضاء الحر، وأثر التخميد الناتج عن هذه العوامل والذي يعد من أهم القيود المؤثرة على قناة الاتصال في الغلاف الجوي.

الفصل الرابع

العوامل المؤثرة على تقنية الاتصال الليزري عبر الفضاء الحر

تمهيد:

في كثير من التطبيقات العملية يعد وجود اضطراب مستمر في قناة اتصال الغلاف الجوي هو العامل المحدد لعمل اتصال موثوق وفق الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر.

كما أنّ التأثيرات الجوية الأخرى يمكن أن تؤدي إلى انخفاض الأداء بما فيه الامتصاص والتبعثر، ومن القيود الأخرى هي اشتراط وجود خط نظر واضح ما بين المرسل والمستقبل؛ وخصوصاً أنّ الموجة الضوئية لا تستطيع اختراق التلال والمباني.

يعد التخميد الجوي أحد القيود التي تواجه قناة (FSO)، مما قد يؤدي إلى فقدان الإشارة وفشل الوصلة حيث أن الغلاف الجوي لا يخمد الموجة الضوئية فحسب بل يشوهها ويثنيها فالاستطاعة المرسلة للإشارة المنبعثة تتأثر بشدة بظواهر الانتثار والاضطراب وينتج التخميد في الدرجة الأولى عن الامتصاص والتبعثر بوساطة الجزيئات والجسيمات (الهباء الجوي) المعلقة في الغلاف الجوي.

في هذا الفصل ستتم مناقشة هذه العوامل بشيء من التفصيل.

4-1- تخامد الحزمة الليزرية بفعل جزيئات الجو:

يعرّف التخامد الجوي بأنّه التناقص في شدة الحزمة الليزرية المنتشرة عبر الغلاف الجوي. ويوجد سببان أساسيان للتخامد الجوي هما: الامتصاص والتبعثر الذي يحدث على الحزمة الليزرية المنتشرة بفعل الجزيئات الموجودة في الغلاف الجوي، وكذلك الجسيمات الكبيرة (كالمطر أو الثلج) [10] [11].

يعطى التخميد الجوي وفق علاقة بيير- لامبرت [12] :

$$\tau = \exp(-\beta L) \qquad (1\text{-}4)$$

حيث τ : التخميد الجوي.

L: المسافة بين المرسل والمستقبل.

β : معامل التخميد الكلي والذي يعطى بالعلاقة [13]:

$$\beta = \beta_{abs}\beta_{scat} \qquad (2\text{-}4)$$

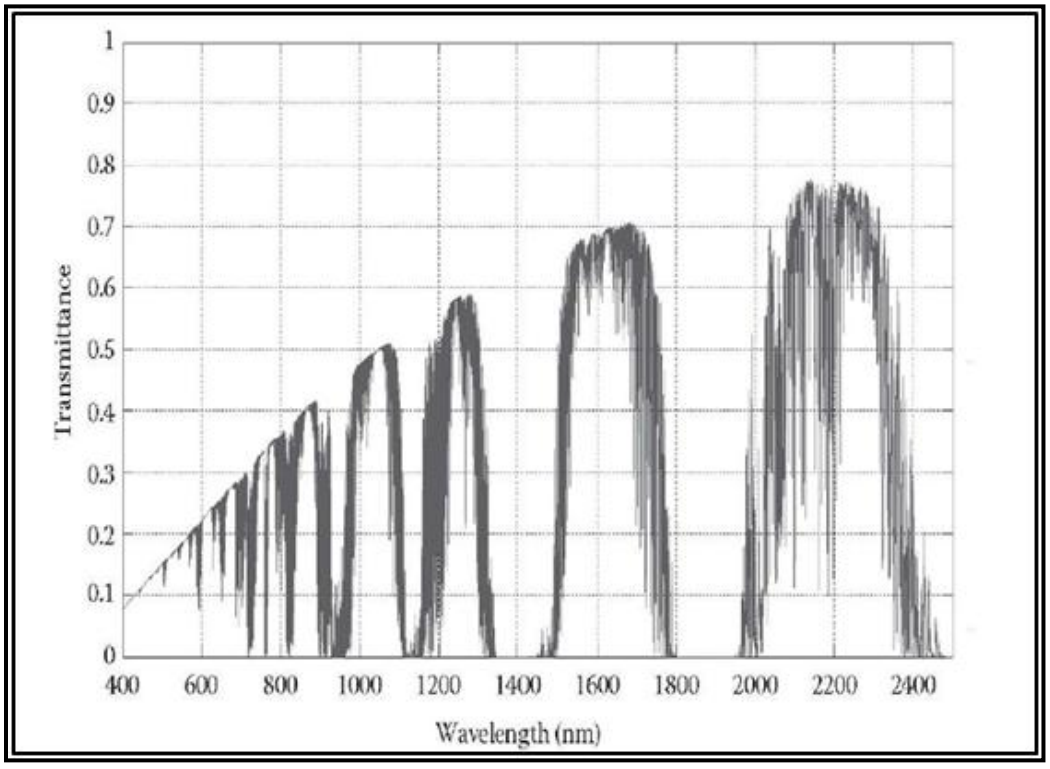
β_{abs}: الامتصاص الحاصل بفعل الجزيئات، وله قيمة صغيرة يمكن إهمالها.

β_{scat}: التبعثر الحاصل بفعل الجزيئات.

4-1-1. الامتصاص :

يحدث الامتصاص نتيجة لاصطدام فوتونات الحزمة الليزرية بالجزيئات الصلبة الموجودة في الهواء مثل بخار الماء والغبار والجليد والجزيئات العضوية والهباء ما يسبب تناقصاً في شدة الحزمة الليزرية.

يعتمد معامل الامتصاص على نوع جزيئات الغاز وتراكيزها، فالامتصاص هو ظاهرة انتقائية بحسب الطول الموجي، يكون شديداً من أجل طول موجي معين في حين لا يكون كذلك من أجل طول موجي آخر، ومن هنا جاءت نوافذ الإرسال لتجنّب الأطوال الموجية التي تكون فيها قيمة الامتصاص عالية، ويبين الشكل الآتي نوافذ الإرسال كتابع للطول الموجي [10].



الشكل(4-1) نوافذ الإرسال في منظومة الاتصال الضوئي في الفضاء الحر كتابع للطول الموجي [10]

يمكن حساب معامل الامتصاص من تركيز الجسيمات والمقطع العرضاني الفعال وفق العلاقة [15]:

$$\boldsymbol{\beta_{abs} = \alpha_{abs} N_{abs}} \qquad \textbf{(3-4)}$$

حيث $\boldsymbol{\alpha_{abs}}$: معامل المقطع العرضاني الفعال للجسيمات المسببة للامتصاص $[\mathrm{K}m^2]$

$\boldsymbol{N_{abs}}$: تركيز الجسيمات المسببة للامتصاص $[1/\mathrm{k}m^3]$

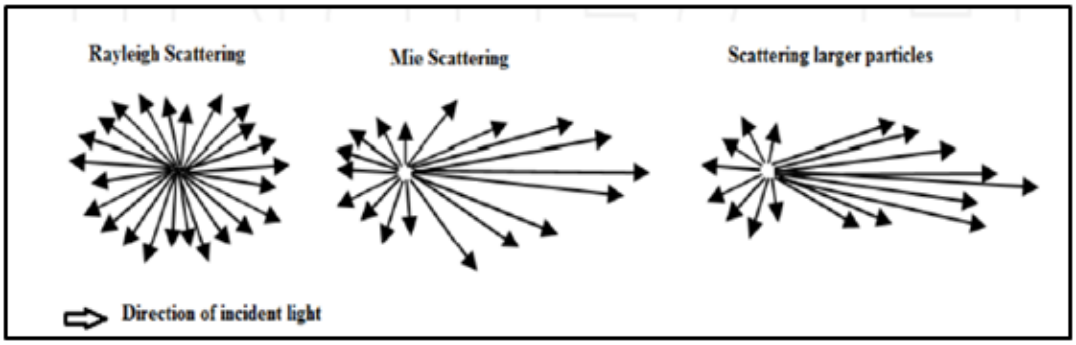
وتكون خطوط الامتصاص في الأطوال الموجية المرئية و المجال تحت الأحمر القريب ضيقة ومعزولة جيداً، وبشكل عام يمكن إهمال أثر الامتصاص إذا تم اختيار الطول الموجي للمنظومة ضمن نوافذ الإرسال.

4-1-2. التبعثر:

يعرف التبعثر بأنه تشتت شعاع من الإشعاع إلى مجموعة من التوجهات نتيجة تفاعلات فيزيائية، فعندما يعترض جسيم موجة كهرومغناطيسية فإنه يتم إزالة جزء من طاقة الموجة بفعل الجسيم ويتم إعادة إشعاعه بزاوية مجسمة يرتكز فيها. الضوء المتناثر يكون مستقطب وله نفس الطول الموجي للموجة التي حدث لها التبعثر مما يعني أنه لا يوجد ضياع للطاقة في الجسيم.

يوجد ثلاثة أنواع للتبعثر [3]:

1. تبعثر ريلي.
2. تبعثر ماي.
3. التبعثر اللانتقائي أو التبعثر الهندسي.



الشكل(4−2) أنماط التبعثر في حالتي Rayliegh و Mie [3]

نلاحظ من الشكل (4−2) أنه بازدياد التردد (الطول الموجي الأقصر) تنتشر الجسيمات باتجاه الأمام بشكل أكبر.

إن نوع التبعثر يتحدد من قبل جزيئات الجو مع الأخذ بعين الاعتبار طول الموجة الليزرية وذلك من خلال بارامتر الحجم x_0 والذي يعطى بالعلاقة [3] :

$$x_0 = 2\pi r/\lambda \qquad (4-4)$$

حيث r: نصف قطر الجسيم المسبب للتبعثر.

λ: طول الموجة الليزرية.

عندما تكون $x_0 \ll 1$ يكون نمط التبعثر هو ريلي.

عندما يكون $x_0 \cong 1$ يكون نمط التبعثر هو ماي.

عندما يكون $1 \ll x_0$ نمط التبعثر هو التبعثر اللانتقائي (الهندسي).

ويبين الجدول (4–1) أنواع التبعثر الحاصل من أجل جسيمات مختلفة موجودة في الجو.

الجدول (4–1) أنواع التبعثر الحاصل من أجل جسيمات مختلفة موجودة في الجو [3]

Particle type	Radius (μ)	Volume factor x_0	Scattering type
Air molecules	0.0001	0.00074	Rayleigh
Light fog	0.01-1	0.074-7.4	Rayleigh-Mie
Fog particles	1-20	7.4-147.8	Mie-Geometric
Rain	100-1000	740-7400	Geometric
Snow	1000-5000	7400-37000	Geometric

يمكن كتابة معامل التبعثر بالعلاقة [3]:

$$\boldsymbol{\beta_{sct} = \alpha_{sct} N_{sct} \left[\frac{1}{km}\right]} \qquad \textbf{(5-4)}$$

حيث: β_{sct} هي إما تبعثر ريلي و تبعثر ماي :

$$\boldsymbol{\beta_{sct} = \beta_m + \beta_a} \qquad \textbf{(6-4)}$$

$\boldsymbol{\beta_m}$: تبعثر ريلي (Rayleigh scattering)

$\boldsymbol{\beta_a}$: تبعثر ماي (Mie scattering)

$\boldsymbol{\alpha_{sct}}$: معامل المقطع العرضي للجسيمات المسببة للتبعثر (cross scattering coefficient) $[km^2]$

$\boldsymbol{N_{sct}}$: التركيز العملي للجسيمات الموجودة في الهواء $[1/km^3]$

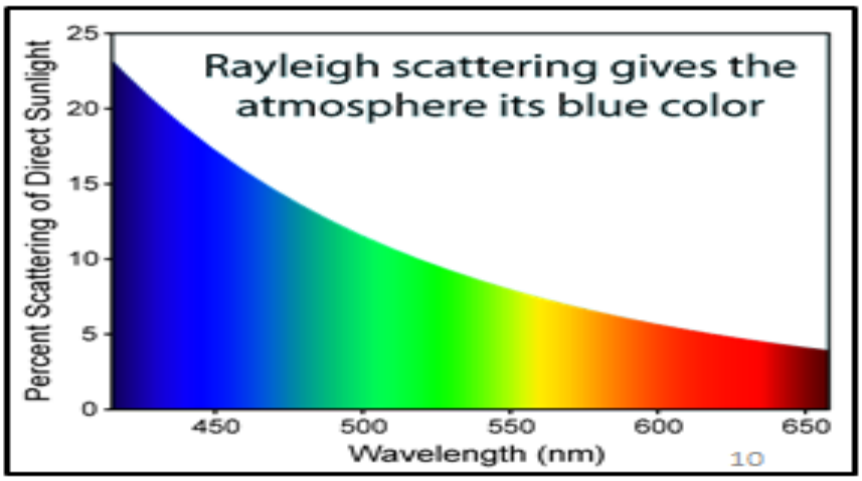
4-1-2-1. تبعثر ريلي:

تبعثر ريلي يشير إلى التبعثر الحاصل بفعل جزيئات الجو والتي يكون لها حجم أصغر بكثير من طول الموجة المستخدم ويعطى معامل تبعثر ريلي بالعلاقة [3]:

$$\boldsymbol{\beta_m = \alpha_m N_m [1/km]} \qquad \textbf{(7-4)}$$

حيث $\boldsymbol{\alpha_m}$: معامل المقطع العرضي لتبعثر ريلي $[km^2]$

$\boldsymbol{N_m}$: تركيز الجسيمات الموجودة في الهواء $[1/km^3]$



الشكل (4-3) تبعثر ريلي الذي يعطي اللون الأزرق للغلاف الجوي [2]

يتناسب المقطع العرضي لتبعثر ريلي مع $\boldsymbol{\lambda^{-4}}$ حيث $\boldsymbol{\lambda}$ طول الموجة المستخدم وفق العلاقة [3]:

$$\boldsymbol{\alpha_m = \frac{8\pi^3 (n^2-1)^2}{3N^2\lambda^4}\ [Km^2]} \qquad \textbf{(8-4)}$$

N : تركيز الجسيمات الموجودة في الهواء المسببة للتبعثر.

n : عدد يتم تحديد قيمته تجريبياً .

مما يعني أن تبعثر ريلي ضئيل بالنسبة لمجال الأطوال الموجية تحت الحمراء وتصبح له قيمة هامة في مجال الأطوال الموجية فوق البنفسجية وصولاً إلى المجال المرئي.

4-1-2-2. تبعثر ماي:

يحدث تبعثر ماي عندما يكون قطر الجسيم مساوي أو أكبر بمقدار واحد بالعشرة من طول الموجة المستخدم. إن تبعثر ماي هو المسبب الرئيسي للتخميد الحاصل في موجات الليزر المستخدمة في اتصالات FSOعلى مستوى سطح الأرض. إن الحزمة الضوئية المرسلة في الفضاء الحر تتخامد بشكل أساسي بفعل السديم والضباب .

يرجع ذلك أساساً إلى هيمنة تبعثر ماي على الأطوال الموجية العاملة في اتصالات FSO(0.5µm-2µm) مما يجعل السديم والضباب المسبب الرئيسي في تخميد طاقة الموجة الضوئية العاملة في اتصالات FSO وتكون مستويات التخميد عالية وغير مرغوبة [14] .

التخميد الحاصل بفعل تبعثر ماي يمكن أن يصل إلى قيمة مئات من dB/Km(وذلك عندما يكون هنالك كثافة عالية للضباب) ويعطى معامل تبعثر ماي بالعلاقة [12]:

$$\boldsymbol{\beta_a = \alpha_a N_a \left[\frac{1}{km}\right]} \qquad \textbf{(9-4)}$$

حيث $\boldsymbol{\alpha_a}$: معامل المقطع العرضي لتبعثر ماي $[km^2]$

$\boldsymbol{N_a}$: تركيز عدد جزيئات الهواء $[1/km^3]$

إن الجسيمات الموجودة في الجو يصعب التنبؤ بها وذلك بسبب أن تراكيزها وبنيتها والتوزع الحجمي لها له قيم مؤقتة وهذه القيم تكون متفاوتة بين مكان وآخر لذلك يمكن استخدام عامل الرؤية لحساب قيمة التخامد على اعتبار أن هنالك ارتباط وثيق بين تركيز الجسيمات والرؤية كما أنه من السهل الحصول على عامل الرؤية عن طريق المطار أو عن طريق البيانات المناخية وبذلك يمكن التعبير عن عامل تبعثر ماي β_a اعتماداً على عامل الرؤية وطول الموجة [13] :

$$\boldsymbol{\beta_a = (\frac{3.91}{V})(\frac{0.55\mu_m}{\lambda})^i} \qquad \textbf{(10-4)}$$

حيث**V**:عامل الرؤية بواحدة km

$\boldsymbol{\lambda}$: طول موجة الحزمة الليزرية بواحدة الميكرون.

$\boldsymbol{\mu_m}$: هو التوزع الحجمي للجزيئات المسببة للتبعثر ويأخذ عادة قيم تتراوح بين 0.7 و 1.6 بما يقابل ظروف الرؤية عندما تتغير من الضعيف إلى الممتاز.

حيث أن $i = 1.6$ في ظروف الرؤية الممتازة $V > 50$ K

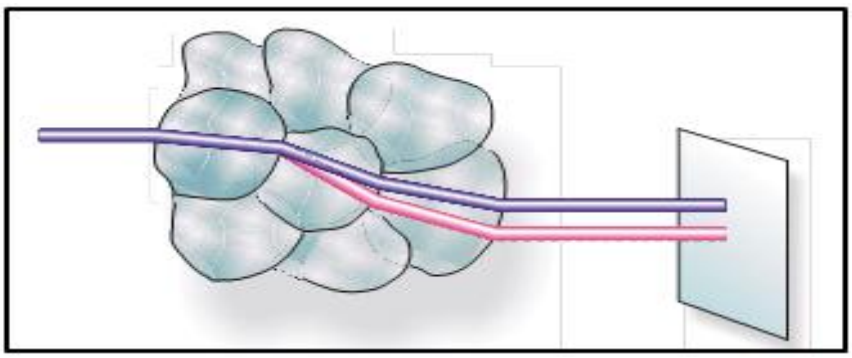
$i = 1.3$ في ظروف الرؤية المعتدلة $6\ \text{Km} \leq V \leq 50\ \text{Km}$

$i = 0.585V^{1/3}$ من أجل ظروف الرؤية المنخفضة V< 6Km

4-2- الاضطراب في مسار الانتشار :

تؤثر ظاهرة الاضطراب الجوي على انتشار الشعاع الضوئي والتي تعني حدوث تقلبات عشوائية مكانية وزمانية على قرينة الانكسار سببها التغيرات في درجة الحرارة والضغط وذرات الغبار والرياح على طول مسار الانتشار الضوئي.

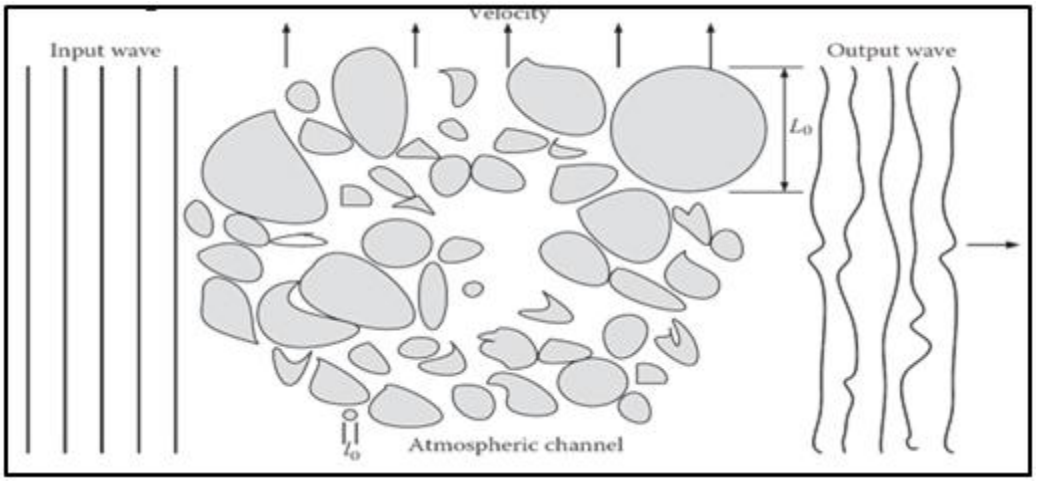
يؤدي الاضطراب الجوي إلى حدوث انزياح في زوايا الموجات الضوئية المنتشرة مما يؤدي إلى حدوث تشوهات في صدر الموجة هذه التشوهات يشار إليها بالانحرافات الضوئية كما يؤدي إلى حدوث تشوهات في الشدة الضوئية يشار إليها بالتألق، يظهر الشكل (4-4) الانحرافات الضوئية الحاصلة على الموجات الضوئية نتيجة الاضطراب الجوي.



الشكل(4-4) حدوث الانزياح الناتج عن الاضطراب الجوي في زوايا الموجات الضوئية [2]

إن التغيرات في الرطوبة والضغط ودرجة الحرارة تؤدي إلى حدوث تغيرات في قرينة انكسار الهواء تؤدي بدورها إلى حدوث تغيرات في الشدة الضوئية تعمل عمل الدوامات ويكون لها تأثير العدسة على ضوء يمر من خلالها.

عندما يمر سطح الموجة من خلال هذه الدوامات فإن أجزاء منها سوف ينكسر عشوائياً مما يؤدي إلى حدوث تشوه في صدر الموجة، يظهر الشكل (4-5) الانكسارات التي تطرأ على صدر الموجة الناتجة عن مرورها خلال الدوامات.



الشكل (4-5) التشوهات في صدر الموجة الناتجة عن مرور سطح الموجة خلال الدوامات التي تسبب انكساراً عشوائياً لهذه الأمواج [2]

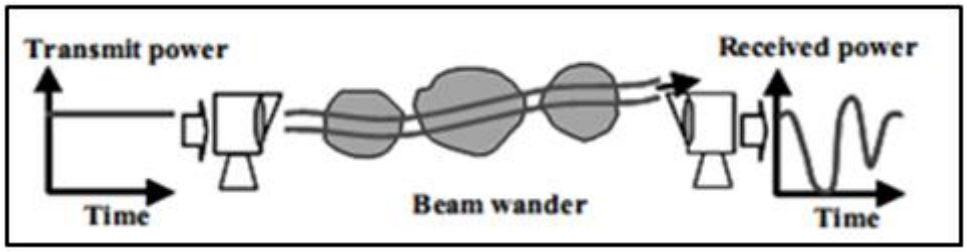
نستطيع كتابة معامل الانكسار وفق العلاقة [2] :

$$n - 1 = 79 * \frac{P}{T} \qquad (11\text{-}4)$$

حيث أن **P** : الضغط الجوي بواحدة [mbar]

T: درجة الحرارة بواحدة الكلفن [K]

عندما يكون حجم دوامات الاضطراب أكبر من قطر الحزمة فإن ذلك يؤدي إلى انحراف كامل حزمة الليزر كما هو مبين في الشكل (4-6)



الشكل(4-6) تأثير الاضطراب في مسار الانتشار في حالة كون دوامات الاضطراب أكبر من قطر الحزمة [2]

4-2-1. بنية قرينة الانكسار:

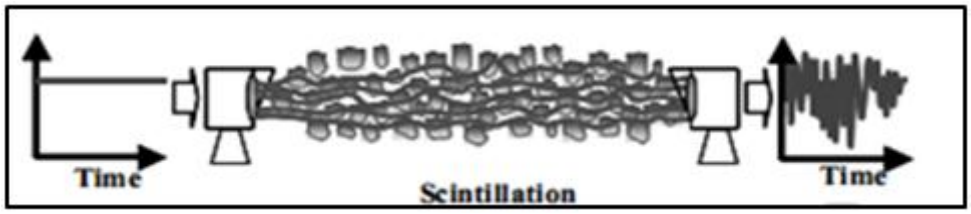
إن بنية قرينة الانكسار C_n^2 هو العامل الأهم الذي يحدد شدة الاضطراب، وتعتمد C_n^2 على الموقع الجغرافي والارتفاع والوقت من اليوم.

بالقرب من سطح الأرض تكون درجة الحرارة مرتفعة مترابطة مع أكبر قيمة للضغط الجوي وبالتالي عند مستوى سطح البحر، كلما زاد الارتفاع انخفضت درجة الحرارة علينا توقع أكبر قيمة لـ C_n^2 وكذلك كثافة الهواء مما يؤدي إلى قيمة أصغر من قيمة بنية قرينة الانكسار.

4-2-2. التألق:

التألق الجوي بالتعريف هو التغير في شدة الضوء مع الزمن والمسافة عند مستوى المستقبل حيث تكون الإشارة المستقبلة في الكاشف غير مستقرة بسبب تغير الاستحثاث

الحراري في قرينة انكسار الهواء على طول مسار الإرسال ويعود التغير في قرينة الانكسار لتصرف الجو بوجود اضطراب جوي كسلسلة من العدسات الصغيرة تعمل على حرف أجزاء من الحزمة الليزرية بعيداً عن المسار الضوئي وإن مقدار التقلبات هو من مرتبة الميللي ثانية [11].

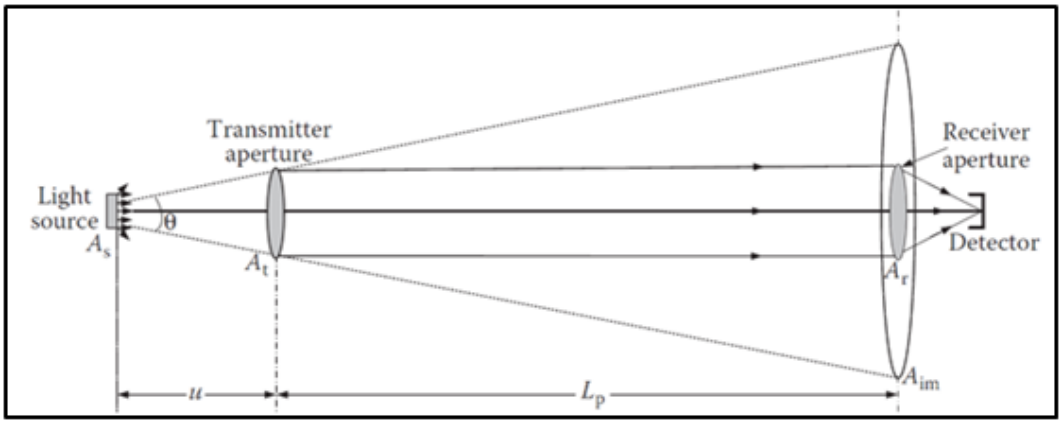


الشكل (4-7) ظاهرة التألق الجوي [11]

يمكن تخفيف أثر التألق الجوي على عمل منظومة اتصال FSOعن طريق تصميم الوصلة الليزرية بأساليب أخرى كاستعمال رؤوس ليزرية عدة في المرسل لتخفيض أثر الوميض على الوصلة الليزرية.

4-3- الضياعات الهندسية:

وهي عبارة عن النسبة بين مساحة سطح فتحة الاستقبال إلى مساحة سطح حزمة الإرسال عند المستقبل حيث إن الحزمة المرسلة عندما تنتشر يحدث فيها زيادة في الانفراج بمعدل ثابت.



الشكل (4-8) انفراج الحزمة الليزرية [2]

إن الضياعات الهندسية تعتمد في الدرجة الأولى على مقدار انفراج الحزمة الليزرية ويمكن تحديد الضياعات الهندسية من خلال العلاقة [2]:

$$\boldsymbol{geometric\ loss} = \frac{\boldsymbol{d_2^2}}{[\boldsymbol{d_1}+(\boldsymbol{L\theta})]^{\boldsymbol{2}}} \qquad \textbf{(12-4)}$$

حيث $\boldsymbol{d_2}$: قطر فتحة المستقبل [m]

$\boldsymbol{d_1}$: قطر فتحة المرسل [m]

$\boldsymbol{\theta}$: زاوية انفراج الحزمة الليزرية [mrad]

L : طول الوصلة [m]

الضياعات الهندسية موجودة في جميع وصلات اتصالات FSO وهي دائماً تكون مأخوذة بالحسبان أثناء تصميم الوصلة وهذه الضياعات تأخذ قيمة ثابتة لا تتغير مع الزمن على عكس الضياعات الناجمة عن التخميد أو التألق.

4-4- فقدان دقة التسديد:

إن تخفيض انفراج الحزمة الليزرية من شأنه أن يؤدي إلى مشاكل أخرى أي إن الحزمة الليزرية ذات الانفراج القليل من الصعب الحفاظ على انتظامها وفق خط النظر بين المرسل والمستقبل حيث إن الاضطرابات الخارجية مثل الريح القوية مثلاً يمكن أن تؤدي إلى تحريك الوحدة الطرفية مما يؤدي إلى انحراف الشعاع الليزري بعيداً عن خط نظر الوحدة المقابلة الأمر الذي يعني أننا قد خسرنا توجيه الحزمة المرسلة مما يؤدي إلى حدوث خطأ في الإرسال.

يمكن معالجة هذا الأمر عن طريق استخدام قيمة مدروسة لانفراج الحزمة بحيث يسمح انفراجها بكمية معينة من الحركة دون أي مخاوف من فقدان الاتصال لأن جزء من الحزمة سيغطي المستقبل [2].

الخلاصة:

في هذا الفصل تم دراسة العوامل المؤثرة على تقنية الاتصال الليزري في الفضاء الحر ومقدار التخميد الناتج عن كل عامل من هذه العوامل بالإضافة إلى التخميد الناتج عن الضياعات الهندسية وفقدان دقة التسديد.

في الفصل اللاحق سيتم تسليط الضوء على أهم الدراسات المرجعية في مجال بحثنا والنتائج التي توصل إليها الباحثون في مجالات الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر ومناقشة هذه الدراسات والأبحاث.

الفصل الخامس

الدراسات المرجعية

تمهيد:

تستخدم الاتصالات الضوئية عبر الفضاء الحر حزمة معدلة من الأشعة المرئية أو تحت الحمراء لنقل المعلومات للاتصالات ذات النطاق العريض، ولكن العيب الرئيسي لهذه التقنية أنه من المطلوب دائماً وجود خط نظر واضح بين جهاز الإرسال و محطات الاستقبال، إن أداء وصلات (FSO) لديه بعض العوائق بسبب ظواهر امتصاص وتشتت الغلاف الجوي حيث إن ظاهرة الضباب والتساقط الكثيف للثلوج من أكثر الظروف الجوية تأثيراً على الاتصالات عبر الفضاء الحر، حيث ينتج نوعية خاصة من التخميد للأمواج الضوئية [15]، ويوجد عدة دراسات [13,16,17] تصف العلاقة بين الرؤية والتخميد الضوئي المرتبط بها قد تم نشرها.

استندت دراسات الباحثين [16] و [13] إلى تعريف الرؤية من أجل الطول الموجي (1550nm) والدراسة [17] تناولت أسلوب التعديل في الاتصالات باستخدام أطوال موجية مختلفة (405,532,650)nm أخرى.

كما أجريت دراسة نظرية وتحليل تأثير بعض العوامل الجوية على ضوء الليزر كمصدر للإشارة الضوئية في الفضاء الحر في مجال الأطوال الموجية المرئية وتحت الحمراء (650،1550,785)nm [18].

تركز العمل الأساسي في هذا البحث على خلق فهم صحيح حول اختيار الطول الموجي الأمثل الذي يمكن أن يساعد في تصميم أنظمة قد تكون محصنة ضد تدهور الرؤية في الغلاف الجوي.

إن الاعتقاد المتزايد بأن الأطـوال الموجيــة ذات القيمة الأعلـــى ستوفر موثوقية اتصال [18,19] خلقت الحـاجة الضرورية لإعادة النظر مرة أخرى في هذا الاعتقاد خاصة بعد تعارض الآراء بين الباحثين فيما يخص الاستفادة من الطول الموجي الأعلى.

5-1- دراسة حول نماذج توهين الضباب :

الضباب هو أهم عامل تخميد بين عوامل تخميد الغلاف الجوي (FSO)، والطريقة الأكثر دقة لحساب التخميد الناتج في حالة قطرات الضباب تعتمد على نظرية (Mie). وعلى أية حال فإن هذه الحسابات تتطلب معلومـات مفصلة عن بارمترات الضباب مثل حجم الجسيمات، معامل الانكسار، التوزع الحجمي للجسيمات الخ ..... التي قد لا تكون متاحة بسهولة وبالتالي من الصعب التأكد من قيمها، وزيادة على ذلك فإنه ينطوي على حسابات معقدة [20].

لقد قام الباحثون بالتنبؤ بقيم التخميد بالاعتماد على بيانات الرؤية (Visibility) حيث قدم [16] نموذجه وفق التالي:

$$\gamma(\lambda) = \frac{3.192}{V}\left(\frac{\lambda}{550nm}\right)^{-q} \qquad (1\text{-}5)$$

يعطى المعامل q بالشكل:

$$q = \begin{cases} 1.6، \ V > 50km \\ 1.3، \ 6km < V < 50km \\ 0.585V^{1/3}، \ V < 6km \end{cases} \quad (2 - 5)$$

حيث **V**: الرؤية بالـ km، و**λ**: طول الموجة بالـ nm، $\gamma(\lambda)$: يمثل تخميد معين.

الباحث كيم وآخرون [4] يرفضون ذلك التخميد المعتمد على الطول الموجي للرؤية المنخفضة في الضباب الكثيف.

المعامل **q** في المعادلة (1) بالنسبة لنموذج كيم يتم تقديمه كمايلي :

$$q = \begin{cases} 1.6/ \ V > 50km \\ 1.3/ \ 6km > V > 50km \\ 0.16V + 0.34/ \ 1km < V < 6km \\ V - 0.5/ \ 0.5 < V < 1KM \\ 0/ \ V < 0.5km \end{cases} \quad (3\text{-}5)$$

بينما قدم باحثون آخرون[17] علاقات للتنبؤ بالتخميد الناتج عن الضباب من خلال توصيف الضباب الجوي والإشعاعي بشكل منفصل، حيث قدمت معاملات تخميد الضباب الجوي (الأفق) كمايلي:

$$\gamma_{ADV}(\lambda) = \frac{0.11478\lambda + 3.8367}{V} \quad (4\text{-}5)$$

حيث γ_{ADV} : هي الضباب الجوي الأفقي (Advection Fog).

يرتبط الضباب الإشعاعي بتبريد الأرض بالإشعاع. وتعطى معاملات تخميد الضباب الإشعاعي بـ :

$$\gamma_{RAD}(\lambda) = \frac{0.18126\lambda^2+0.13709\lambda+3.7502}{V} \quad (5\text{-}5)$$

حيث γ_{RAD} هي الضباب الإشعاعي (Radiation Fog).

5-2- دراسة تأثير التخميد الجوي على الأمواج المرئية وتحت الحمراء :

أجريت دراسة نظرية وتحليلية لتأثير بعض العوامل الجوية على الإشارة الضوئية في الفضاء الحر عند الأطوال (1550,785,650) nm حيث كانت قيم معامل التخميد (0.225,0.546,0.698) dB/km على التوالي عند المدى 20km [21].

5-2-1. انتشار الضوء في الغلاف الجوي :

في الأطوال الموجية المرئية وتحت الحمراء يتأثر انتشار الضوء عبر الغلاف الجوي بظاهرتين:

الأولى: الامتصاص والتبعثر عن طريق جزيئات الهواء والثانية الامتصاص والتبعثر بواسطة الجسيمات العالقة الصلبة أو السائلة الموجودة في الغلاف الجوي،هذه الجسيمات مثل الغبار والدخان والسديم والضباب [11،22].

بالنسبة إلى قانون بيير- لامبيرت فإن الإشعاع المستقبل عند المرسل (L) من المرسل مرتبط بالشعاع المرسل وفق العلاقة الآتية [21]:

$$\tau\left(\lambda، L\right) = \frac{P_R}{P_T} = \exp\left(-\gamma(\lambda)، L\right) \quad \textbf{(6-5)}$$

$$\gamma(\lambda) \cong \beta_a(\lambda) \cong \frac{17.35}{V} \left(\frac{\lambda}{550}\right)^{-q} \quad \textbf{(7-5)}$$

P_R : الاستطاعة الضوئية المستقبلة عند المسافة L

τ : النفوذية الجوية عند طول الموجة (λ) حيث

$\gamma(\lambda)$: التخميد الكلي للاستطاعة الضوئية المرسلة عند المصدر الضوئي وتقدر بـ $.m^{-1}$

p_T: الاستطاعة الضوئية المرسلة عند المصدر الضوئي

β_a: التبعثر الناتج عن جزيئات الهواء

$$\boldsymbol{\gamma(\lambda) \cong \beta_a(\lambda) \cong \frac{17.35}{V}\left(\frac{\lambda}{550}\right)^{-q}} \quad \textbf{(8-5)}$$

q: يعتمد على مدى مسافة الوصلة، $\boldsymbol{\lambda}$:هو طول الموجة، **V** :الوسيط هو مجال الرؤية مقدراً بالكيلومتر.

5-2-2. تحليل الوصلة :

يهدف الباحث هنا إلى تحديد المعاملات الضرورية لحساب أداء الوصلة الضوئية حيث أخذ بعين الاعتبار أن الإرسال الضوئي في الفضاء الحر يكون بين نقاط أرضية وأن الليزر يرسل استطاعة ضوئية كلية (P_T) عند الطول الموجي (1550,785,650) nm والاستطاعة الضوئية المستقبلة عند الكاشف تعطى بالعلاقة:

$$P_R = P_T \frac{D^2}{\theta^2 L^2} 10^{-\gamma L/10} \tau_T \tau_R \qquad (9-5)$$

حيث **D**: قطر المستقبل، θ: هي زاوية الانفراج، γ : معامل التخامد الجوي(dB/km)، τ_T، τ_R : الكفاءة الضوئية للمرسل والمستقبل على الترتيب [21].

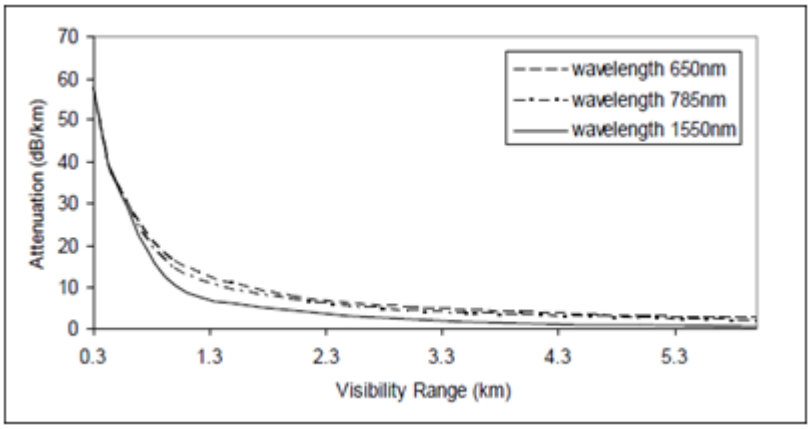
5-2-3- معدل البيانات :

بالنظر إلى استطاعة المرسل الليزري: $P_{Transmitter}$، مع زاوية انفراج المرسل: θ، قطر المستقبل: **D** ،كفاءة الإرسال والاستقبال: $\tau_{Transmitter}$، $\tau_{receiver}$، فإن معدل البيانات يمكن استنتاجه كما يلي:

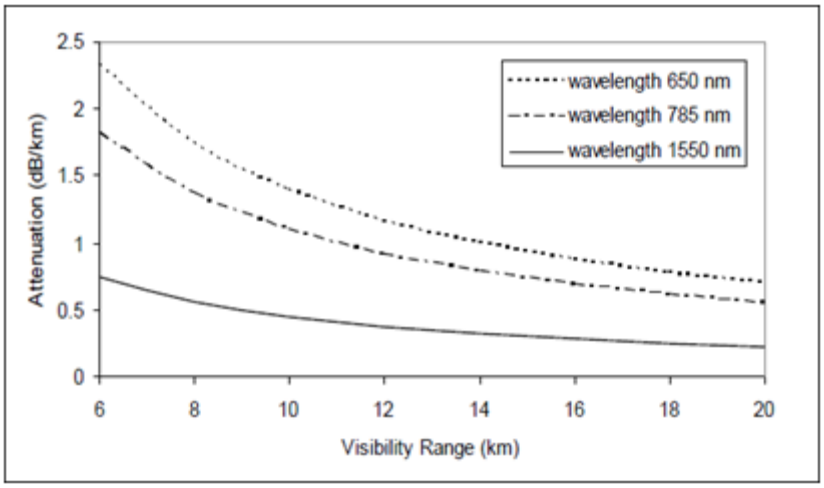
$$R = \frac{P_T P_R 10^{-\gamma L/10} D^2}{\pi(\theta/2)^2 L^2 E_b N_b} \qquad (10\text{-}5)$$

حيث: E_p : **hc/λ** وهي طاقة الفوتون عند الطول الموجي (λ)، N_b: حساسية الكاشف (dBm) or (photon/bits).

إذاً قام الباحث بدراسة انتشار الإشارة الليزرية بين نقطتي اتصال (الاتصالات الأرضية)، ويبين الشكل (5-1) مقارنة معامل التخميد بين الأطوال الموجية (1550,785,650). بالاعتماد على المعادلة (5-7). وتم الاستنتاج من هذا الشكل أن الطول الموجي للضوء المرئي وحتى لأمواج الأشعة تحت الحمراء ليس له أي تأثير تقريباً على مجال (مدى) الانتشار في المسافات القصيرة المدى [21]:



(a) مقارنة معامل التخميد بين الأطوال الموجية (1550,785,650)nm عند المسافات القصيرة



(b) مقارنة معامل التخميد بين الأطوال الموجية (1550,785,650)nm عند المسافات الطويلة

الشكل (5-1) مقارنة معامل التخميد لشعاع الليزر بين أطوال موجية مختلفة [21]

والجدول (5-1) يوضح بعض القيم النموذجية التـــي اعتمدها الباحث لمعاملات التخميد للمســـارات الخـاصـــة قصيرة المدى و القيم المقابلة لها لمجالات الرؤيـــة [9]:

الجدول (5–1) التخميد الجوي بواحدة dB/km كتابع لمجالات الرؤية من أجل الأطوال الموجية (1550، 785، 650) nm [21]

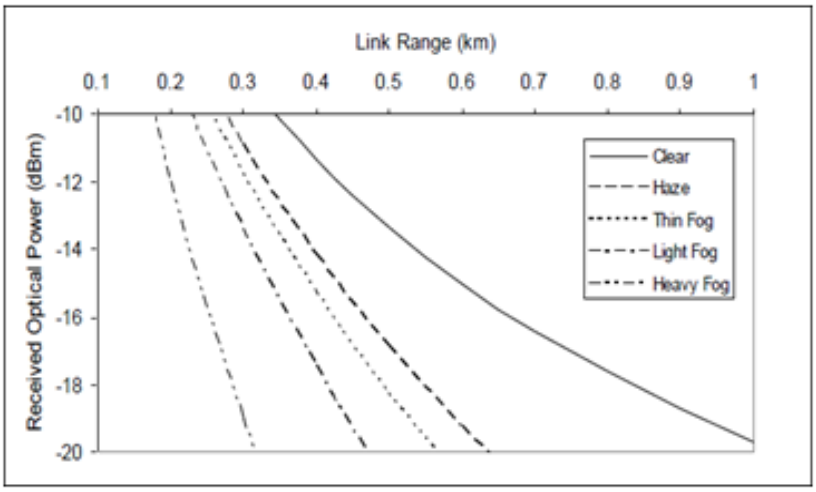
Climate	Visibility (km)			Attenuation (dB/km)		
	650 nm	785 nm	1550 nm	650 nm	785 nm	1550 nm
Clear	20	23	23	0.7	0.5	0.2
Haze	2	2	2	7.77	7	4
Thin Fog	1.5	0.5	0.5	10.5	29	21
Light Fog	1	0.2	0.2	15.96	75	60
Heavy Fog	0.5	0.05	0.05	34.69	315	272

كما اعتمد الباحث على ليزر أشعة تحت حمراء وليزر أحمر باستطاعة منخفضة نوعاً ما وبمعاملات موضحة في الجدول (5–2) مع بعض المعاملات الأخرى المفترضة في هذه الدراسة [24].

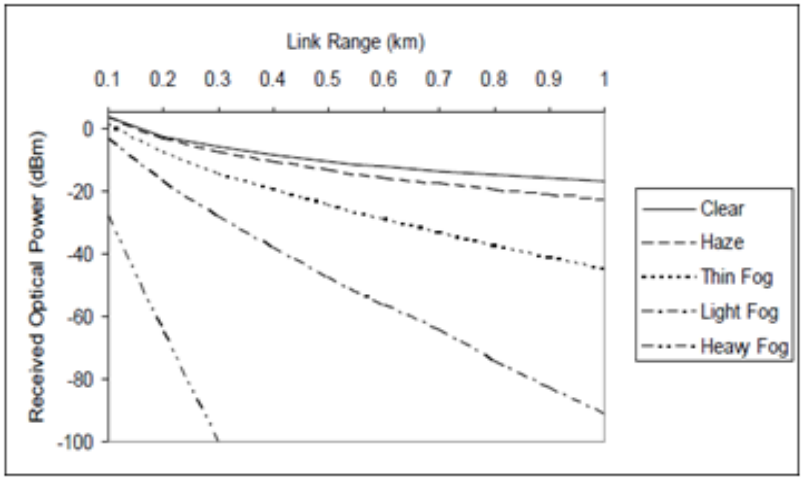
الجدول (5–2) معاملات النظام التي تم استخدامها في هذه الدراسة [21]

parameter	Value		
	650 nm	785 nm	1550 nm
Transmitter optical power (mw)	5	20	70
Transmitter divergence angle (mrad)	1	1.5	3
Transmitter efficiency	0.5	0.5	0.5
Receiver sensitivity (dBm)	–20	–20	–20
Receiver diameter (cm)	10	10	10
Receiver efficiency	0.5	0.5	0.5

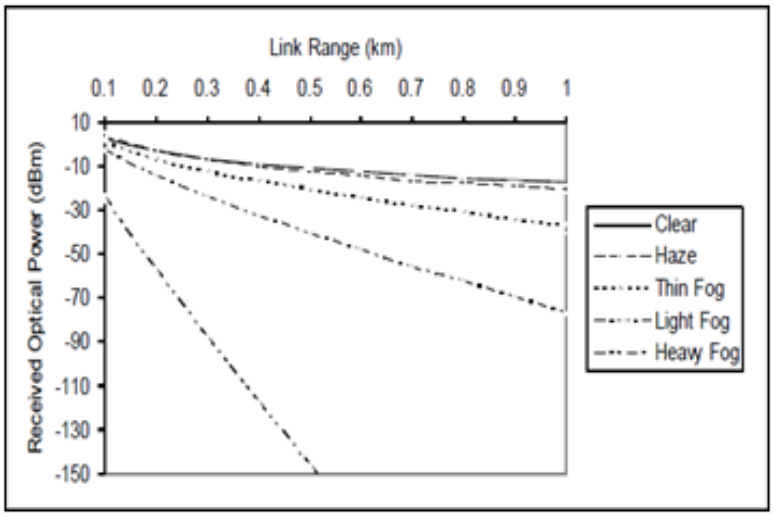
وبذلك يكون لدينا الاستطاعة الضوئية المستقبلة مقابل مجال (مدى) الوصلة من أجل الأطوال الموجية (1550,785,650) nm مبينة في الأشكال: (2,3,4) حيث تم تحليل هذه الحسابات باستخدام المعادلة (5-9):



الشكل (5–2) الاستطاعة الضوئية المستقبلة مقابل مدى الوصلة للطول الموجي 650 nm [21]

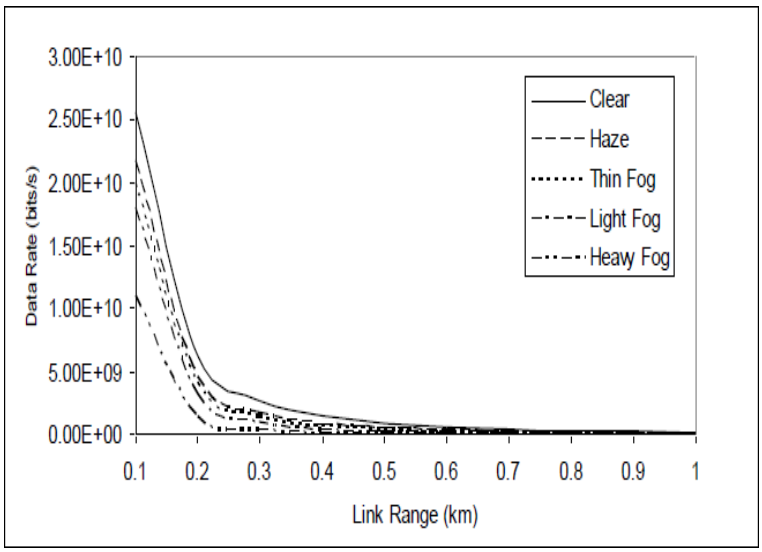


الشكل (5–3) الاستطاعة الضوئية المستقبلة مقابل مدى الوصلة للطول الموجي785 nm [21]

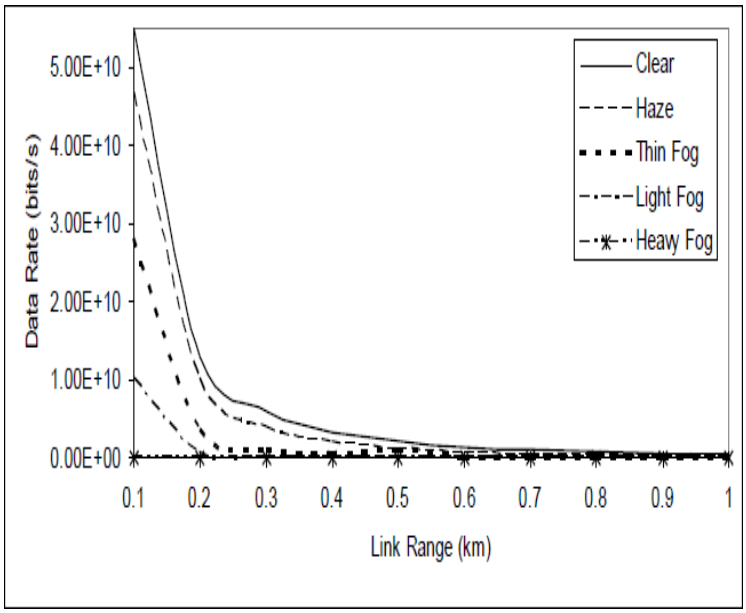


الشكل (5–4) الاستطاعة الضوئية المستقبلة مقابل مدى الوصلة للطول الموجي 1550 nm [21]

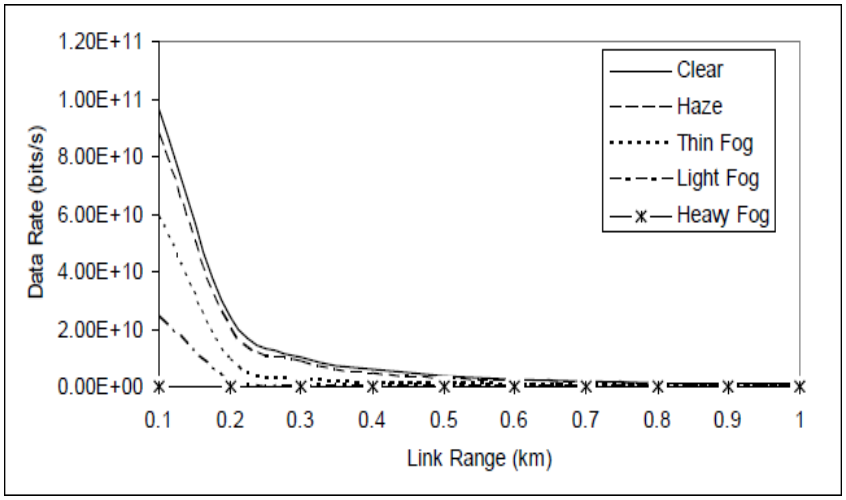
يمكن استخدام المعادلة (5-10) لحساب معدل بيانات الاتصالات مقابل المدى من أجل ظروف جوية مختلفة [24] للأطوال الموجية (1550,785,650)nm، وبناءً على هذه الافتراضات تم حساب معدل البيانات بالنسبة لتخميد الإشارة تبعاً لأحوال الطقس مثل: (صافي، ضباب متوسط، ضباب كثيف، غبار) ضمن مجال الوصلة المطبق في المعادلة (5–10) كما يظهر في الأشكال (5-5) ، (5-6) ، (5-7) .



الشكل (5–5) معدل البيانات مقابل مدى الوصلة للطول الموجي 650 nm [21]



الشكل (5–6) معدل البيانات مقابل مدى الوصلة للطول الموجي 785 nm [21]



الشكل (5-7) معدل البيانات مقابل طول الوصلة للطول الموجي 1550 nm [21]

في الدراسة السابقة خلص الباحث إلى أن الظروف المناخية المختلفة تؤثر على الأطوال الموجية (1550,785,650)nm وبطرق مختلفة ومن الممكن تحسين أداء النظام مثل سرعة نقل البيانات عن طريق زيادة الاستطاعة المرسلة وتقليل انفراج أشعة الليزر [21].

5-3- دراسة أسلوب التعديل في الاتصالات (FSO) باستخدام أطوال موجية مختلفة (650nm، 532، 405):

في هذه الدراسة اعتمد الباحث أسلوب التضمين المبني على الانعكاس استناداً إلى ظاهرة دوبلر كما اهتم بدراسة ظروف التوهين المختلفة للغلاف الجوي للأطوال الموجية المستخدمة، بالإضافة إلى التوهين الناجم عن تباعد شعاع الليزر الكبير للمسافات البعيدة.

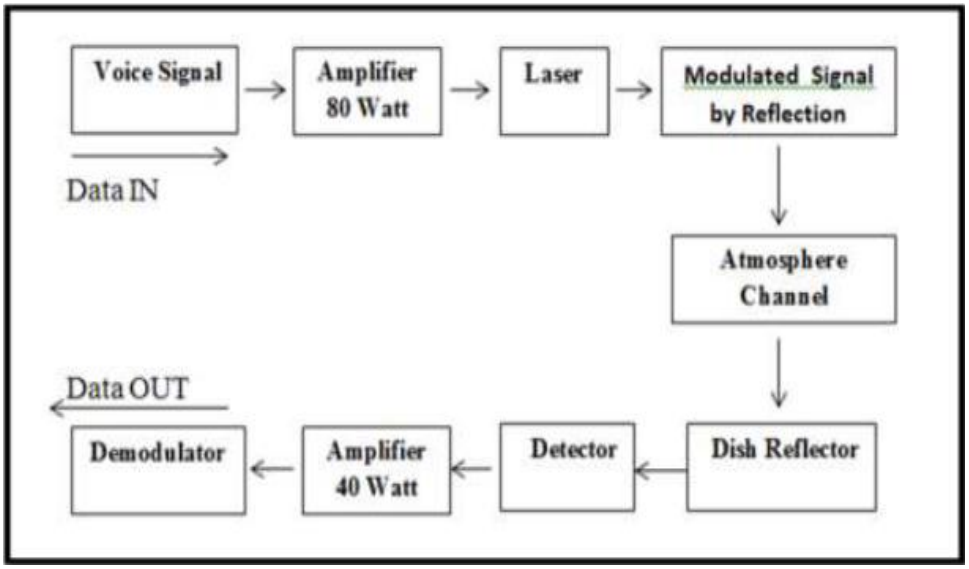
بين الباحث في هذه الدراسة تصميم نظام اتصال ضوئي قصير المدى في الفضاء الحر باستخدام شعاع ليزر ضمن الطيف الكهرومغناطيسي للضوء المرئيnm (650,532,405) كوسيلة للاتصالات.

حيث تتميز تكنولوجيا الاتصالات ضمن المنطقة المرئية وفق التجهيزات المتاحة بتكلفة منخفضة وكفاءة تعديل عالية[23,24,25]. تم تصميم النظام بين نقطتين بتقنية (ليزر ديود) لمسافة 200 متر. ويمكن توفير مسافة حرة للإرسال اللاسلكي للصوت أو إشارة المعلومات.

5-3-1. الإعداد التجريبي:

قام الباحث (FSO) باستخدام أطوال موجية مختلفة nm(650,532,405) لنقل الصوت عن طريق تصميم نظام يعتمد على ظاهرة الانعكاس عبر الغلاف الجوي، حيث يتكون النظام المقترح من ميكرفون ينقل الصوت إلى مكبر الصوت باستطاعة 80 واط متصل به مكبر صوت في جهاز الإرسال مع مضخم آخر باستطاعة 40 واط في جهاز الاستقبال عن طريق الوصل الضوئي عبر تقنية نقطة إلى نقطة.

إن المتحدث مسؤول عن تعديل ونقل الصوت عن طريق ظاهرة الانعكاس المعتمدة على ظاهرة دوبلر ويتم ذلك عن طريق لصق مرآة مستوية على السماعة، يوضح الشكل الآتي المخطط الصندوقي العام للنظام :



الشكل (5-8) المخطط الصندوقي للتجربة [26]

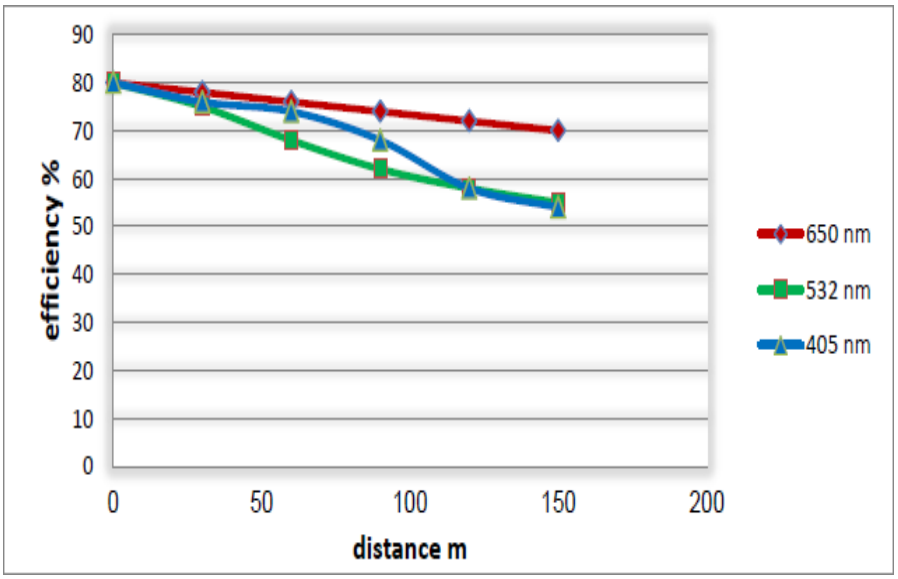
يتم إجراء عملية التعديل باستخدام مكبر صوت عند لصق مرآة مستوية (مسطحة) على مكبر الصوت لتحميل الإشارة الصوتية على شعاع الليزر، فعندما يهتز مكبر الصوت ويخرج الصوت فإن المرآة سوف تهتز بنفس التردد، وعندما يسقط شعاع الليزر على المرآة فإن شعاع الليزر سوف ينعكس بواسطة هذه الترددات عن المرآة بناء على ظاهرة دوبلر.

يسمى هذا النوع من التعديل بالتعديل الترددي، ولتحديد جودة هذا التعديل المستخدم تم قياس كفاءة كل طول موجة لمسافات محددة خلال النهار والليل، ثم قام الباحث بتحليل النتائج التي تم الحصول عليها بمختلف الظروف المناخية، و تجدر الإشارة إلى أن الباحث قام باستخدام طبق مطلي بالنيكل كروم لجمع وتركيز أشعة الليزر إلى حد ما على الكاشف الضوئي وذلك للتخلص من التخميد الهندسي لانحراف شعاع الليزر الذي

يؤثر على أداء نقل الإشارة، كما قام بمقارنة كفاءة كل الأطوال الموجية فيما بينها من أجل تحديد أفضل قيمة لكل منطقة.

في الشكل (5-9)، تم قياس كفاءة كل طول موجي خلال النهار مع المسافة تحت ظروف جوية محددة (الحرارة 25°، سرعة الرياح 1كم/ ساعة، الرطوبة 35%).

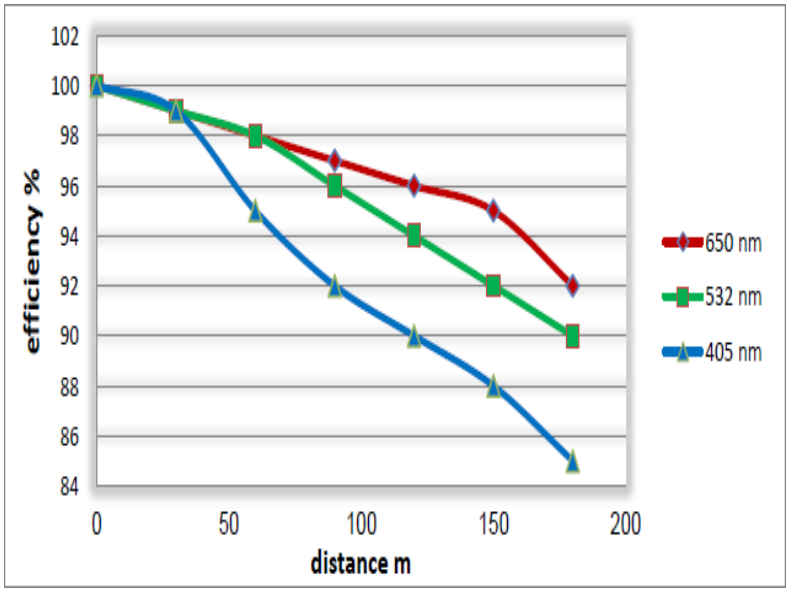
نلاحظ من الشكل الكفاءة المميزة للطول الموجي 650 نانومتر والكفاءة المنخفضة لل (532,405) نانومتر ناتجة عن التبعثر الناتج عن دقائق الغبار في الغلاف الجوي حيث تتأثر الأطوال الموجية الأقصر بالتبعثر أكثر من الأطوال الموجية الطويلة :



الشكل (5-9) الكفاءة مقدرة بالنسبة المئوية للأطوال الموجية الثلاث مقابل المسافة في النهار [26]

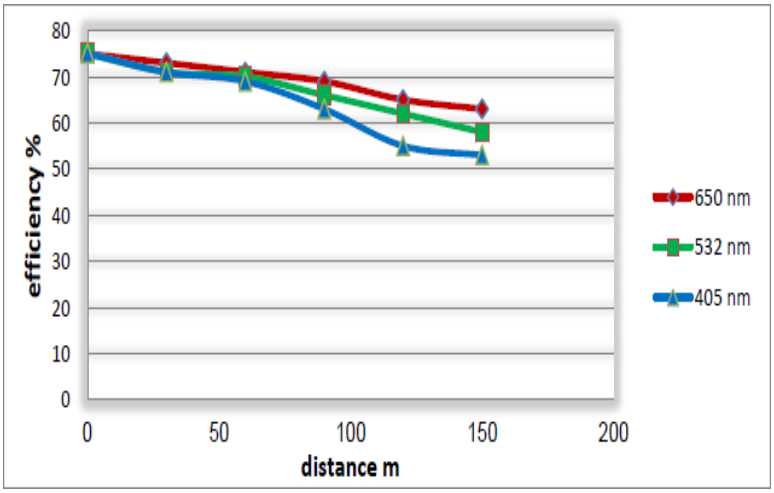
في الشكل (5-10)، تم قياس كفاءة كل طول موجي أثناء الليل تبعاً للمسافة تحت ظروف جوية محددة (الحرارة 20°، سرعة رياح 13 كم/ ساعة، رطوبة 44%).

من الشكل نلاحظ الكفاءة المميزة للطول الموجي (650) نانومتر، وانخفاض الكفاءة للأطوال الموجية (532,405) نانومتر الناتج عن التبعثر من دقائق الغبار في الغلاف الجوي بالإضافة إلى امتصاص بخار الماء:



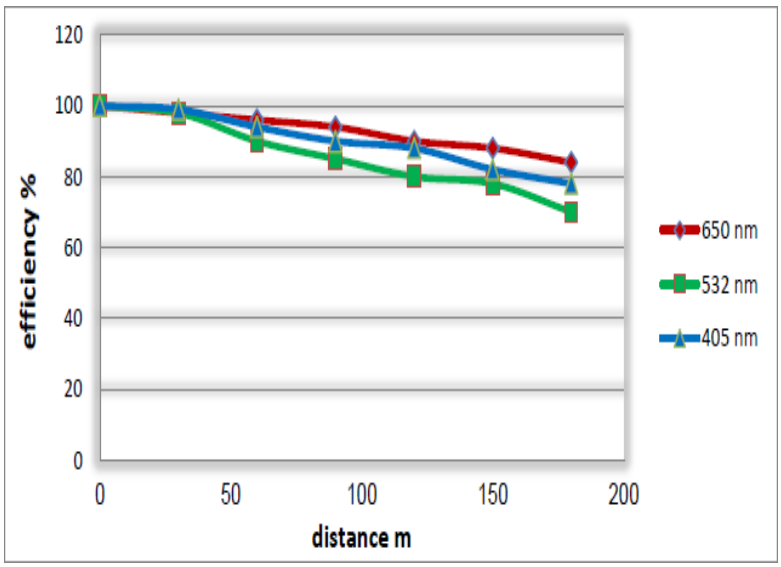
الشكل (5-10) الكفاءة مقدرة بالنسبة المئوية للأطوال الموجية الثلاث مقابل المسافة في الليل [26]

في الشكل (5-11)، تم قياس كفاءة كل طول موجي خلال النهار من أجل مسافة معينة عند ظروف جوية محددة (الحرارة 30° ، سرعة الرياح 11كم/ ساعة، الرطوبة 35%) ونلاحظ من هذا الشكل الكفاءة المميزة للطول الموجي (650) نانومتر.



الشكل (5–11) الكفاءة مقدرة بالنسبة المئوية للأطوال الموجية الثلاث مقابل المسافة في النهار [26]

في الشكل (5–12)، تم قياس كفاءة كل طول موجي أثناء الليل من أجل مسافة معينة تحت ظروف جوية محددة (الحرارة 38°، سرعة الرياح 17 كم/ساعة، الرطوبة 30%) نلاحظ من الشكل أن كفاءة كل طول موجي تتأثر بارتفاع درجة الحرارة بالمقارنة مع الشكل (5–10).



الشكل (5-12) الكفاءة مقدرة بالنسبة المئوية للأطوال الموجية الثلاث مقابل المسافة في الليل [26]

إن سبب تفوق كفاءة الطول الموجي (405) نانومتر على كفاءة الطول الموجي (532) نانومتر يعود إلى زاوية انفراج الحزمة الصغيرة، كما نلاحظ من الشكل الكفاءة المميزة للطول الموجي (650) نانومتر لأن الأطول الموجية الطويلة أقل تأثراً بظواهر التوهين المختلفة في الغلاف الجوي.

توصل الباحث في هذه الدراسة إلى تفوق الطول الموجي (650) نانومتر تحت ظروف التوهين المختلفة مقارنة مع الأطوال الموجية المختلفة (532,405) نانومتر وذلك لأن الأطوال الموجية الطويلة أقل تاثراً بظواهر التخميد المختلفة.

الخلاصة:

في هذا الفصل تم طرح عدد من الدراسات المرجعية فيما يخص الاتصالات الضوئية الليزرية في الفضاء الحر ووجدنا أن هناك دراسات استندت إلى تعريف الرؤية من أجل الطول (1550 nm) مثلاً وفي دراسات أخرى تناول الباحثون أساليب التعديل في الاتصالات باستخدام أطوال موجية مختلفة (650,532,405)nm.

كما أجريت دراسة نظرية وتحليل تأثير بعض العوامل الجوية على ضوء الليزر كمصدر للإشارة الضوئية في الفضاء الحر في مجال الأطوال الموجية المرئية وتحت الحمراء (1550,780,650)nm.

في الفصل اللاحق سيتم شرح الخطوات التي تم اتباعها لتصميم وتنفيذ المنظومة المخبرية من أجل الحصول على القيم والنتائج.

الفصل السادس

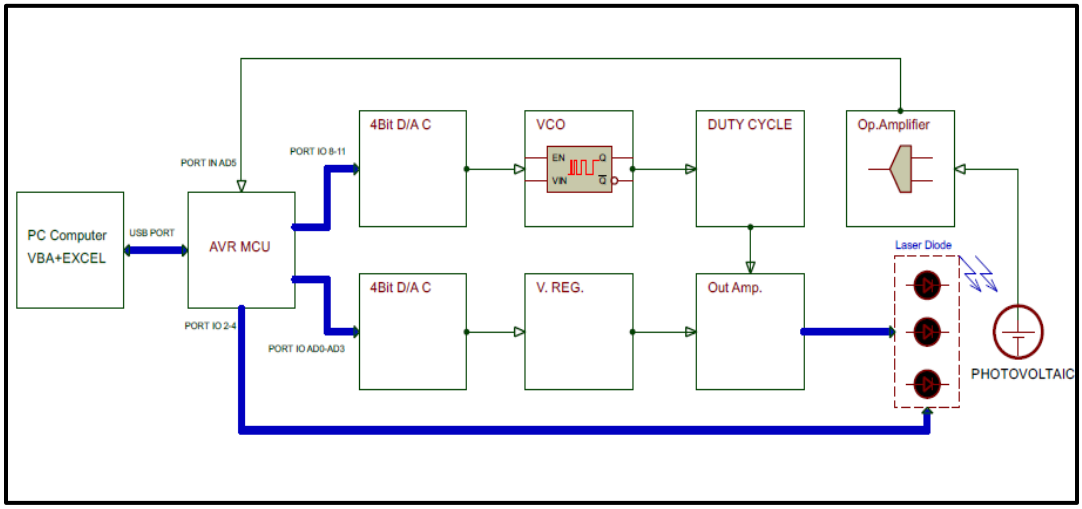
مواد وطرائق البحث

تمهيد:

في هذا الفصل سيتم عرض الأدوات و الخطوات التي تم اتباعها في المخبر لتصميم هذه المنظومة وتنفيذها في قسم الإرسال والاستقبال والصعوبات والتحديات التي تم إيجاد الحلول لها سواء في التصميم الميكانيكي أو في اختيار العناصر الإلكترونية والدارات التكاملية للوصول إلى التصميم المثالي والحصول على النتائج المخبرية الحقيقية من أجل إجراء التقييم الصحيح.

6-1- مكونات منظومة الاتصال :

يوضح الشكل التالي (6-1) المخطط الصندوقي للبحث الذي يمثل المكونات الأساسية من دارات متكاملة وعناصر إلكترونية ضوئية (photovoltaic cell ، laser diode) والحاسب (VBA EXCEL).

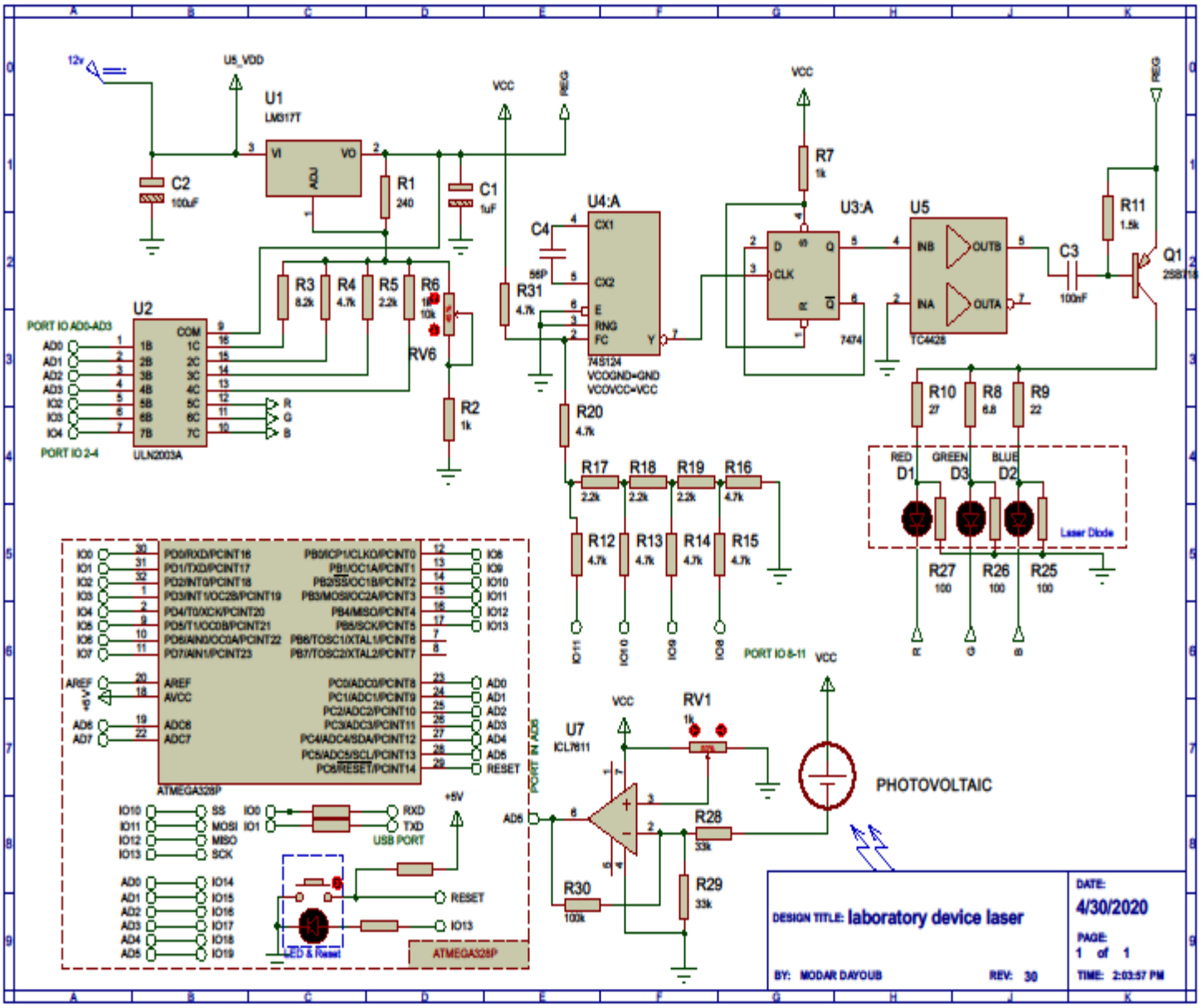


الشكل (6-1) المخطط الصندوقي لنظام الاتصال الليزري

نلاحظ من المخطط السابق أن المنظومة تتكون بشكل أساسي من دارة قيادة الليزر و كاشف ضوئي من نوع (silicon photovoltaic cell) يقعان على خط النظر ويتم إرسال أوامر التحكم بالمرسلات الليزرية عن طريق الحاسب إلى المتحكم الدقيق (Atmega 328p) الذي بدوره يتخاطب مع المرسلات الليزرية الثلاث وفي طرف الاستقبال لدينا الخلية الفوتوفولتية (VACTEC7 – 21G72S) التي تقوم باستقبال الإشارة المرسلة من الليزرات.

وسيتم شرح هذه الأجزاء بشكل مفصل لاحقاً، كما يبين الشكل (6-2) المخطط الكهربائي لدارة المرسل / المستقبل.

نشير إلى أن النظام الذي تم تصميمه في إطار هذا العمل يمكن اعتباره نظام اتصالات كون أنه يتم تحميل الإشارات الكهربائية على الحزم الليزرية التي تنتشر ضمن الهواء الجوي ويتم إعادة استقبالها بمساعدة الخلية الكهرضوئية وإعادة تحويلها إلى إشارات كهربائية.



الشكل (6–2) مخطط الدارة الإلكترونية الأساسي

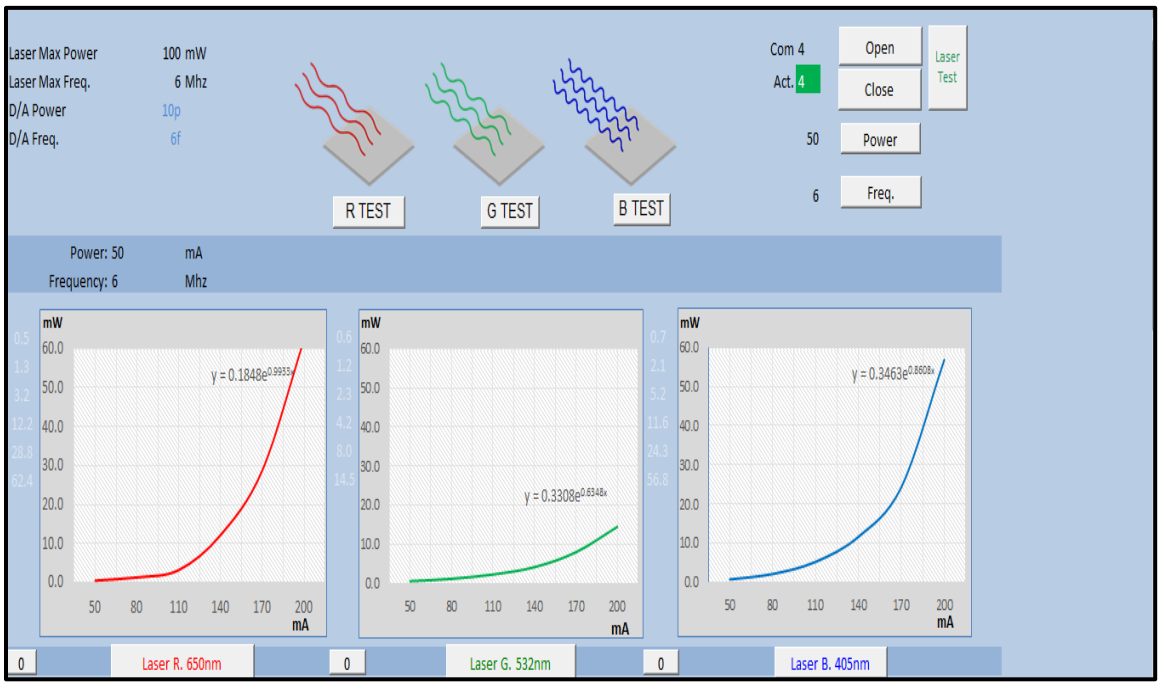
6-1-1. دارة قيادة الليزرات :

يجب الإشارة إلى أنه في هذا البحث تم استخدام ليزرات نصف ناقلة تعمل في مجال الأطوال الموجية المرئية (VLC) والتي هي (Red:650 nm، Green:532 nm ، Violet:405 nm) وقد تم اختيار الأطوال الموجية المرئية (visible light communication) نظراً لأهمية هذا المجال في الكثير من التطبيقات العملية (أنظمة القيادة والاستشعار عن بعد، تنفيذ وظائف إنارة ذكية جديدة لتعزيز السلامة والراحة) .

تتكون دارة القيادة من قسمين :

1. التحكم بالاستطاعة (استطاعة المرسلات).
2. التحكم بالتردد (تردد المرسلات).

وفي كلا القسمين يتم استخدام لغة البرمجة (Visual Basic Application) داخل تطبيق (EXCEL) من أجل التخاطب بين الحاسب والمتحكم (Atmega 328p) الذي يعتمد على AVR Arduino وإظهار نتائج الاختبار بشكل خطوط بيانية (الملحق11، الملحق 12) والشكل (3-6) يوضح الواجهة التخاطبية الرسومية التي تم تصميمها باستخدام لغة البرمجة (Visual Basic Application) داخل تطبيق (EXCEL) والتي من خلالها يتم اختبار االليزرات وتشغيلها وإطفائها كما يتم من خلالها التحكم باستطاعة وتردد المرسلات الليزرية.



الشكل (3-6) الواجهة التخاطبية الرسومية للتخاطب بين الحاسب والمتحكم الدقيق (Atmega328p)

open	: زر فتح الواجهة التخاطبية من خلال تفعيل منفذ الـ (USB).
R TEST	: زر التأكد من جاهزية المرسل الليزري الأحمر للعمل.
V TEST	: زر التأكد من جاهزية المرسل الليزري البنفسجي للعمل.
G TEST	: زر التأكد من جاهزية المرسل الليزري الأخضر للعمل.
Laser R.650 nm	: زر تشغيل المرسل الليزري الأحمر.
Laser V.405nm	: زر تشغيل المرسل الليزري البنفسجي.
Laser G.532 nm	: زر تشغيل المرسل الليزري الأخضر.

POWER : زر التحكم باستطاعة المرسلات الليزرية.

Freq. : زر التحكم بتردد المرسلات الليزرية.

Close : زر إغلاق الواجهة الرسومية التخاطبية.

1.التحكم بالاستطاعة:

يتم التحكم بالاستطاعة عن طريق البورت (AD0 - AD3) للمتحكم (Atmega 328p) بتغيير الكود الثنائي الرقمي المطبق على المبدل الرقمي التشابهي الموصول على الدارة المتكاملة (ULN 2003A) حيث يتم التحكم بالفولتية المطبقة على المرسلات وبالتالي إمكانية التحكم بتيار القيادة (التشغيل) لهذه المرسلات ومراقبة التغير في استطاعة الخرج.

❖ العناصر المكونة لهذه المرحلة:

1- الدارة المتكاملة (LM317T) :

هي دارة منظم جهد قابل للضبط، يعطي المنظم (LM317T) جهد خرج قابل للضبط وثابت عند تطبيق جهد المرجع المستمد من خرجه عبر مقسم للجهد R1 ومجموعة المبدل الرقمي التماثلي مع مقاومة ضبط (Rv6+R2) حيث إن بداية الجهد المرجعي 1.25Vوهو المنظم الذي يؤمن التحكم باستطاعة المرسلات الليزرية.

2- الدارة المتكاملة (ULN2003A) :

مكبر عاكس (BJT) نوع (NPN) تقوم باستقطاب انحياز مقاومات المبدل الرقمي التماثلي (4-bit) المكون من أربع مقاومات (R3,R4,R5,R6)موزونة ثنائياً إلى نقطة الصفر.

3- مبدل رقمي إلى تماثلي موزون ثنائي بسيط (4-bit) :

مكون من أربع مقاومات موزونة ثنائياً هي (R3، R4، R5، R6) حيث يؤدي تطبيق الكود الثنائي الرقمي إلى استقطاب انحياز مقاومات المبدل الرقمي – التماثلي إلى نقطة الصفر عن طريق الدارة المتكاملة (ULN 2003A) مما ينتج عنه توليد جهد خرج يتناسب مع كل كود رقمي ثنائي من أجل التحكم باستطاعة الليزرات والجدول التالي يوضح قيم الكود الثنائي الرقمي والقيم المكافئة لها في الجهد (تم تحديد قيم الجهد باستخدام مقياس الآفوميتر).

الجدول (6–1) الكود الثنائي الرقمي والقيم المكافئة له في الجهد

Voltage regulator (V)	Binary code (port AD0-AD3)
10.7	**0000**
10.4	**0001**
10.2	**0010**
8.3	**0011**
7.56	**0100**
6.89	**0101**
6.1	**0110**
5.5	**0111**
5	**1000**
4.66	**1001**
4.4	**1010**
4.22	**1011**
4.1	**1100**
3.92	**1101**
3.8	**1110**
3.7	**1111**

4– ترانزستور (Q1: PNP) :

مكبر تيار الخرج الذي تتم تغذيته عن طـريق الجـهد المتغير وفق قيم الجدول (6-1) ويقوم هذا المكبر بالتحكم باستطاعة وبداية جهود العتبة لبدء تشغيل المرسلات حسب الجدول السابق (6-1).

ملاحظة : في هذه الحالة تم الاستفادة من هذه العناصر الإلكترونية في الدارة المنفذة في تعيين المرسل الليزري ذي الكفاءة الأعلى عند تغيير (التحكم) بتيار القيادة وبالتالي تم تعيين المرسل ذو الكفاءة الأعلى بشكل أدق بالاعتماد على هذه المنظومة و الاستفادة من هذه النتائج في تحديد الليزر الأقل تأثراً بعوامل التخميد والذي سيعطي الاستطاعة الضوئية الأعلى عند زيادة تيار التشغيل ومنه تحديد الطول الموجي الأمثل في هذا البحث.

2.التحكم بالتردد:

يتم التحكم بالتردد عن طريق البورت (IO8 – IO11) للمتحكم (Atmega 328p) بتغيير الكود الثنائي الرقمي المطبق على المبدل الرقمي التماثلي.

❖ **العناصر المكونة لهذه المرحلة :**

1- مبدل رقمي إلى تماثلي بسلم (2R – R) 4bit:

في هذا المبدل تم استخدام شبكة مقاومات (R)، (2R) بدلاً من شبكة المقاومات الموزونة ثنائياً (نستخدم مقاومات كلها بنفس القيمة) وهي (R12، R13، R14، R15) مع المقاومات (R16، R17، R18، R19) حيث يتم تطبيق الكود الثنائي الرقمي المتتابع عن طريق مخارج الأرجل الرقمية الخاصة بالمتحكم (Atmega 328p) والتي هي (IO8، IO9، IO10، IO11) على المبدل وبتطبيق هذا الكود الثنائي الرقمي يتم

تكوين إشارة تماثلية في الخرج ليتم التحكم بالتردد جهدياً عن طريق الـ (VCO) (Voltage Controlled Oscillator) وبالتالي التحكم بتردد المرسلات الليزرية حسب الحاجة، الجدول (6-2) يوضح قيم الكود الثنائي الرقمي والقيم المكافئة له في التردد.

الجدول (6–2) الكود الثنائي الرقمي والقيم المكافئة له في التردد

Voltage(V)	Frequency(MHz)	Binary code
0	**6.0**	**0000**
0.26	**6.0**	**0001**
0.56	**6.0**	**0010**
0.83	**6.0**	**0011**
1.1	**6.0**	**0100**
1.4	**5.88**	**0101**
1.7	**5.76**	**0110**
1.99	**5.4**	**0111**
2.3	**4.8**	**1000**
2.64	**4.2**	**1001**
2.93	**3.6**	**1010**
3.2	**3**	**1011**
3.53	**2.4**	**1100**
3.81	**1.8**	**1101**
4.1	**1.2**	**1110**
4.37	**0.6**	**1111**

2-الدارة المتكاملة (voltage – controlled oscillators: 74S124) :

دارة الهزاز المتحكم به جهدياً (VCO) وهي دارة شديدة الاستقرار وسهلة الاستخدام وتعطي في خرجها موجات مربعة، يقوم جهد التحكم بتغيير تردد الخرج ويطبق جهد التحكم على الدارة بواسطة مقسم جهد عن طريق المبدل الرقمي التماثلي.

أي يمكن القول إن هذه الدارة هي مذبذب الإرسال الذي وظيفته تشكيل التردد الخاص (تردد الإرسال) وبالتالي دخل هذه الدارة عبارة عن مذبذب (RC) متحكم به جهدياً وخرجه موجة مربعة.

3- الدارة المتكاملة 50% Duty Cycle (74S74N):

عبارة عن تشكيلة بوابات منطقية داخلية حيث إن القلاب (D) عند نبضة الـ (clock) يغير حالة الخرج من موجبة إلى سالبة وتستمر الحالة إلى أن تأتي النبضة التالية أي إنه يقسم تردد خرج المذبذب إلى (2) بتربيع موجة بين المستويين المنخفض والعالي للموجة بتساوي تام وفي هذه الحالة نحصل على موجة مربعة تماماً.

4-الدارة المتكاملة (TC4428ACPA) 1.5 A Dual High – Speed Power MOSFET Drivers:

دارة مضخم أولي لتيار تردد الإرسال، عبارة عن ترانزستورات نوع (MOSFET) تعمل بجهد تغذية (1.2 V) حتى (18V) يتم تأمينه عن طريق منظم (LM317T).

ملاحظة: في هذه الحالة ممكن الاستفادة من العناصر الإلكترونية في تعيين (تحديد) المرسل الليزري الأكثر قدرة على نقل (حمل) الترددات العالية أي قدرة المرسل على نقل أكبر قدر ممكن من المعلومات والذي يعد من أهم المتطلبات في نظم الاتصالات.

6-1-2. مرحلة الكشف والتضخيم:

6-1-2-1. الكاشف الضوئي المستخدم (Silicon Photovoltaic cell):

في هذا البحث استخدمنا كاشف ضوئي من نوع (Silicon Photovoltaic Cell) وهو /VACTEC 7 – 21G72S/ وله البارامترات المبينة في الجدول الآتي :



الشكل (6-4) الخلية السيليكونية

الجدول (6-3) وسطاء الخلية السيليكونية [27]

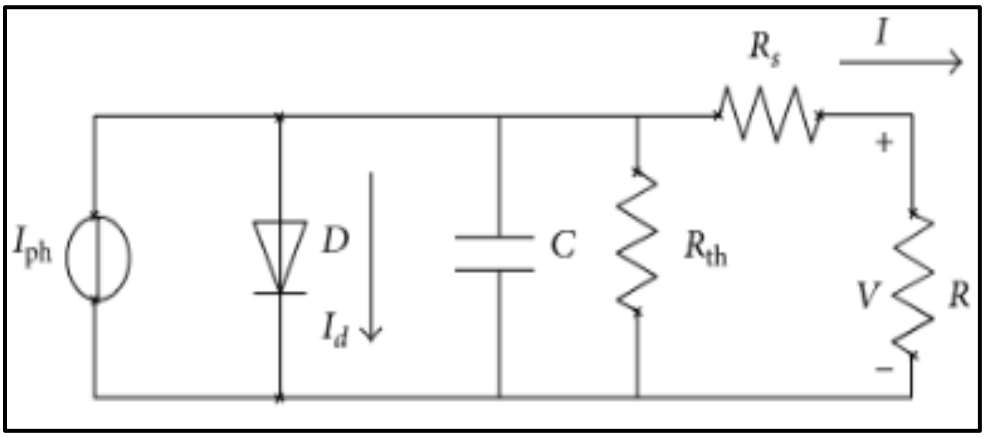
Parameter	Value
Areas	**2×4 cm^2**
Open circuit voltage	**$U_{OC} = 500\ mV$**
Short circuit current	**$I_{sc} = 5\ mA$**
Standard condition	**$E_v = 600\ Lx$**
Parallel number	**$N_1 = 1$**
Series number	**$N_2 = 1$**
Load resistance	**$R_h = 0{\sim}1000\ \Omega$**
Capacity	**0.2 µF**
Temperature	**T = 295 K**
Field of view	**$\Psi = 90^{\circ}$**
Distance	**d = 1.0 m**

- **الخلية السيليكونية :**

إن الخلايا الشمسية هي حساسات ضوئية بسطوح كبيرة جداً، والسطح الكبير للخلية الشمسية يجعل الخلية أكثر حساسية للضوء الوارد ويجعلها أكبر قدرة (تيارات وجهود أعلى) من الديودات الضوئية، فمثلاً يمكن لخلية سليكونية واحدة أن تعطي جهداً يساوي (0.5 V) بتيار (0.1 A) إذا تعرضت لضوء ساطع.

استخدمنا الخلية السيليكونية كعنصر حساس للضوء الليزري في مجال الضوء المرئي، وللخلية الكهرضوئية مثل الديود الضوئي، طرف موجب وطرف سالب ويجب مراعاة

قطبية الأطراف عند وصل الخلية في دارة فالطرف الموجب يوصل إلى نقطة أكثر إيجابية من النقطة التي يوصل لها الطرف السالب، يبلغ زمن الاستجابة النموذجي للخلية الكهرضوئية حوالي 20 ms، ويظهر الشكل (6–5) المخطط الكهربائي لدارة تكافئ خلية كهرضوئية نموذجية [27]



الشكل (6–5) مخطط الدارة المكافئة لخلية كهرضوئية نموذجية [27]

وقد تم الاعتماد على هذه الخلية في المقارنة بين المرسلات الثلاثة من أجل الوصول إلى التقييم المخبري المطلوب لاستخدام هذه الليزرات حيث تم وصل هذه الخلية على مضخم عمليات (ICL 7611) ومن ثم من خرج المضخم إلى ال(pin(AD5 للمتحكم وتم قياس فرق الجهد الكهربائي المتغير والذي هو فرق الجهد الناتج من المستشعر (الخلية الكهرضوئية) نتيجة التغير في إحدى خصائص شعاع الليزر، أي تم تحويل التغيرات التي طرأت على الأطوال الموجية الثلاث إلى إشارة كهربائية قابلة للقياس.

6-1-2-2. مرحلة التضخيم:

المضخم المستخدم (ICL 7611) يقوم هذا المضخم بتضخيم الجهد ليصل لحد الجهد التماثلي الذي يعمل عنده المتحكم حتى تتوافق مع مدخل (AD5) مدخل المعلومات التماثلية للمتحكم ويتراوح هذا الجهد بين 0 و 5 فولت.

6-2- التخميد باستخدام مرشحات (Natural Density Filters)

الطريقة الفيزيائية الضوئية:



الشكل (6-6) مرشحات التخميد المستخدمة

في هذه الحالة تم استخدام مرشحات (Natural Density Filters) بنسب تخميد محددة من أجل المقارنة بين المرسلات الثلاثة، أي يمكن القول إنه تمت مكافأة التخميد الناتج عن العوامل المختلفة المؤثرة على الإشارة الليزرية في الفضاء الحر بهذه المرشحات وذلك باختيار نسب تخميد معينة موضوعة على هذه المخمدات من قبل الشركة المصنعة.

الخلاصة:

في هذا الفصل تم شرح مكونات نظام الاتصال الضوئي المخبري والدارات المتكاملة التي تم اعتمادها لقياس النتائج.

في الفصل اللاحق سيتم تسليط الضوء على النتائج التي تم التوصل إليها ومناقشتها مع أهم الدراسات المرجعية.

الفصل السابع

النتائج والمناقشة

تمهيد:

في هذا الفصل سيتم عرض كافة الخطوات المدروسة بطريقة دقيقة بالإضافة إلى نتائج القياسات التي تم استخلاصها من التجارب المخبرية مع مناقشة هذه النتائج مع الأفكار البحثية والدراسات المرجعية السابقة التي تم التوصل إليها كمحصلة نهائية للقسم العملي.

7-1- الاختبارات العملية والنتائج:

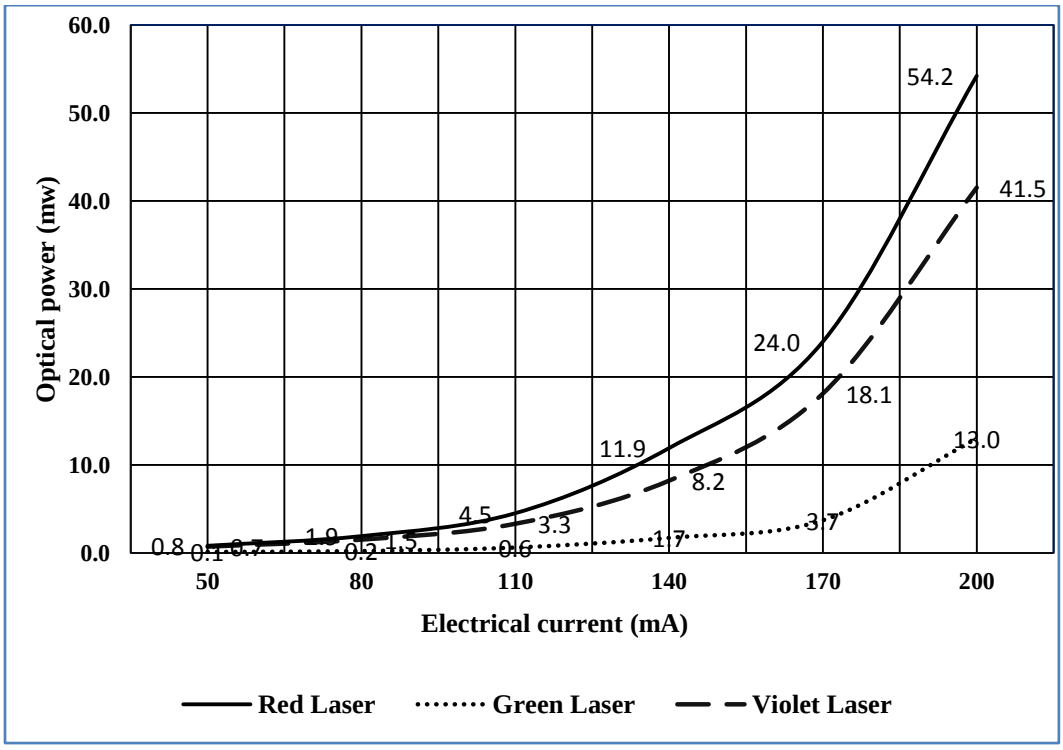
في هذا البحث تم استخدام لغة البرمجة VBA(Visual Basic Application) داخل تطبيق (EXCEL) من أجل التخاطب بين الحاسب والمتحكم حيث أن المتحكم (Atmega 328p) يستقبل أمر التشغيل والإطفاء عن طريق الـ (USB) باستخدام خاصية (serial command) ويجب الإشارة إلى أنه يمكن تخصيص الخطوط الرقمية للمتحكم كمداخل أو مخارج وذلك حسب الأوامر البرمجية وتعمل هذه الخطوط على جهد أقصاه 5 فولت وكل خط يمكن أن يؤمن سحب للتيار بحدود الـ 40 ميللي أمبير وفي بحثنا هذا تم تخصيص الأرجل (الخطوط الرقمية) : (IO4، IO3، IO2) كمخارج لتشغيل الليزرات وخصصت الخطوط الرقمية (IO11، IO10، IO9، IO8) كمخارج للتحكم بتردد المرسلات الليزرية المستخدمة، أما الخطوط (AD0، AD1، AD2، AD3) فقد تم تخصيصها كمخارج للتحكم باستطاعة المرسلات الليزرية، بينما تم

تخصيص الخط التماثلي (AD5) لاستقبال الإشارة التماثلية الضوئية القادمة من الخلية الكهرضوئية.

7-2- دراسة الكفاءة للمرسلات الليزرية :

في هذه الحالة سيتم مقارنة الكفاءة للمرسلات الثلاثة عند قيمة تردد ثابت (3MHz) بتغيير تيار التشغيل (القيادة) من (50 ~ 200 mA) للمرسلات الليزرية المثبتة على الحامل في التجربة وذلك عند مسافة متر واحد بين المرسل والمستقبل.

تم التوصل إلى النتائج الآتية:



الشكل (7-1) المخطط البياني لتغيرات الاستطاعة الضوئية بدلالة تيار التشغيل للمرسلات الثلاثة

ملاحظة : باستخدام الخلية الـسيليكونية تم قراءة إشارة جهد كهربائـي تتناسـب قيمته مع قيمة الاستطاعة الـضوئية للمرسلات الليزرية ،وعبر إجراء مجموعة من العمليات والخوارزميات (الشيفرة البرمجية) انظر الملاحق [12],[11] على هذه القيمة تم الحصول على قيمة الاستطاعـة الـضوئية الفعلية للمرسلات الليزرية وهكذا تم تحديد الاستطاعـة الضوئية للمرسلات الثلاثة.

7-2-1. مناقشة النتائج:

يُلاحظ أنه مع زيادة التيار المحقون يُظهر الليزر أولاً انبعاثاً تلقائياً يزداد تدريجياً حتى يبدأ في إصدار إشعاع محفز وهو أول عمل الليزر ويشار إلى منحني الاستطاعة الضوئية الناتجة مقابل تيار الإدخال بالرمز (L.I) وهو من أهم المقاييس المستخدمة لتحديد أداء الديود الليزري، حيث من خلاله يتم تحديد كفاءة الليزر في تحويل الاستطاعة الكهربائية إلى استطاعة ضوئية من خلال ميل المنحني (L.I) والذي يشار إليه بالتغير في استطاعة الخرج على التغير في التيار.

حيث من المرغوب الوصول إلى الإصدار المحثوث للمرسل الليزري عند أدنى حد ممكن للتيار، أي أنه من المستحسن الحصول على المزيد والمزيد من الاستطاعة الضوئية عند أقل قدر ممكن من التيار.

من الواضح من الخطوط البيانية السابقة أن الديود الليزري الذي يتمتع بمعدل جيد لتحويل الاستطاعة الكهربائية المدخلة إلى استطاعة ضوئية هو الليزر الأحمر ذو الطول الموجي (650 nm) يليه الليزر البنفسجي (405 nm) ثم الليزر الأخضر (532 nm) ،انظر الملاحق (1,2,3).

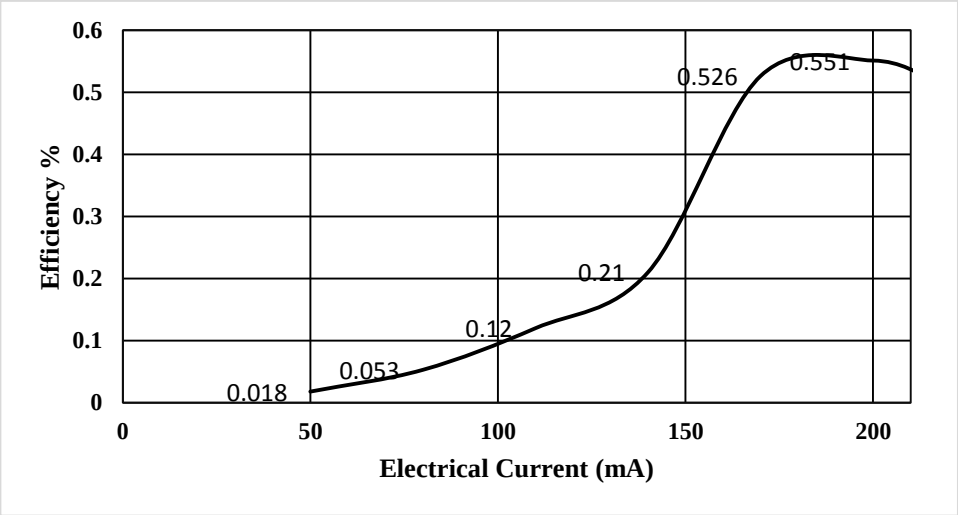
7-3- حساب الكفاءة الكمومية التفاضلية الخارجية للمرسلات الثلاثة (External Differential Quantum Efficiency):

1. المرسل الليزري الأحمر (Red):

الجدول (7-1) حساب الكفاءة الكمومية لليزر الأحمر

$P(mw)$	$I(mA)$	$\Delta P(mw)$	$\Delta I(mA)$	$\Delta P/\Delta I$	$q \times \lambda/h \times c$	$\eta = \frac{\Delta P}{\Delta I} \times \frac{q(C) \times \lambda(nm)}{h(J.s) \times c(m/s)}$
0.8	50	1.1	30	0.036	0.523	0.018
1.9	80	3.1	30	0.103	0.523	0.053
5	110	6.9	30	0.23	0.523	0.120
11.9	140	12.1	30	0.403	0.523	0.210
24	170	30.2	30	1.006	0.523	0.526
54.2	200	15.8	15	1.053	0.523	0.551
70	215	15	15	1	0.523	0.523

- قيمة تيار العتبة ($I_{threshold}$= 85 mA).



الشكل (7−2) المخطط البياني لتغيرات الكفاءة الكمومية بدلالة التيار للمرسل الليزري الأحمر

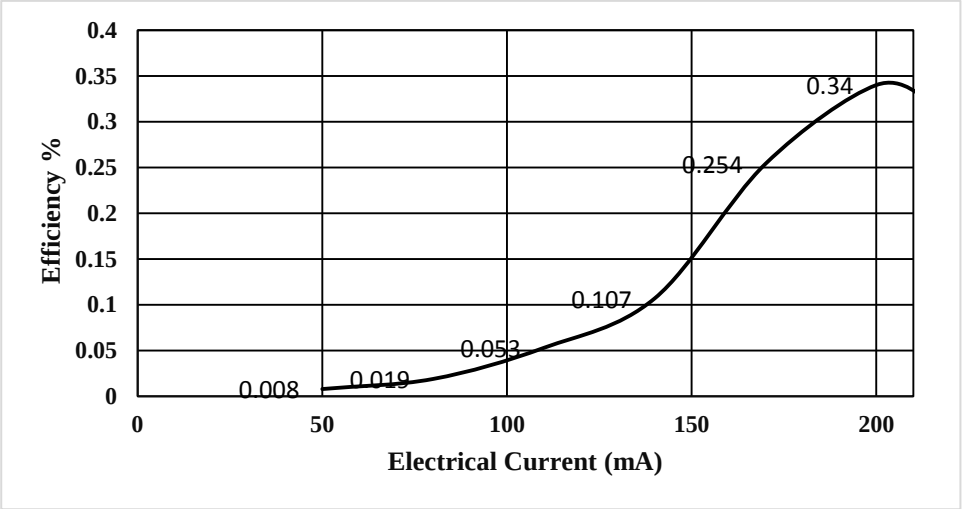
$$(\eta_{max} = 0.551)$$

2. المرسل الليزري البنفسجي (Violet) :

الجدول (7−2) حساب الكفاءة الكمومية لليزر البنفسجي

P(mw)	$I(mA)$	$\Delta P(mw)$	$\Delta I(mA)$	$\Delta P/\Delta I$	$q \times \lambda/h \times c$	$\eta = \frac{\Delta P}{\Delta I} \times \frac{q(C) \times \lambda(nm)}{h(J.s) \times c(m/s)}$
0.7	50	0.8	30	0.026	0.326	0.008
1.5	80	1.8	30	0.06	0.326	0.019
3.3	110	4.9	30	0.163	0.326	0.053
8.2	140	9.9	30	0.33	0.326	0.107
18.1	170	23.4	30	0.78	0.326	0.254
41.5	200	15.7	15	1.046	0.326	0.340
57.2	215	14.8	15	0.986	0.326	0.321

- قيمة تيار العتبة ($I_{threshold}$= 100 mA).



الشكل (7−3) المخطط البياني لتغيرات الكفاءة الكمومية بدلالة التيار للمرسل الليزري البنفسجي

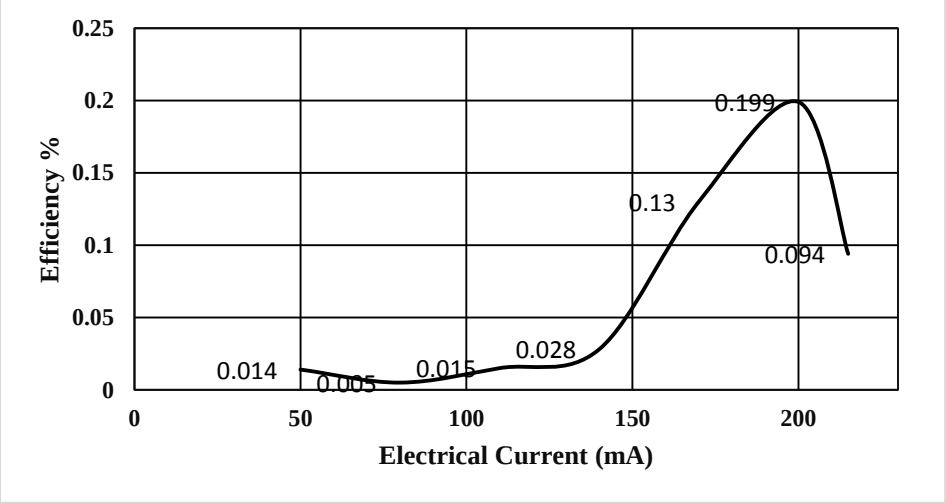
$$(\eta_{max} = 0.340)$$

3. المرسل الليزري الأخضر (Green):

الجدول (7−3) حساب الكفاءة الكمومية لليزر الأخضر

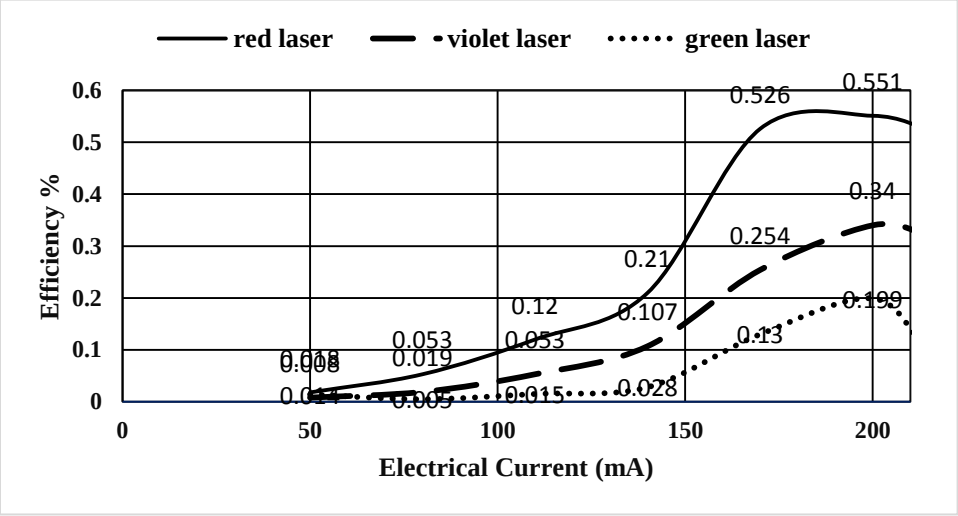
$P(mw)$	I(mA)	$\Delta P(mw)$	$\Delta I(mA)$	$\Delta P/\Delta I$	$q \times \lambda/h \times c$	$\eta = \frac{\Delta P}{\Delta I} \times \frac{q(C) \times \lambda(nm)}{h(J.s) \times c(m/s)}$
0.1	50	0.1	30	0.033	0.428	0.014
0.2	80	0.4	30	0.013	0.428	0.005
0.6	110	1.1	30	0.036	0.428	0.015
1.7	140	2	30	0.066	0.428	0.028
3.7	170	9.3	30	0.31	0.428	0.13
13	200	7	15	0.466	0.428	0.199
20	215	5	15	0.333	0.428	0.094

- قيمة تيار العتبة ($I_{threshold}$= 135 mA).



الشكل (7−4) المخطط البياني لتغيرات الكفاءة الكمومية بدلالة التيار للمرسل الليزري الأخضر

$$(\eta_{max} = 0.094)$$



الشكل (7−5) المخطط البياني لمقارنة تغيرات الكفاءة الكمومية بدلالة التيار للمرسلات الليزرية الثلاثة

$$(\eta_{red} > \eta_{violet} > \eta_{green})$$

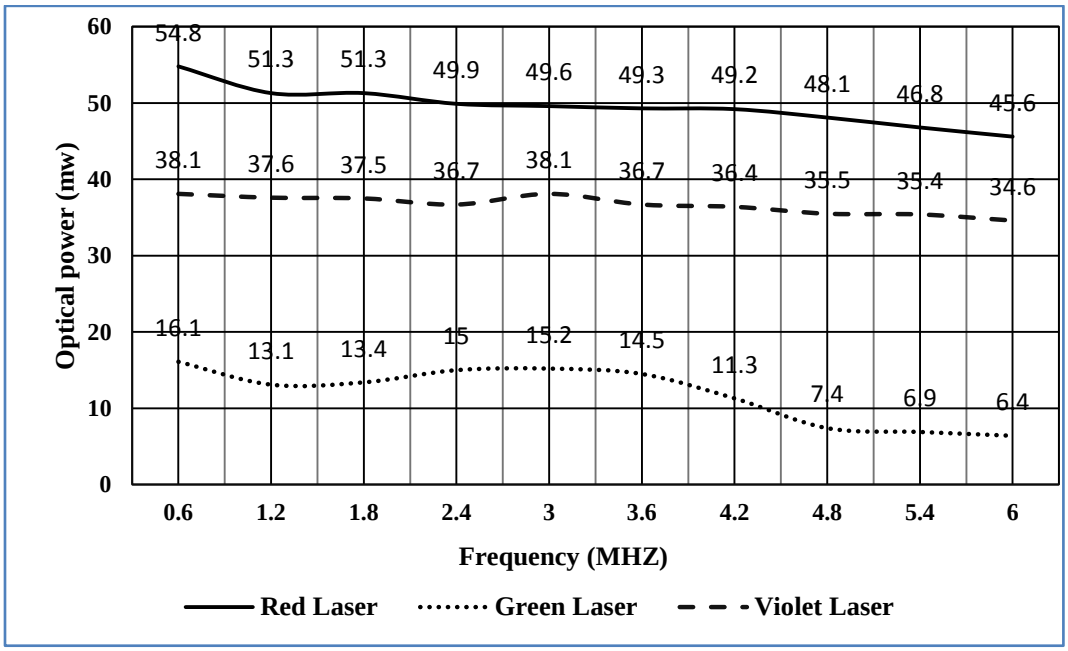
7-3-1. مناقشة النتائج:

نتيجة لهذه الدراسة المنجزة، فإن هذه النتائج تطابق الدراسات السابقة التي قام بها [26] من حيث تحديد المرسل الليزري ذو الكفاءة الكمومية الأعلى وهو يوافق الليزر الأحمر (650 nm) والكفاءة المنخفضة لـ (532,405 nm) وهذا ما تم التوصل إليه في هذا البحث.

مع التنويه إلى الاختلاف في الطريقة المستخدمة في قياس الكفاءة بين الدراسة المرجعية [26] حيث اعتمد الباحث على طريقة تعرض الشعاع الليزري لظروف جوية مختلفة خلال أزمنة معينة ولمسافات محددة بينما في هذا البحث تم الاعتماد على أسلوب هندسي تقني بحت بشكل أساسي.

7-4- مقارنة الاستطاعة الضوئية الناتجة مقابل زيادة تردد المرسل الليزري:

في هذه الحالة سيتم مقارنة الاستطاعة الضوئية الناتجة عن المرسلات الثلاث عند قيمة (200 mA) من تيار المرسلات بتغيير تردد الموجة الحاملة (الموجة الليزرية) من (0.6~6 MHZ) وذلك عند مسافة متر واحد بين المرسل والمستقبل.



الشكل (7−6) المخطط البياني الخاص بمقارنة الاستطاعة الضوئية المستقبلة للمرسلات الثلاثة مقابل زيادة التردد من (0.6~6 MHz)

في دراسة سابقة [21] فإن الظروف المناخية تؤثر على معدل وسرعة نقل البيانات ومن الممكن زيادة سرعة نقل البيانات عن طريق زيادة الاستطاعة المرسلة وهذا مطابق للنتائج المستخلصة في هذا البحث حيث أن الليزر الأحمر (650 nm) هو المرسل ذو الاستطاعة الأعلى وبالتالي هو الأفضل والأكثر استقراراً في حال زيادة التردد(تردد الموجة الحاملة) والأكثر كفاءة في نقل البيانات حيث الاستطاعة الضوئية العظمى لليزر الأحمر $(P_o = 45.6\,mW)$ والاستطاعة الضوئية العظمى لليزر البنفسجي $(P_o = 34.6\,mW)$ والاستطاعة الضوئية العظمى لليزر الأخضر $(P_o = 6.4\,mW)$.

نشير إلى أن الليزر الأخضر المتوفر لدينا والذي استطعنا تأمينه يمتلك استطاعة خرج أقل من تلك التي لليزرين الأحمر والبنفسجي (انظر الملحق [2]).

7-5- التـــخميد باســـتخدام مرشـــحات (Natural Density Filters)

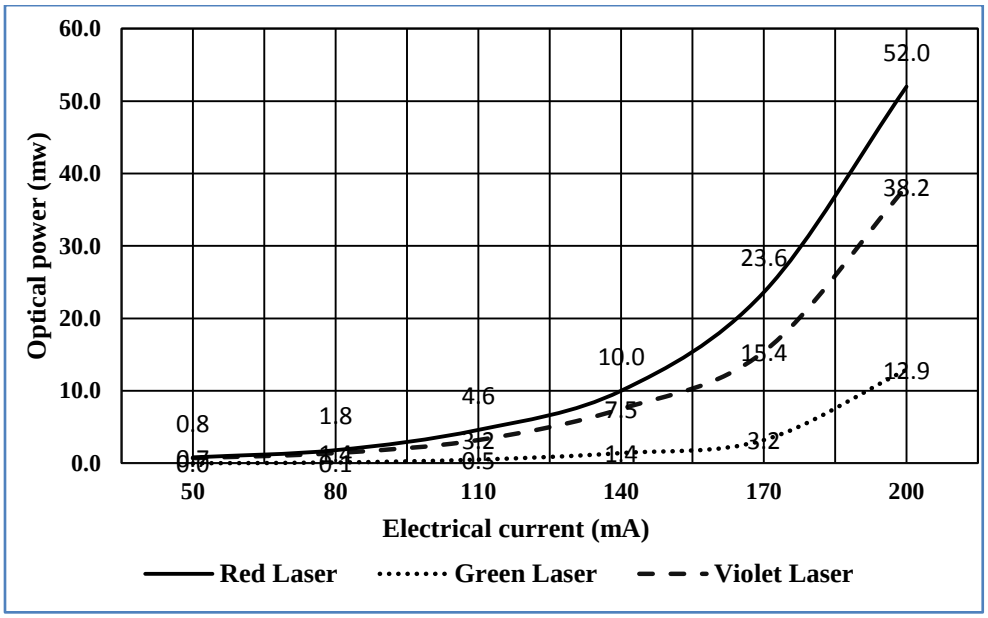
الطريقة الفيزيائية الضوئية:

في هذه الحالة تم استخدام مرشحات (Natural Density Filters) بنسب تخميد محددة من أجل المقارنة بين المرسلات الثلاثة، أي يمكن القول أنه تمت مكافأة التخميد الناتج عن العوامل المختلفة المؤثرة على الإشارة الليزرية في الفضاء الحر بهذه المرشحات وذلك باختيار نسب التخميد التالية:

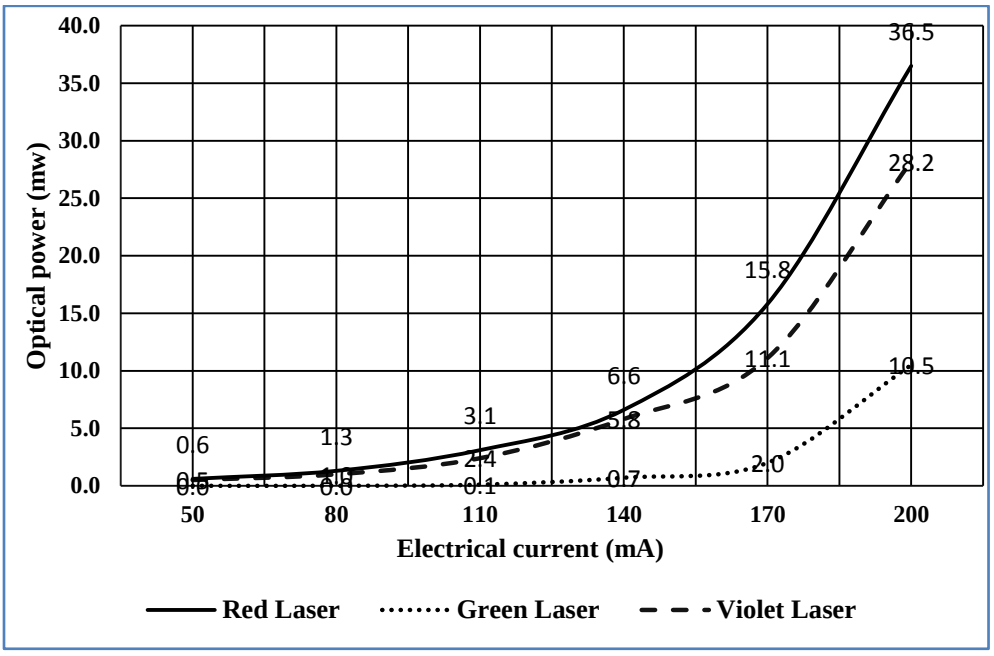
1. clear ⇦ 9% (جو صافي).
2. haze ⇦ 25% (جو سديمي).
3. thin fog ⇦ 50% (ضباب خفيف).
4. light fog ⇦ 80% (ضباب متوسط).
5. heavy fog ⇦ 90% (ضباب كثيف).

وتم التوصل إلى المنحنيات البيانية التالية التي تعبر عن عن كل حالة من حالات التخميد السابقة وعلاقتها بالاستطاعة الضوئية لكل مرسل من المرسلات الثلاث ومن

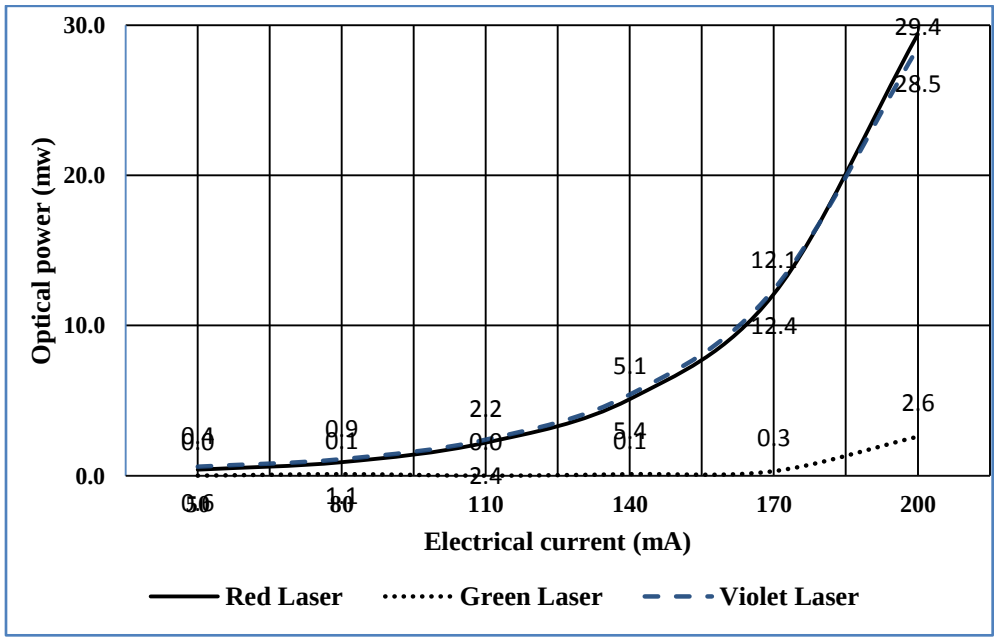
خلال هذه المنحنيات نستطيع استنتاج الليزر ذو الطول الموجي الأقل تأثراً بعوامل التخميد.



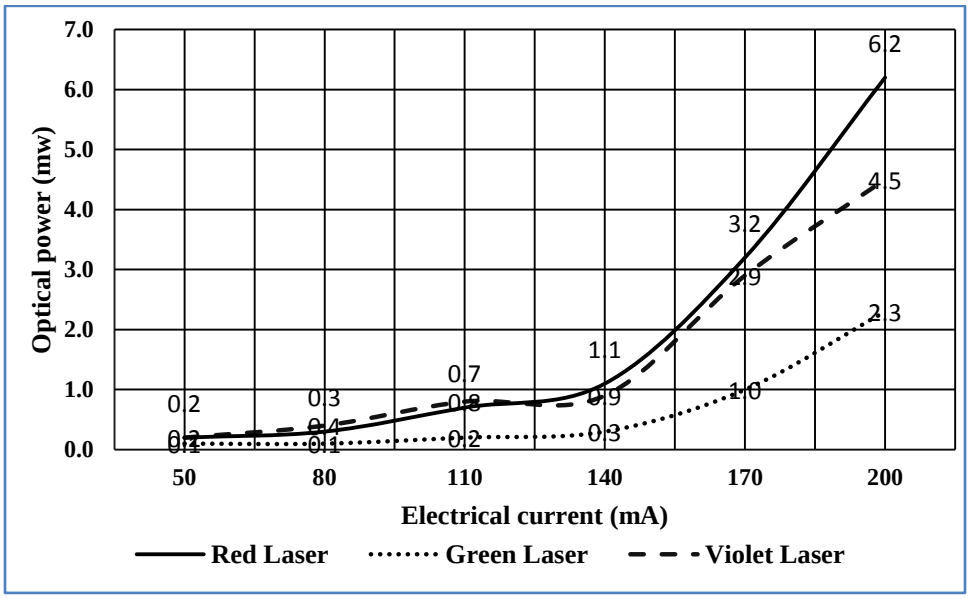
الشكل (7-7) المخطط البياني الخاص بمقارنة الاستطاعة الضوئية المستقبلة للمرسلات الثلاثة عند نسبة تخميد (9%) والتردد الأعظمي (6 MHZ)



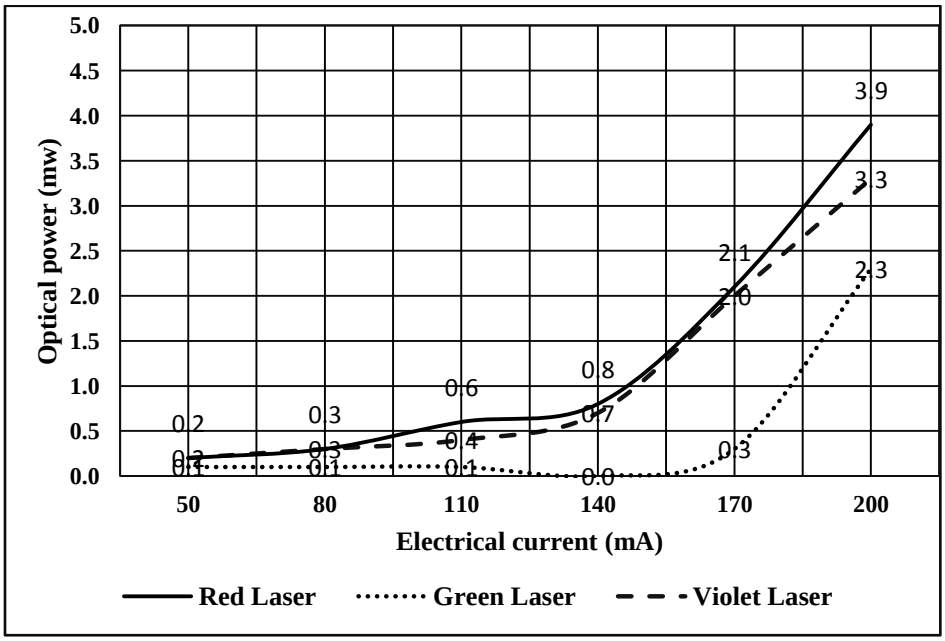
الشكل (7-8) المخطط البياني الخاص بمقارنة الاستطاعة الضوئية المستقبلة للمرسلات الثلاث عند نسبة تخميد (25%) والتردد الأعظمي (6 MHZ)



الشكل (7-9) المخطط البياني الخاص بمقارنة الاستطاعة الضوئية المستقبلة للمرسلات الثلاث عند نسبة التخميد (50%) والتردد الأعظمي (6 MHZ)



الشكل (7-10) المخطط البياني الخاص بمقارنة الاستطاعة الضوئية المستقبلة للمرسلات الثلاث عند نسبة التخميد (80%) والتردد الأعظمي (6 MHZ)



الشكل (7-11) المخطط البياني الخاص بمقارنة الاستطاعة الضوئية المستقبلة للمرسلات الثلاث عند نسبة التخميد (90%) والتردد الأعظمي (6 MHZ)

7-5-1. مناقشة النتائج:

يتبين من المنحنيات السابقة أن المرسل الليزري الذي يعطي الاستطاعة العظمى في كل حالة من حالات التخميد السابقة هو الليزر الأحمر ذو الطول الموجي ($\lambda = 650nm$) يليه الليزر البنفسجي ذو الطول الموجي ($\lambda = 405\,nm$) ثم الليزر الأخضر ($\lambda = 532\,nm$) وبذلك يكون الليزر الأحمر هو المرسل ذو الطول الموجي الأمثل في الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر تحت تأثير عوامل التخميد المختلفة في الهواء.

بالاستفادة من الدراسات المرجعية السابقة [21] تم نظم جدول فيه قيم تقريبية من أجل المقارنة بين الأطوال الموجية المختلفة الثلاث تحت تأثير العوامل الجوية وفق مايلي:

الجدول (7-4) التخميد الجوي مقدراً بـ (dB/km) كتابع لعامل الرؤية للأطوال الموجية (405nm، 532nm ، and 650nm)

Climate	Visibility (km)			Attenuation (dB/km)			ND.F.intensity filters		
	405nm	532nm	650nm	405nm	532nm	650nm	405nm	532nm	650nm
Clear	8	4	8	3.23	4.18	0.7	9%	9%	9%
Haze	6	2	7	9.5	11.86	7.77	25%	25%	25%
Thin Fog	1	0.5	1.5	20.21	34.7	10.501	50%	50%	50%
Light Fog	0.8	0.2	1	23.76	86.75	15.962	80%	80%	80%
Heavy Fog	0.3	0.05	0.5	57.83	347	34.7	90%	90%	90%

يوضح الجدول السابق تأثير بعض العوامل الجوية على ضوء الليزر كمصدر للإشارة الضوئية في الفضاء الحر؛ تم حساب تأثير هذه العوامل على مقدار التوهين لأشعة الليزر حسبت عند الأطوال الموجية (405 nm، 532 nm ، 650 nm) حيث تبين أن الظروف المناخية (clear، haze ، thin fog ، light fog ، heavy fog) تؤثر على تلك الأطوال الموجية وبطرق مختلفة، ومن الممكن تحسين أداء النظام عن طريق زيادة القدرة المرسلة وتقليل انفراجية أشعة الليزر.

إن المنحنيات والجدول السابق تبين تطابق نتائج هذا البحث مع نتائج الدراسات السابقة [26] حيث أن الكفاءة المميزة للطول الموجي (650 nm) والكفاءة المنخفضة لل (532,405) nm ناتجة عن التبعثر الناتج عن دقائق الغبار في الغلاف الجوي حيث تتأثر الأطوال الموجية الأقصر بالتبعثر أكثر من الأطوال الموجية الطويلة وبالتالي الأطوال الموجية الطويلة أقل تأثراً بظواهر التخميد المختلفة.

7-6- مقارنة النتائج مع الدراسات المرجعية:

في حالة دراسة الكفاءة الكمومية للمرسلات الثلاثة فإن النتائج التي تم التوصل إليها تطابق الدراسات المرجعية السابقة [26] من حيث تحديد المرسل الليزري ذو الكفاءة

الكمومية الأعلى وهو يوافق الليزر الأحمر (650 nm) والكفاءة المنخفضة للمرسلات (532,405 nm) وهذا تم التوصل إليه في هذا البحث.

مع التنويه إلى الإختلاف في الطريقة المستخدمة في قياس الكفاءة في الدراسة المرجعية السابقة [26] حيث اعتمد الباحث على طريقة تعريض الشعاع الليزري لظروف جوية مختلفة خلال أزمنة معينة في الليل والنهار ولمسافات محددة بينما في هذا البحث تم الاعتماد على أسلوب هندسي تقني بحت بشكل أساسي وتم إثبات فعالية ونجاعة هذا الأسلوب من خلال النتائج التي تم التوصل إليها.

وفي الحالة الثانية (مقارنة الاستطاعة الضوئية مقابل زيادة التردد المرسل الليزري) فإن الظروف المناخية تؤثر على معدل وسرعة نقل البيانات عن طريق زيادة الاستطاعة الضوئية المرسلة وفق الدراسة المرجعية [21] وهذا مطابق للنتائج المستخلصة في هذا البحث حيث أن الليزر الأحمر (650 nm) هو المرسل ذو الاستطاعة الأعلى وبالتالي هو الأفضل والأكثر استقراراً في حالة زيادة التردد (تردد الموجة الحاملة) والأكثر كفاءة في نقل البيانات [21].

وفي الحالة الأخيرة التي تم فيها مكافأة التخميد الناتج عن العوامل المختلفة المؤثرة على الإشارة الليزرية بهذه المرشحات (الطريقة الفيزيائية الضوئية) فقد تبين أن الليزر الأحمر هو المرسل الليزري ذو الطول الموجي الأمثل في الاتصالات في الفضاء

الحر تحت تأثير عوامل التخميد المختلفة وهذا مطابق للدراسات المرجعية السابقة [26][21] حيث أن الظروف المناخية تؤثر على الأطوال الموجية للمرسلات بطرق مختلفة فالكفاءة المميزة للطول الموجي (650 nm) بالنسبة للمرسلين (532,405 nm) ناتجة عن التبعثر الناتج عن دقائق الغبار في الغلاف الجوي حيث تتأثر الأطوال الموجية الأقصر بالتبعثر أكثر من الأطوال الموجية الطويلة وبالتالي الأطوال الموجية الطويلة أقل تأثراً بظواهر التخميد المختلفة.

الخلاصة:

إن هذه الدراسة تثبت أهمية الطرق التقنية الهندسية ودقتها في اختبار وتحديد الأطوال الموجية المثلى في الاتصالات الضوئية الليزرية بعيداً عن العلاقات والحسابات المعقدة التي تتطلب معلومات دقيقة مفصلة في معظمها.

الفصل الثامن

الخاتمة

تمهيد:

في هذا الفصل سيتم عرض ملخص شامل للنتائج التي تم التوصل إليها، بالإضافة إلى بعض التوصيات والمقترحات المستقبلية لموضوع البحث المطروح، مع بيان فكرة هذا البحث كأداة مستقبلية تحسن من الدقة الموضوعية في تقصي الأطوال الموجية المناسبة في الاتصالات الضوئية في الفضاء الحر تحت ظروف وعوامل مختلفة.

8-1- خاتمة البحث :

تتمتع ليزرات أنصاف النواقل بالعديد من المزايا مثل التماسك والطول الموجي الأحادي إمكانية تعديلها مباشرة على ترددات عالية من خلال تعديل تيار القيادة حيث يتم تعديل خرج الديود الليزري بترددات تصل إلى عدة جيجاهرتز في اتصالات البيانات عالية السرعة، وبالتالي يكون مفيداً جداً لأغراض الاتصالات السلكية واللاسلكية ومنه فإن أهم المعاملات التي يجب دراستها وأخذها بعين الاعتبار لليزرات أنصاف النواقل والتي تحدد مدى كفاءتها في الاتصالات عبر الفضاء الحر وبالتالي مقاومتها للظروف الجوية والمناخية المختلفة (الثلج، الضباب، الغبار، المطر.....) هو معدل تحويل الاستطاعة الكهربائية المدخلة إلى استطاعة ضوئية والذي يعتبر معياراً أساسياً لعمل الديود الليزري بشكل جيد والمقياس المباشر لقدرة الليزر على القيام بذلك هو منحني الانحدار (L.I) والذي يشار إليه بـ $(\Delta P/\Delta I)$.

انطلاقاً مما سبق تم إنجاز منظومة اتصال مخبرية في مجال الاتصالات الضوئية المرئية والتي كانت بمثابة جهاز قياس لاختبار أداء المرسلات الليزرية مختلفة الأطوال

الموجيـــة حيث تـضمن الـعمل تـصميم وتنفيذ الدارات الـــعملية وانتقاء الإلـكترونيات الضوئية المناسبة مثل الخلية الفوتوفولتية (photovoltaic cell) كعنصر استقبال نظراً لعملها كاشف ومولد طاقة بنفس الوقت في أنظمة الاتصالات الضوئية المرئية، وتم التحكم في البارامترين المدروسين للمرسلات (استطاعة، تردد) من خلال المتحكم (Atmega 328p) وتم إظهار النتائج المخبرية في الحاسب من خلال (visual basic application) المضمنة في (EXCEL)، وجدنا أن عملية تصميم منظومة اتصال ليزري في الفضاء الحر تخضع للعديد من التحديات كان منها اختيار الكاشف الضوئي الملائم للمرسل الليزري وخاصة في حال تعدد المرسلات الليزرية على نفس الحامل حيث يجب أن يحقق الكاشف الضوئي المواصفات المناسبة من حيث المردود وسرعة الاستجابة المطلوبة وتحقيق خط النظر بين المرسل والمستقبل.

كما تم دراسة الوسيط الكفاءة الكمومية التفاضلية الخارجية لليزرات الثلاثة (الأحمر، البنفسجي، الأخضر) وأظهرت النتائج فروقات واضحة بين هذه المرسلات وفي المرحلة التالية من البحث تم استخدام مرشحات (N.D.F) بنسب تخميد مدروسة ومحددة بدقة كمكافئ للتخميد الناتج عن العوامل المناخية المختلفة وتم عرض نتائج واضحة للفروقات بين الأطوال الموجية الثلاث وبالتالي تحديد المرسل الليزري ذي الطول الموجي الأنسب في كل من الحالتين المدروستين.

8-2- التوصيات والمقترحات المستقبلية:

يمكن أن يكون هذا البحث وهذه المنظومة المخبرية نواة للقيام بعدة أبحاث علمية أخرى كما يمكن إدخال تعديلات في التصميم الهندسي المخبري لهذه المنظومة والاستفادة منها في إجراء تجارب مخبرية بما يلائم متطلبات الباحث كتضمين الموجة الضوئية بيانات رقمية على عدة أطوال موجية مختلفة والمقارنة بينها أو استخدام عدة كواشف بصرية أخرى لعدة أطوال موجية واستخلاص النتائج والمقارنة بين هذه الكواشف كما يمكن دراسة حساسية الكاشف البصري لعدة أطوال موجية وغيرها من الأبحاث الأخرى.

تتركز التطورات المستقبلية في تطوير تقنية الإضاءة بالليزر في الاتصالات الضوئية حيث تعتمد الاتصالات الضوئية المرئية (Visible Light Communication) اليوم على تقنية(Li – Fi) Light Fidelty التي تستخدم الضوء المرئي بدلاً من مصابيح (LED) لنقل البيانات في شكل ومضات سريع للغاية.

وتختلف هذه الطريقة عن التقنية المستخدمة في نظام نقل البيانات الشهير (Wi –Fi) والذي يعتمد على موجات الراديو، وتقوم فرق البحث العلمي بدراسة أنصاف النواقل المصنوعة من مركب نتريد إنديوم الغاليوم (InGaN) ومركب نيتريد الغاليوم (GaN) في الاتصالات الضوئية المرئية واستطاعو إثبات أن هذه الطريقة أسرع بـ 20 مرة من تقنية (Li – Fi) حيث يمكن لمصابيح (LED) توليد ضوء أبيض مناسب للإنارة وفي

نفس الوقت توفير الكثير من الطاقة مقارنة بالمصابيح التقليدية ولكن باستخدام الليزر فإننا نوفر المزيد من الطاقة فضلاً عن إمكانية إرسال البيانات بشكل أسرع.

المراجع

References

[1]. H. Henniger1, O. WILFERT, "An Introduction to Free-space Optical Communications", RADIOENGINEERING, VOL. 19, NO.2, 2010.

[2]. Https:// engineering.virginia.edu/faculty/maite-brandt-pearce-phd,Jul 26,2019.

[3]. Abdulsalam.G.A, K. S. Altowij, " Free Space Optical communications-theory and practices", contemporary issues in wireless communications, In Tech, 2014.

[4]. O.Boucher, H. Sizun, C. Boisrobert, F. de Fornel, P.-Noel Favennec, "Free Space Optical, Propagation and Communication", ISTE Ltd, 2006.

[5]. Stephen B.Alexander, " Optical Communication Receiver Design", SPIE-The International Society for Optical Engineering, Bellingham, Washington USA, 1997.

[6]. T. Garlington, M. J. Babbitt, G. Long, "Analysis of Free Space Optics as a Transmission", WP No. AMSEL-IE-TS-05001, 2005.

[7]. Steve Hranilovc, "Wireless Optical Communication SYSTEMS", Department of Electrical Computer Engineering, Canada 2005.

[8]. Cristina Masoller, "Laser Systems and Applications", University at Politècnicade Catalunya, 2016.

[9]. A.K. Majumdar, and J. C. Ricklin, "Free-Space Laser communications Principles and Advances", Springer, 2008.

[10]. Shaik, k. s., "Atmospheric propagation Effects Relevant to Optical Communication", TDA Progress Report, pp: 180 – 188, 1988.

[11]. Shettle E. P., "Models of Aerosols, Clouds, and Precipitation for Atmospheric Propagation Studies", in Atmospheric Propagation in the UV, Visible, IR, and MW wave Region and Related Systems Aspects, AGARD Conf. Proc. 454 (15), 1- 13 ، 1989.

[12]. Awan M. S., Brandl P., Leitgeb E., Nadeem F., Plank T. and Capsoni C., "Results of an Optical Wireless Ground Link Experiment in Continental Fog and Dry Conditions", 10th international conference on telecommunications, IEEE, pp.(45-49), 2009.

[13]. Kim, I. I., McArthur, B., Korevaar, E., "Comparison of laser beam propagation at 785 nm and 1550 nm in fog and haze for optical wireless communications," Proc. of SPIE, 4214, 2001, pp. 26-37.

[14]. Shaik, k. s., "Atmospheric propagation Effects Relevant to Optical Communication", TDA Progress Report, pp: 180 – 188, 1988.

[15]. Martin Grabner, Vaclav Kvicera, " Experimental Study of Atmospheric Visibility and Optical Wave Attenuation for Free space optics communication", Czech Science Foundation
project No. 102/08/0851.

[16]. Kruse, P., McGlauchlin, L., McQuistan, R., "Elements of Infrared Technology: Generation, transmission and detection". John Wiley & Sons, 1962.

[17]. Al Naboulsi, M., Sizun, H., de Fornel, F., "Fog attenuation prediction for optical and infrared waves," Journal of SPIE, Optical Engineering, 43, 2004, pp. 319-329.

[18]. Manor, H.. Arnon, Sh., "Performance of an optical wireless communication system as function of wavelength," Vol. 42 No. 21, Applied Optics, July 2003.

[19]. Achour, M., " Free-Space Optics Wavelength Selection: 10 μ versus", Ulm-Tech,(n.d).

[20]. Nadeem, F., Leitgeb, E., Awan, M. S., Kandus, G., "Optical Wavelengths Comparison for Different Weather Conditions", International Workshop on Satellite and Space
Communication (IWSSC), 2009.

[21]. Ali, M.A.A. and Mohammed, M.A., "Effect of atmospheric attenuation on laser communications for visible and infrared wavelengths". Journal of Al-Nahrain University, Vol.(16)3, septemper, pp: 133-140,2013.

[22]. Killinger K. D., Churnside J. H. and Rothman L. S., "Atmospheric Optics", Chap. 44 in OSA Handbook of Optics, pp. 44.1 – 44.50 ، OSA, 1995.

[23]. Pang, G., "Information technology based on visible LEDs for optical wireless communications, " In TENCON, IEEE Region 10 Conference: 395-398. doi: 10.1109/TENCON.2004.1414615, 2004.

[24]. Hu, G. y. and Chen, Z. Q., "Free-space optical communication using visible light, " Journal of Zhejiang University-SCIENCE A, vol. 8(2),pp.186-191 ، 2007.

[25]. Mohamad, N.R., Wakiran, A.A., Iswandi, M.F., Salleh, A.,Yunus, S.A.M.J., Sallehuddin, F., Azim, N.F. and Chachuli, S.A.M., "Development of Optical Wireless Audio System Using Infrared Light Communications, " IOSR-JECE, vol. 8(6), pp. 65-69, 2013.

[26]. Abdullah.A.Abdullah, Jassim.M.Najim, Akram.N.Mohameed., "New Modulation Method in Free Communication Using Different Wavelengths (650 ،532 ،405) nm in the Iraq Weather, " Iraq Journal of science, Vol. 59, No.1A, pp: 233-239, 2018.

[27]. xiongbin chen[1,2], chengyu Min[1], and Junging Guo[1], "Visible light Communication System Using Silicon Photocell for Energy Gathering and Data Receiving", Hindawi, International Journal of Optics,Volume 2017,Article ID 6207123,5 pages

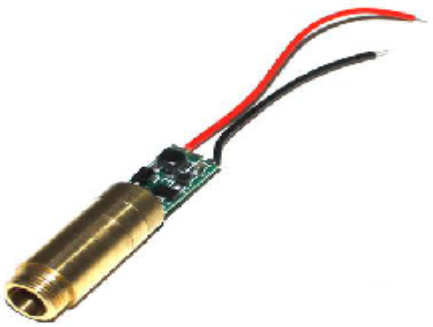
الملاحق

(1)

المرسل الليزري الأحمر

LASER MODULE 100mW RED

Model: 650nm Red color



Specifications:

Wavelength:	650nm	Size f the laser:	14x153cm
Output:	100mW	Life time:	>5000h
Working current:	1<250mA	Color of laser:	red
Working voltage:	DC=3V	Color of pen:	Black rubber paint
Working temperature:	0~+30	Range of the laser	Over 500-8000meters
Divergence angle:	0.8-1.2mrad	Batteries:	AAA*2pcs
Beam diameter:	1.5mm	Class:	IIIB

Fixed focus, green dot facula, continuous output, and working time over 8,000 hours

- Output wavelength: 650Nm
- Output power:,100mw
- Beam distance: 500 to 6000m
- Working voltage: 3.2V DC
- Trigger voltage: 2.8V DC
- Appearance and color: black
- Features: continuous wave
- Battery: 2 x AAA (included)
- Dimension: 14 x 160mm
- Net weight: 87g

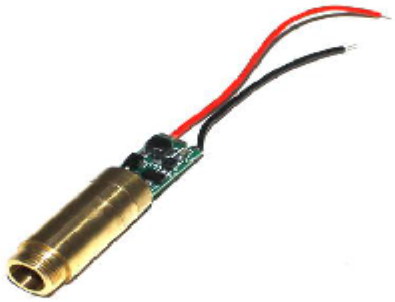
Made in China

(2)

المرسل الليزري الأخضر

LASER MODULE 50mW GREEN

Model: 532nm Green color



Specifications:

Wavelength:	532nm	Size f the laser:	14x153cm
Output:	50mW	Life time:	>5000h
Working current:	1<250mA	Color of laser:	Green
Working voltage:	DC=3V	Color of pen:	Black rubber paint
Working temperature:	0~+30	Range of the laser	Over 500-8000meters
Divergence angle:	0.8-1.2mrad	Batteries:	AAA*2pcs
Beam diameter:	1.5mm	Class:	IIIB

Fixed focus, green dot facula, continuous output, and working time over 8,000 hours

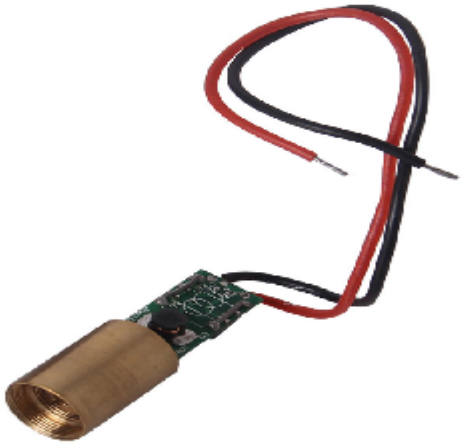
- Output wavelength: 532Nm
- Output power:50mw
- Beam distance: 500 to 6000m
- Working voltage: 3.2V DC
- Trigger voltage: 2.8V DC
- Appearance and color: black
- Features: continuous wave
- Battery: 2 x AAA (included)
- Dimension: 14 x 160mm
- Net weight: 87g

Made in China

(3)

المرسل الليزري البنفسجي

LASER MODULE 100mW VIOLET



Specifications:

Wavelength:	405nm	Size f the laser:	14x153cm
Output:	100mW	Life time:	>5000h
Working current:	1<250mA	Color of laser:	violet
Working voltage:	DC=3V	Color of pen:	Black rubber paint
Working temperature:	0~+30	Range of the laser	Over 500-8000meters
Divergence angle:	0.8-1.2mrad	Batteries:	AAA*2pcs
Beam diameter:	1.5mm	Class:	IIIB

Fixed focus, green dot facula, continuous output, and working time over 8,000 hours

- Output wavelength: 405Nm
- Output power:100mw
- Beam distance: 500 to 6000m
- Working voltage: 3.2V DC
- Trigger voltage: 2.8V DC
- Appearance and color: black
- Features: continuous wave
- Battery: 2 x AAA (included)
- Dimension: 14 x 160mm
- Net weight: 87g

Made in China

EKT Electronics Katrangi Trading
www.ekt2.com

(4)

المتحكم الدقيق (Atmega 328p)

Features

- High Performance, Low Power AVR® 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
  - 4/8/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory
  - 256/512/512/1K Bytes EEPROM
  - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM
  - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
  - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C(1)
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    - In-System Programming by On-chip Boot Program
    - True Read-While-Write Operation
  - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Six PWM Channels
  - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
    - Temperature Measurement
  - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
    - Temperature Measurement
  - Programmable Serial USART
  - Master/Slave SPI Serial Interface
  - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
  - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
  - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
  - 23 Programmable I/O Lines
  - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
  - 1.8 - 5.5V
- Temperature Range:
  - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
  - 0 - 4 MHz@1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz@2.7 - 5.5.V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V
- Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C
  - Active Mode: 0.2 mA
  - Power-down Mode: 0.1 µA
  - Power-save Mode: 0.75 µA (Including 32 kHz RTC)

8-bit AVR® Microcontroller with 4/8/16/32K Bytes In-System Programmable Flash

ATmega48A
ATmega48PA
ATmega88A
ATmega88PA
ATmega168A
ATmega168PA
ATmega328
ATmega328P

Summary

Rev. 8271BS–AVR–04/10

(5)

الدارة المتكاملة (LM317T)

LM317, NCV317

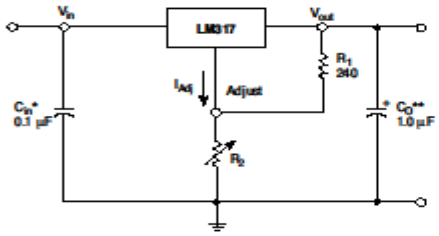
1.5 A Adjustable Output, Positive Voltage Regulator

The LM317 is an adjustable 3−terminal positive voltage regulator capable of supplying in excess of 1.5 A over an output voltage range of 1.2 V to 37 V. This voltage regulator is exceptionally easy to use and requires only two external resistors to set the output voltage. Further, it employs internal current limiting, thermal shutdown and safe area compensation, making it essentially blow−out proof.

The LM317 serves a wide variety of applications including local, on card regulation. This device can also be used to make a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the LM317 can be used as a precision current regulator.

Features

- Output Current in Excess of 1.5 A
- Output Adjustable between 1.2 V and 37 V
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting Constant with Temperature
- Output Transistor Safe−Area Compensation
- Floating Operation for High Voltage Applications
- Eliminates Stocking many Fixed Voltages
- Available in Surface Mount D^2PAK−3, and Standard 3−Lead Transistor Package
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Unique Site and Control Change Requirements; AEC−Q100 Qualified and PPAP Capable
- These are Pb−Free Devices



*C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
**C_O is not needed for stability, however, it does improve transient response.

$$V_{out} = 1.25\,V\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{Adj}R_2$$

Since I_{Adj} is controlled to less than 100 μA, the error associated with this term is negligible in most applications.

Figure 1. Standard Application

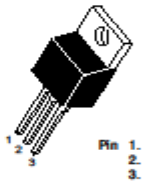
ON Semiconductor®

www.onsemi.com



D²PAK−3
D2T SUFFIX
CASE 936

Heatsink surface (shown as terminal 4 in case outline drawing) is connected to Pin 2.



TO−220
T SUFFIX
CASE 221AB

Pin 1. Adjust
2. V_{out}
3. V_{in}

Heatsink surface connected to Pin 2.

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 10 of this data sheet.

© Semiconductor Components Industries, LLC, 2018
May, 2018 − Rev. 15

Publication Order Number:
LM317/D

(6)

الدارة المتكاملة (ULN 2003A)

LM317, NCV317

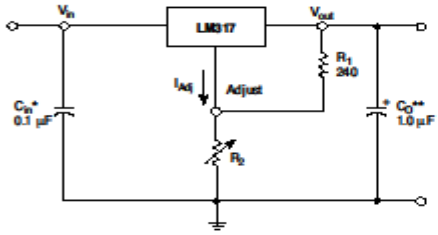
1.5 A Adjustable Output, Positive Voltage Regulator

The LM317 is an adjustable 3−terminal positive voltage regulator capable of supplying in excess of 1.5 A over an output voltage range of 1.2 V to 37 V. This voltage regulator is exceptionally easy to use and requires only two external resistors to set the output voltage. Further, it employs internal current limiting, thermal shutdown and safe area compensation, making it essentially blow−out proof.

The LM317 serves a wide variety of applications including local, on card regulation. This device can also be used to make a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the LM317 can be used as a precision current regulator.

Features

- Output Current in Excess of 1.5 A
- Output Adjustable between 1.2 V and 37 V
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting Constant with Temperature
- Output Transistor Safe−Area Compensation
- Floating Operation for High Voltage Applications
- Eliminates Stocking many Fixed Voltages
- Available in Surface Mount D^2PAK−3, and Standard 3−Lead Transistor Package
- NCV Prefix for Automotive and Other Applications Requiring Unique Site and Control Change Requirements; AEC−Q100 Qualified and PPAP Capable
- These are Pb−Free Devices



*C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
**C_O is not needed for stability, however, it does improve transient response.

$$V_{out} = 1.25\,V\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{Adj}R_2$$

Since I_{Adj} is controlled to less than 100 μA, the error associated with this term is negligible in most applications.

Figure 1. Standard Application

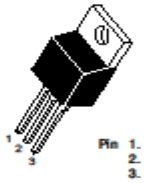
ON Semiconductor®

www.onsemi.com



D²PAK−3
D2T SUFFIX
CASE 936

Heatsink surface (shown as terminal 4 in case outline drawing) is connected to Pin 2.



TO−220
T SUFFIX
CASE 221AB

Pin 1. Adjust
2. V_{out}
3. V_{in}

Heatsink surface connected to Pin 2.

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 10 of this data sheet.

DEVICE MARKING INFORMATION

See general marking information in the device marking section on page 10 of this data sheet.

© Semiconductor Components Industries, LLC, 2018
May, 2018 − Rev. 15

Publication Order Number:
LM317/D

(7)

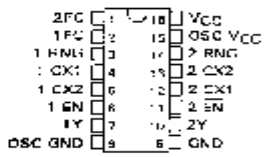
الدارة المتكاملة (VCO:74S124)

SN54S124, SN74S124
DUAL VOLTAGE-CONTROLLED OSCILLATORS

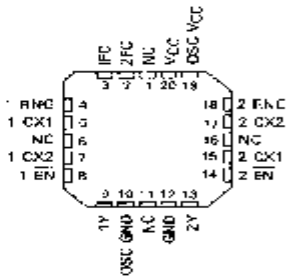
SDLS201

- Two Independent VCOs in a 16-Pin Package
- Output Frequency Set by Single External Component:
  Capacitor for Fixed- or Variable-Frequency Operation
- Separate Supply Voltage Pins for Isolation of Frequency Control Inputs and Oscillators from Output Circuitry
- Highly Stable Operation over Specified Temperature and/or Supply Voltage Ranges
- Typical f_{max} . . . . . 85 MHz
  Typical Power Dissipation . . . . . 525 mW
- Frequency Spectrum . . . 1 Hz to 60 MHz

SN54S124 . . . J OR W PACKAGE
SN74S124 . . . D OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



SN54S124 . . . FK PACKAGE
(TOP VIEW)



NC — No internal connection

description

The S124 features two independent voltage-controlled oscillators (VCO) in a single monolithic chip. The output frequency of each VCO is established by an external capacitor in combination with two voltage-sensitive inputs, one for frequency range and one for frequency control. These inputs can be used to vary the output frequency as shown under typical characteristics. These highly stable oscillators can be set to operate at any frequency typically between 0.12 hertz and 85 megahertz. Under the conditions used in Figure 1, the output frequency can be approximated as follows:

$$f_o = \frac{5 \times 10^{-2}}{C_{ext}}$$

where f_o = output frequency in hertz
C_{ext} = external capacitance in farads

logic

When the enable input is low, the output is enabled. While the enable input is high, the output is high.

These devices can operate from a single 5-volt supply. However, one set of supply-voltage and ground pins (V_{CC} and GND) is provided for the enable, synchronization-gating, and output sections, and a separate set ($\oplus V_{CC}$ and $\ominus$GND) is provided for the oscillator and associated frequency-control circuits so that effective isolation can be accomplished in the system.

The enable input of these devices shuts off or stops the output pulse when it is low or high, respectively. The internal oscillator of the 'S124 is started and stopped by the enable input. The enable input is one standard load, and the buffered output operates at standard Schottky-clamped TTL levels.

The pulse synchronization-gating section ensures that the first output pulse is neither clipped nor extended. Duty cycle of the square-wave output is fixed at approximately 50 percent.

The SN54S124 is characterized for operation over the full military temperature range of −55°C to 125°C; the SN74S124 is characterized for operation from 0°C to 70°C.

PRODUCTION DATA documents contain information current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

TEXAS INSTRUMENTS

(8)

الدارة المتكاملة (50% Duty Cycle:74S74N)

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR

September 1986
Revised July 2001

DM7474
Dual Positive-Edge-Triggered D-Type Flip-Flops with Preset, Clear and Complementary Outputs

General Description

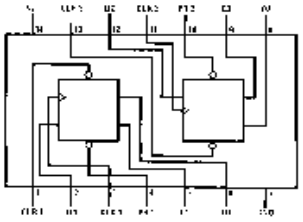
This device contains two independent positive-edge-triggered D-type flip-flops with complementary outputs. The information on the D input is accepted by the flip-flops on the positive going edge of the clock pulse. The triggering occurs at a voltage level and is not directly related to the transition time of the rising edge of the clock. The data on the D input may be changed while the clock is LOW or HIGH without affecting the outputs as long as the data setup and hold times are not violated. A LOW logic level on the preset or clear inputs will set or reset the outputs regardless of the logic levels of the other inputs.

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM7474M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
DM7474N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Function Table

Inputs				Outputs	
PR	CLR	CLK	D	Q	$\overline{Q}$
L	H	X	X	H	L
H	L	X	X	L	H
L	L	X	X	H (Note 1)	H (Note 1)
H	H	↑	H	H	L
H	H	↑	L	L	H
H	H	L	X	Q_0	$\overline{Q}_0$

H = HIGH Logic Level
X = Either LOW or HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level
↑ = Positive-going transition of the clock
Q_0 = The output logic level of Q before the indicated input conditions were established.

Note 1: This configuration is nonstable; that is, it will not persist when either the preset and/or clear inputs return to their inactive (HIGH) level.

DM7474 Dual Positive-Edge-Triggered D-Type Flip-Flops with Preset, Clear and Complementary Outputs

© 2001 Fairchild Semiconductor Corporation DS006526 www.fairchildsemi.com

(9)

الدارة المتكاملة (TC4428ACPA)

TelCom Semiconductor, Inc.

TC4426
TC4427
TC4428

1.5A DUAL HIGH-SPEED, POWER MOSFET DRIVERS

FEATURES

- **High Peak Output Current 1.5A**
- **Wide Operating Range ..... 4.5V to 18V**
- **High Capacitive Load Drive Capability ..... 1000 pF in 25 nsec**
- **Short Delay Time ..... <40nsec Typ**
- **Consistent Delay Times With Changes in Supply Voltage**
- **Low Supply Current**
  - **— With Logic "1" Input 4mA**
  - **— With Logic "0" Input 400µA**
- **Low Output Impedance 7Ω**
- **Latch-Up Protected: Will Withstand >0.5A Reverse Current ..... Down to – 5V**
- **Input Will Withstand Negative Inputs**
- **ESD Protected 4kV**
- **Pinout Same as TC426/TC427/TC428**

ORDERING INFORMATION

Part No.	Package	Temperature Range
TC4426COA	8-Pin SOIC	0°C to +70°C
TC4426CPA	8-Pin Plastic DIP	0°C to +70°C
TC4426EOA	8-Pin SOIC	– 40°C to +85°C
TC4426EPA	8-Pin Plastic DIP	– 40°C to +85°C
TC4426MJA	8-Pin CerDIP	– 55°C to +125°C
TC4427COA	8-Pin SOIC	0°C to +70°C
TC4427CPA	8-Pin Plastic DIP	0°C to +70°C
TC4427EOA	8-Pin SOIC	– 40°C to +85°C
TC4427EPA	8-Pin Plastic DIP	– 40°C to +85°C
TC4427MJA	8-Pin CerDIP	– 55°C to +125°C
TC4428COA	8-Pin SOIC	0°C to +70°C
TC4428CPA	8-Pin Plastic DIP	0°C to +70°C
TC4428EOA	8-Pin SOIC	– 40°C to +85°C
TC4428EPA	8-Pin Plastic DIP	– 40°C to +85°C
TC4428MJA	8-Pin CerDIP	– 55°C to +125°C

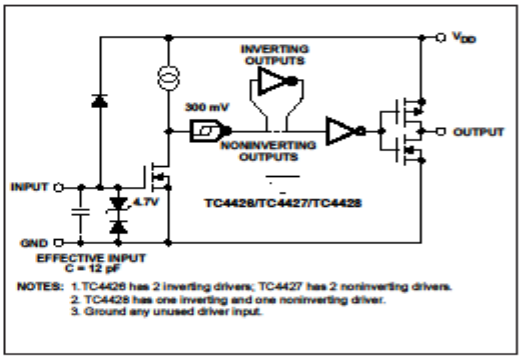
GENERAL DESCRIPTION

The TC4426/4427/4428 are improved versions of the earlier TC426/427/428 family of buffer/drivers (with which they are pin compatible). They will not latch up under any conditions within their power and voltage ratings. They are not subject to damage when up to 5V of noise spiking (of either polarity) occurs on the ground pin. They can accept, without damage or logic upset, up to 500mA of reverse current (of either polarity) being forced back into their outputs. All terminals are fully protected against up to 4kV of electrostatic discharge.

As MOSFET drivers, the TC4426/4427/4428 can easily switch 1000 pF gate capacitances in under 30nsec, and provide low enough impedances in both the ON and OFF states to ensure the MOSFET's intended state will not be affected, even by large transients.

Other compatible drivers are the TC4426A/27A/28A. These drivers have matched input to output leading edge and falling edge delays, tD1 and tD2, for processing short duration pulses in the 25 nanoseconds range. They are pin compatible with the TC4426/27/28.

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



NOTES: 1. TC4426 has 2 inverting drivers; TC4427 has 2 noninverting drivers.
2. TC4428 has one inverting and one noninverting driver.
3. Ground any unused driver input.

4

(10)

الدارة المتكاملة (ICL 7611 amplifier)

19-0942; Rev 3; 5/10

MAXIM

Single/Dual/Triple/Quad Operational Amplifiers

ICL761X-ICL764X

General Description

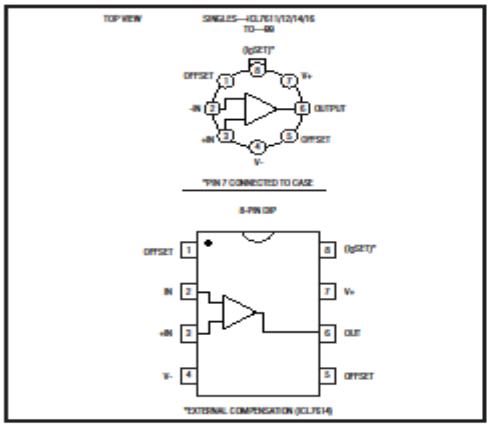
The ICL761X–ICL764X family of monolithic CMOS op amps combine ultra-low input current with low-power operation over a wide supply voltage range. With pin-selectable quiescent currents of 10µA, 100µA, or 1000µA per amplifier, these op amps will operate from ±1V to ±8V power supplies, or from single supplies from 2V to 16V. The CMOS outputs swing to within millivolts of the supply voltages.

The ultra-low bias current of 1pA makes this family of op amps ideal for long time constant integrators, picoammeters, low droop rate sample/hold amplifiers and other applications where input bias and offset currents are critical. A low noise current of 0.01pA/√Hz and an input impedance of $10^{12}\Omega$ ensure optimum performance with very high source impedances in such applications as pH meters and photodiode amplifiers.

Applications

Battery-Powered Instruments
Low-Leakage Amplifiers
Long-Time Constant Integrators
Low-Frequency Active Filters
Hearing Aids and Microphone Amplifiers
Low Droop Rate Sample/Hold Amplifiers
Picoammeters

Pin Configuration



Features

- **Pin-for-Pin Second Source**
- **1pA Typical Bias Current—4nA (max) at +125°C**
- **±1V to ±8V Wide Supply Voltage Range**
- **Industry-Standard Pinouts**
- **Programmable Quiescent Currents of 10µA, 100µA, and 1000µA**
- **Monolithic, Low-Power CMOS Design**

Ordering Information

ICL76XX	M	N	OP
	V_{OS} SELECTION	TEMP RANGE	PKG CODE
	A – 2mV	C – 0°C to 70°C	TV– 8-Pin TO-99
	B – 5mV	E – -40°C to +85°C	PA – 8-Pin Plastic Dip
	C – 10mV	M – -55°C to +125°C	SA – 8-Pin Small SO
	D – 15mV		JD – 14-Pin CERDIP
	E – 20mV		PD – 14-Pin Plastic Dip
			SD – 14-Pin Small SO
			JE – 16-Pin CERDIP
			PE – 16-Pin Plastic Dip
			SE – 16-Pin Small SO
			WE – 16-Pin Wide SO

Typical Operating Circuit appears at end of data sheet.

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at www.maxim-ic.com.

(11)

الرماز البرمجي (VBA)

'Button Routines

'==========

==========

```
Sub ButtonOpen_Click()
   Dim intPortID As Integer ' Ex. 1 ، 2 ، 3 ، 4 for COM1 - COM4
   Dim lngStatus As Long
   Dim strData As String
   intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
   ' Open COM port
   lngStatus = CommOpen(intPortID ، "COM" & CStr(intPortID) ، _
   "baud=9600 parity=N data=8 stop=1")
   Sleep 2000
   intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
   strData = CStr(Cells(5 ، 14)) + ("p")
   lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
   Sleep 1000
   strData = CStr(Cells(7 ، 14)) + ("f")
   lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
   Sheet1.Cells(3 ، 14) = intPortID
   Range("N3").Select
   With Selection.Interior
     .Pattern = xlSolid
     .PatternColorIndex = xlAutomatic
     .Color = 5287936
     .TintAndShade = 0
     .PatternTintAndShade = 0
   End With
```

```
    Call oxr: oxg: oxb: oxrf: oxgf: oxbf
    Range("N5").Activate
End Sub
Sub ButtonR_Click()
    Dim intPortID As Integer ' Ex. 1 ، 2 ، 3 ، 4 for COM1 - COM4
    Dim lngStatus As Long
    Dim strData   As String
    Dim strDataR   As String
    Dim valueR   As Integer
    Dim i As Integer
    Dim c As Integer
    Dim re As Integer
    Dim log As Integer
    c = 1
    i = 12
    log = 200
    For re = 8 To 13
    intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    strData = CStr(re) + ("p")
    Sheet1.Cells(5 ، 14) = (re - 5) * 10
    Sleep 1000
   'Writa data
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    strData = CStr("R")
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Sleep 2000
    strData = CStr("rv")
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Sleep 2000
    strDataR = ""
    lngStatus = CommRead(intPortID ، strDataR ، 10)
    Sheet1.Cells(i ، c).Select
    ActiveCell = Round((val(strDataR + Chr(13)) / log) / 1.4 ، 1)
    Application.Speech.Speak "Red " + CStr(Sheet1.Cells(i ، c))
```

```
    strData = CStr("Ro")
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Beep
    i = i + 1
    log = log / 2
    Sheet1.Cells(i ، c).Select
    If i > 50 Then GoTo 10
   Next re
10
   Application.Speech.Speak "End Red"
End Sub
Sub ButtonG_Click()
    Dim intPortID As Integer ' Ex. 1 ، 2 ، 3 ، 4 for COM1 - COM4
    Dim lngStatus As Long
    Dim strData   As String
    Dim strDataR   As String
    Dim i As Integer
    Dim c As Integer
    Dim re As Integer
    Dim log As Integer
    c = 6
    i = 12
    log = 540
    For re = 8 To 13
    intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    strData = CStr(re) + ("p")
    Sheet1.Cells(5 ، 14) = (re - 5) * 10
    Sleep 1000
   'Writa data
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    strData = CStr("G")
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Sleep 2500
    strData = CStr("gv")
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
```

```
   Sleep 3000
   strDataR = ""
   lngStatus = CommRead(intPortID ، strDataR ، 10)
   Sheet1.Cells(i ، c).Select
   ActiveCell = Round((val(strDataR + Chr(13)) / log) / 1.4 ، 1)
   Application.Speech.Speak "Green " + CStr(Sheet1.Cells(i ، c))
   'Sleep 500
   strData = CStr("Go")
   lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
   Beep
   i = i + 1
   log = log / 2
   Sheet1.Cells(i ، c).Select
   If i > 50 Then GoTo 10
   Next re
10
  Application.Speech.Speak "End Green"
End Sub
Sub ButtonB_Click()
  Dim intPortID As Integer ' Ex. 1 ، 2 ، 3 ، 4 for COM1 - COM4
   Dim lngStatus As Long
   Dim strData   As String
   Dim strDataR   As String
   Dim i As Integer
   Dim c As Integer
   Dim re As Integer
   Dim log As Integer
   c = 11
   i = 12
   log = 204
   For re = 8 To 13
   intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
   strData = CStr(re) + ("p")
   Sheet1.Cells(5 ، 14) = (re - 5) * 10
   Sleep 1000
  'Writa data
```

```
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    strData = CStr("B")
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Sleep 2000
    strData = CStr("bv")
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Sleep 2000
    strDataR = ""
    lngStatus = CommRead(intPortID ، strDataR ، 10)
    Sheet1.Cells(i ، c).Select
    ActiveCell = Round((val(strDataR + Chr(13)) / log) / 1.4 ، 1)
    Application.Speech.Speak "Blue " + CStr(Sheet1.Cells(i ، c))
    'Sleep 500
    strData = CStr("Bo")
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Beep
    i = i + 1
    log = log / 2
    Sheet1.Cells(i ، c).Select
    If i > 50 Then GoTo 10
   Next re
10
  Application.Speech.Speak "End Blue"
End Sub
Sub ButtonRF_Click()
  Dim intPortID As Integer ' Ex. 1 ، 2 ، 3 ، 4 for COM1 - COM4
    Dim lngStatus As Long
    Dim strData   As String
    Dim strDataR   As String
    Dim valueR   As Integer
    Dim i As Integer
    Dim c As Integer
    Dim re As Integer
    Dim log As Integer
```

```
   log = 6
   c = 1
   i = 41
   For re = 6 To 15
   intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
   strData = CStr(re) + ("f")
   Sheet1.Cells(7 ، 14) = (re - 5) * 6 / 10
   Sleep 1000
  'Writa data
   lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
   intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
   strData = CStr("R")
   lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
   Sleep 2500
   strData = CStr("rv")
   lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
   Sleep 2000
   strDataR = ""
   lngStatus = CommRead(intPortID ، strDataR ، 10)
   Sheet1.Cells(i ، c).Select
   ActiveCell = Round((val(strDataR + Chr(13)) / log) / 1.4 ، 1)
   Application.Speech.Speak "Red " + CStr(Sheet1.Cells(i ، c))
   'Sleep 500
   strData = CStr("Ro")
   lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
   Beep
   i = i + 1
   'log = log / 2
   Sheet1.Cells(i ، c).Select
   If i > 50 Then GoTo 10
  Next re
10
   Application.Speech.Speak "End Red"
End Sub
```

```
Sub ButtonGF_Click()
    Dim intPortID As Integer ' Ex. 1 ، 2 ، 3 ، 4 for COM1 - COM4
    Dim lngStatus As Long
    Dim strData   As String
    Dim strDataR   As String
    Dim valueR   As Integer
    Dim i As Integer
    Dim c As Integer
    Dim re As Integer
    Dim log As Integer
    log = 16.8
    c = 6
    i = 41
    For re = 6 To 15
    intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    strData = CStr(re) + ("f")
    Sheet1.Cells(7 ، 14) = (re - 5) * 6 / 10
    Sleep 1000
   'Writa data
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    strData = CStr("G")
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Sleep 3000
    strData = CStr("gv")
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Sleep 3000
    strDataR = ""
    lngStatus = CommRead(intPortID ، strDataR ، 10)
    Sheet1.Cells(i ، c).Select
    ActiveCell = Round((val(strDataR + Chr(13)) / log) / 1.4 ، 1)
    Application.Speech.Speak "Green " + CStr(Sheet1.Cells(i ، c))
    'Sleep 500
    strData = CStr("Go")
```

```
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Beep
    i = i + 1
    Sheet1.Cells(i ، c).Select
    If i > 50 Then GoTo 10
   Next re
10
   Application.Speech.Speak "End Green"
End Sub
Sub ButtonBF_Click()
    Dim intPortID As Integer ' Ex. 1 ، 2 ، 3 ، 4 for COM1 - COM4
    Dim lngStatus As Long
    Dim strData   As String
    Dim strDataR   As String
    Dim valueR   As Integer
    Dim i As Integer
    Dim c As Integer
    Dim re As Integer
    Dim log As Integer
    c = 11
    i = 41
    log = 6.37
    For re = 6 To 15
    intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    strData = CStr(re) + ("f")
    Sheet1.Cells(7 ، 14) = (re - 5) * 6 / 10
    Sleep 1000
   'Writa data
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    strData = CStr("B")
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Sleep 2000
    strData = CStr("bv")
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Sleep 2000
```

```
    strDataR = ""
    lngStatus = CommRead(intPortID ، strDataR ، 10)
    Sheet1.Cells(i ، c).Select
    ActiveCell = Round((val(strDataR + Chr(13)) / log) / 1.4 ، 1)
    Application.Speech.Speak "Blue " + CStr(Sheet1.Cells(i ، c))
    'Sleep 500
    strData = CStr("Bo")
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Beep
    i = i + 1
    Sheet1.Cells(i ، c).Select
    If i > 50 Then GoTo 10
  Next re
10
  Application.Speech.Speak "End Blue"
End Sub
Sub ButtonClose_Click()
  Dim intPortID As Integer ' Ex. 1 ، 2 ، 3 ، 4 for COM1 - COM4
    intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    Call CommClose(intPortID)
    Sleep 1000
  Range("N3").Select
    With Selection.Interior
      .Pattern = xlSolid
      .PatternColorIndex = xlAutomatic
      .ThemeColor = xlThemeColorLight1
      .TintAndShade = 0
      .PatternTintAndShade = 0
    End With
    Sheet1.Cells(3 ، 14) = ("")
End Sub
Sub ButtonPower_Click()
    Dim intPortID As Integer ' Ex. 1 ، 2 ، 3 ، 4 for COM1 - COM4
    Dim lngStatus As Long
    Dim strData   As String
```

```
    intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    strData = CStr(Cells(5 ، 14) / 10 + 5) + ("p")
    Sheet1.Cells(4 ، 3) = strData
   'Writa data
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
End Sub
Sub ButtonFrq_Click()
    Dim intPortID As Integer ' Ex. 1 ، 2 ، 3 ، 4 for COM1 - COM4
    Dim lngStatus As Long
    Dim strData   As String
    intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    strData = CStr(Cells(7 ، 14) / 0.6 + 5) + ("f")
    Sheet1.Cells(5 ، 3) = strData
   'Writa data
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
End Sub
Sub ButtonRGBs_Click()
    Dim intPortID As Integer ' Ex. 1 ، 2 ، 3 ، 4 for COM1 - COM4
    Dim lngStatus As Long
    Dim strData   As String
    Dim y As Integer
    intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    strData = CStr("6f10p")
   'Writa data
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    'For y = 0 To 3
    Sleep 1000
    strData = CStr("R")
     lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Sleep 1000
    strData = CStr("Ro")
     lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
   Sleep 1000
```

```
    strData = CStr("G")
     lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Sleep 1000
    strData = CStr("Go")
     lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
     Sleep 1000
    strData = CStr("B")
     lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Sleep 1000
    strData = CStr("Bo")
     lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
End Sub
Sub ButtonRGBo_Click()
    Dim intPortID As Integer ' Ex. 1 ، 2 ، 3 ، 4 for COM1 - COM4
    Dim lngStatus As Long
    Dim strData   As String
    intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    strData = CStr("RoGoBo")
   'Writa data
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
End Sub
Sub ButtonRtest_Click()
    Dim intPortID As Integer ' Ex. 1 ، 2 ، 3 ، 4 for COM1 - COM4
    Dim lngStatus As Long
    Dim strData   As String
    Dim y As Integer
    intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
  strData = CStr(Cells(5 ، 14) / 10 + 5) + ("p")
    Sheet1.Cells(4 ، 3) = strData
   'Writa data
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
     intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    strData = CStr(Cells(7 ، 14) / 6 + 5) + ("f")
```

```
    Sheet1.Cells(5 ، 3) = strData
   'Writa data
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    'For y = 0 To 3
    Sleep 1000
    strData = CStr("R")
     lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Sleep 3000
    strData = CStr("Ro")
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
End Sub
Sub ButtonGtest_Click()
    Dim intPortID As Integer ' Ex. 1 ، 2 ، 3 ، 4 for COM1 - COM4
    Dim lngStatus As Long
    Dim strData   As String
    Dim y As Integer
     intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
  strData = CStr(Cells(5 ، 14) / 10 + 5) + ("p")
    Sheet1.Cells(4 ، 3) = strData
   'Writa data
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
     intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    strData = CStr(Cells(7 ، 14) / 6 + 5) + ("f")
    Sheet1.Cells(5 ، 3) = strData
   'Writa data
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    'For y = 0 To 3
    Sleep 1000
    strData = CStr("G")
     lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Sleep 3000
    strData = CStr("Go")
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
```

```
End Sub
Sub ButtonBtest_Click()
    Dim intPortID As Integer ' Ex. 1 ، 2 ، 3 ، 4 for COM1 - COM4
    Dim lngStatus As Long
    Dim strData   As String
    Dim y As Integer
 intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
  strData = CStr(Cells(5 ، 14) / 10 + 5) + ("p")
    Sheet1.Cells(4 ، 3) = strData
   'Writa data
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
     intPortID = Sheet1.Cells(2 ، 14)
    strData = CStr(Cells(7 ، 14) / 6 + 5) + ("f")
    Sheet1.Cells(5 ، 3) = strData
   'Writa data
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    'For y = 0 To 3
    Sleep 1000
    strData = CStr("B")
     lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
    Sleep 3000
    strData = CStr("Bo")
    lngStatus = CommWrite(intPortID ، strData)
End Sub
```

(12)

الرماز البرمجي(AVR)

```
/*R=red laser on
G=green laser on
B=blue laser on
rv=red laser value
gv=green laser value
bv=blue laser value
Ro=red laser off
Go=green laser off
Bo=blue laser off
*/
String incoming = "";
String input ، output;
char in;
const int analogInPin = A5;
int sensorRead;
int red;
int sensorValue;
int sensorMin = 0;
int levelsend = 0;
void setup() {
Serial.begin(9600);
pinMode(2 ،OUTPUT);
pinMode(3 ،OUTPUT);
pinMode(4 ،OUTPUT);
  DDRB = B1111;
DDRB = DDRB | B1111;
DDRC = B1111;
DDRC = DDRC | B1111;
sensorValue = analogRead(analogInPin);
sensorRead = analogRead(analogInPin);
}
void loop(){
```

```
    while(Serial.available() > 0 ){
   String str = Serial.readString();
levelsend = analogRead(analogInPin);
sensorRead = analogRead(analogInPin);
levelsend = sensorRead - sensorValue;
red=Serial.read();
if (str.indexOf("R") > -1)
  {
digitalWrite(2 ،HIGH);
delay(100);
}
if (str.indexOf("rv") > -1)
  {
delay(100);
 Serial.println(levelsend);
}
  if (str.indexOf("G") > -1){
digitalWrite(3 ،HIGH);
delay(100);
  }
if (str.indexOf("gv") > -1)
  {
 Serial.println(levelsend);
   }
   if (str.indexOf("B") > -1){
 digitalWrite(4 ،HIGH);
delay(100);}
if (str.indexOf("bv") > -1)
  {
 Serial.println(levelsend);
}
if (str.indexOf("Ro") > -1){
 digitalWrite(2 ،LOW);
levelsend = sensorRead - sensorValue;
}
if (str.indexOf("Go") > -1){
 digitalWrite(3 ،LOW);
```

```
}
if (str.indexOf("Bo") > -1)
{
 digitalWrite(4 ،LOW);
}
if (str.indexOf("0f") > -1){
 PORTB = 15;
}
if (str.indexOf("1f") > -1){
  PORTB = 14;
}
if (str.indexOf("2f") > -1){
  PORTB = 13;
}
if (str.indexOf("3f") > -1)
{
    PORTB= 12;
}if (str.indexOf("4f") > -1)
{
   PORTB = 11;
}
if (str.indexOf("5f") > -1)
{
   PORTB = 10;
}if (str.indexOf("6f") > -1)
 {
    PORTB = 9;
}
if (str.indexOf("7f") > -1)
{
    PORTB = 8;
  }
  if (str.indexOf("8f") > -1)
{
    PORTB = 7;
  }
  if (str.indexOf("9f") > -1)
{
    PORTB = 6;
```

```
  }
     if (str.indexOf("10f") > -1)
{
    PORTB = 5;
  }
  if (str.indexOf("11f") > -1)
{
    PORTB = 4;
  }
  if (str.indexOf("12f") > -1)
{
    PORTB = 3;
  }
  if (str.indexOf("13f") > -1)
{
    PORTB = 2;
  }
  if (str.indexOf("14f") > -1)
{
    PORTB = 1;
  }
  if (str.indexOf("15f") > -1)
{
    PORTB = 0;
  }
if (str.indexOf("0p") > -1){
 PORTC = 15;
}
if (str.indexOf("1p") > -1){
  PORTC = 14;
}
if (str.indexOf("2p") > -1){
  PORTC = 13;
}
if (str.indexOf("3p") > -1)
{
    PORTC= 12;
}if (str.indexOf("4p") > -1)
{
   PORTC = 11;
```

```
}if (str.indexOf("5p") > -1)
{
   PORTC = 10;
}if (str.indexOf("6p") > -1)
 {
    PORTC = 9;
}
if (str.indexOf("7p") > -1)
{
    PORTC = 8;
  }
  if (str.indexOf("8p") > -1)
{
    PORTC = 7;
  }
  if (str.indexOf("9p") > -1)
{
    PORTC = 6;
  }
     if (str.indexOf("10p") > -1)
{     PORTC = 5; }
  if (str.indexOf("11p") > -1)
{
    PORTC = 4;
  }
  if (str.indexOf("12p") > -1)
{
    PORTC = 3;
  }
  if (str.indexOf("13p") > -1)
{
    PORTC = 2;
  }
  if (str.indexOf("14p") > -1)
{
    PORTC = 1;
  }
  if (str.indexOf("15p") > -1)
{
    PORTC = 0;
```

```
  }
 }
}
```

Abstract

The properties of the laser light, in particular, the narrow spectral width (great accuracy in the wavelength), and the propagation within a narrow beam for it to transmit data to long distances, and thus the choice of the laser transmitter plays an important and fundamental role in The design of free-space optical systems because it determines the length of the working wavelength, and also usually determines the type of modification used.

Therefore, it determines the type of photodetector and the modification detection mechanism used by the receiver.

In this research, we have laboratory representations of some of the factors affecting the laser signal in free space and extract results from this study in choosing the laser transmitter with the most suitable wavelength from among several laser transmitters, where these factors were rewarded (scattering, atmospheric turbulence, loss of orientation, beam divergence ... ...) which attenuates (damping) the laser signal by means of a group of optical dampers (N.D.F.intensity filters) to dampen the laser rays after we designed and implemented a laboratory communication system with three wavelengths: (532 nm, 650nm, 405nm), the study of the efficiency of the laser transmitter and the ability of the laser to send as much information as possible to these transmitters of different wavelengths, and then determine the most suitable and stable transmitter based on the laboratory results and the graphs.

Key words: Laser communications, Visible wavelength, Modulation techniques, Free space, Quantum efficiency.

Syrian Arab Republic

Damascus University

Higher Institute for Laser Research and Applications

Department of physics and Laser Technology

Evaluation in Laboratory of wavelength change in free space optical

A dissertation Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Laser Research and Applications

By

Modar Dayoub

Supervisor **Dr.Eng.Imad Asaad**

CO – Supervisor **Dr. Mohammed Saaed Marouf**

Academic Year

2020-2021