



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي
-سكيكدة-



قسم التكنولوجيا

التخصص: هندسة كهربائية

مذكرة التخرج لنيل شهادة أستاذ التعليم الثانوي

بعنوان:

دراسة نظرية و تطبيقية لجهاز الأشعة فوق البنفسجية المستعمل في
الدوائر المطبوعة

من إعداد الطلبة:

زعير فرحات

شعيب عبدالله

تحت إشراف الأستاذ: د.مريان إبراهيم.

اللجنة المناقشة:

د. كحيل جمال	أستاذ محاضر-أ-	رئيسا	م.ع.أ.ت.ت - سكيكدة -
د. مريان إبراهيم	أستاذ محاضر-ب-	مشرفا	م.ع.أ.ت.ت - سكيكدة -
د. بوزناد خالد	أستاذ محاضر-ب-	مناقشا	م.ع.أ.ت.ت - سكيكدة -

السنة الجامعية 2024/2025



شكر و عرفان

نحمد الله عزّ وجلّ ونشكره شكراً كثيراً على نعمه التي لا تُعد ولا تُحصى،

امتثالاً لقوله تعالى: { لَئِن شَكَرْتُمْ لَأَزِيدَنَّكُمْ } (إبراهيم الآية 7)

نتقدّم بجزيل الشكر والعرفان إلى كل من قدّم لنا يد العون والمساندة في إنجاز هذا العمل،

وفي مقدّمتهم الأستاذ المشرف **الدكتور مريان براهيم**

الذي لم يبخل علينا بتوجيهاته ونصائحه القيّمة.

كما نثمن جهود كل من ساهم في تكويننا العلمي والمعرفي، من معلمي المرحلة الابتدائية إلى أساتذة

المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي بعزابة.

وفي الختام، نضع هذا العمل بين أيدي لجنة المناقشة الموقّرة، راجين أن ينال اهتمامهم، وممتنين

لملاحظاتهم وتوجيهاتهم البتّاءة.

الإهداء

أهدي ثمرة جهدي التي طالما تمنيت إهداءها وتقديمها في أجمل طبق إلى أعز مايملك المرء في حياته إلى الكوكبين اللذين أضاءا دربي إلى من قال فهما
الرحمان " وَقُلْ رَبِّ إِزْحَمُهُمَا كَمَا رَبَّيَانِي صَغِيرًا "

أمي قرة عيني وأبي قدوتي في حياتي

إلى من ترعرعت بينهم وتقامست معهم السراء والضراء فلا نص ينصفهم ولا
اقتباس يكفي للحديث عنهم، إلى المحبة التي لا تفتى والخير بلا حدود، من أفر بهم ما
حييت كل باسمه ومقامه

إخوتي الأعماء حماهم الله

إلى رفقاء دربي وإلى كل من تشاركنا الطريق معا، إلى الذين كانوا يقدمون الدعم
النفسي، إلى الذين كانوا بمثابة إخوتي

أصدقائي وأحبائي

الإهداء

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، الحمد لله عدد ما خلق من ذرات، وما نشر من
كواكب ومجرات. أحمده تعالى أن وفقني لإنجاز هذا العمل بعد جهدٍ ومثابرة، وأسأله
أن يجعله خالصًا لوجهه الكريم. وصلى الله وسلم وبارك على سيدنا محمد
خير من علم وهدى.

أهدي هذا العمل المتواضع إلى:

والدري العريين

رحم الله من رحل منهما وحفظ من بقي، جزاهما الله عني كل خير على دعمهما المعنوي
والمادي، وتشجيعهما الدائم، وتضحياتهما الغالية التي لا تُقدّر بثمن.

لى إخوتي وإخواتي

لى عائلتي الكريمة

لى كل صدقاني

وإلى أساتذتي الكرام الذين رافقوني بعلمهم وتوجيههم.

زعير فرحات

ملخص

تهدف هذه المذكرة إلى دراسة نظرية وتطبيقية لجهاز يعتمد على الأشعة فوق البنفسجية يُستخدم في إنجاز الدوائر المطبوعة. تم التركيز في الجانب النظري على الطيف الكهرومغناطيسي وخصائص الأشعة فوق البنفسجية، تصنيفاتها، تفاعلها مع المواد الحساسة للضوء، وتطبيقاتها الصناعية، خاصة في مجال الإلكترونيات الدقيقة، بالإضافة إلى أهم العناصر الإلكترونية المستعملة في المشروع. أما الجانب التطبيقي فشمّل وضع تصميم عام للجهاز مع محاكاة مراحل العمل بالاعتماد على برنامج Proteus، ثم انتقلنا إلى إنجاز جهاز عملي بالاعتماد على المؤقتة NE555 وتقنيات تحكم تناظرية. توصلنا في النهاية إلى نظام عملي قادر على إنتاج دارات مطبوعة بدقة مقبولة وبتكلفة منخفضة، مما يجعله مناسباً للمخابر التعليمية أو الاستخدامات الشخصية.

الكلمات المفتاحية: الأشعة فوق البنفسجية، الدارات المطبوعة، التعريض الضوئي، المؤقت NE555، الحفر الكيميائي، التحكم في عرض النبضة.

Abstract

This thesis aims to provide both a theoretical and practical study of a device based on ultraviolet (UV) radiation used in the production of printed circuit boards (PCBs). The theoretical part focuses on the electromagnetic spectrum and the properties of ultraviolet radiation, its classifications, interactions with photosensitive materials, and industrial applications particularly in the field of microelectronics alongside an overview of the main electronic components used in the project.

The practical part involves the development of a general design for the device, simulating its operational stages using Proteus software, followed by the construction of a functional prototype based on the NE555 timer and analog control techniques.

Ultimately, we arrived at a functional system capable of producing printed circuits with acceptable precision and low cost, making it suitable for educational laboratories or personal use.

Keywords: Ultraviolet radiation, printed circuit boards, UV exposure, NE555 timer, chemical etching, pulse width control.

.

Résumé

Cette mémoire vise à réaliser une étude théorique et pratique d'un dispositif basé sur les rayons ultraviolets (UV), utilisé dans la fabrication des circuits imprimés (PCB). La partie théorique met l'accent sur le spectre électromagnétique et les propriétés des rayons UV, leurs classifications, leur interaction avec les matériaux photosensibles ainsi que leurs applications industrielles, notamment dans le domaine de la microélectronique. Elle inclut également une présentation des principaux composants électroniques utilisés dans le projet.

La partie pratique comprend l'élaboration d'un schéma général du dispositif avec simulation des différentes étapes de fonctionnement à l'aide du logiciel Proteus, suivie de la réalisation d'un prototype fonctionnel basé sur le temporisateur NE555 et des techniques de commande analogique.

En conclusion, nous avons abouti à un système opérationnel capable de produire des circuits imprimés avec une précision acceptable et à faible coût, ce qui le rend adapté aux laboratoires éducatifs ou à une utilisation personnelle.

Mots-clés : Rayonnement ultraviolet, circuits imprimés, exposition UV, temporisateur NE555, gravure chimique, commande de largeur d'impulsion.

الصفحة	العنوان	الترميز
1	مقدمة عامة	
الفصل الأول: الطيف الكهرومغناطيسي		
4	مقدمة	
4	تعريف الطيف الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Spectrum)	1.1
5	تعريف الموجات	2.1
5	الموجات الميكانيكية	1.2.1
5	الموجات الكهرومغناطيسية	2.2.1
7	مناطق الطيف الكهرومغناطيسي	3.1
7	موجات الراديو	1.3.1
9	موجات الميكروويف	2.3.1
10	الأشعة تحت الحمراء (infrared)	3.3.1
12	الأشعة المرئية	4.3.1
14	الأشعة فوق البنفسجية	5.3.1
15	الأشعة السينية (X-Rays)	6.3.1
17	أشعة جاما	7.3.1
19	الأشعة فوق البنفسجية (ULTRAVIOLET WAVES (UV)	4.1
20	تصنيف الأشعة فوق البنفسجية	1.4.1
21	الخصائص الفيزيائية والتقنية للأشعة فوق البنفسجية	2.4.1
22	مصادر الأشعة فوق البنفسجية	3.4.1
27	التطبيقات الصناعية للأشعة فوق البنفسجية	5.1
27	الإستخدامات العامة	1.5.1
31	التطبيقات في صناعة الدوائر المطبوعة	1.5.1
31	المبادئ الأساسية للطباعة الضوئية	2.5.1
33	مراحل الطباعة الضوئية	3.5.1
36	المخاطر الصحية والاحتياطات الواجب اتخاذها	6.1
36	تأثير الأشعة فوق البنفسجية على الإنسان	1.6.1

37	الأجهزة الواقية والتوصيات الدولية في الاستخدام الصناعي	2.6.1
37	خاتمة	
الفصل الثاني: العناصر الإلكترونية		
39	مقدمة	
40	التغذية المستقرة	1.2
41	مرحلة تخفيض الجهد	1.1.2
43	مرحلة التقويم	2.1.2
44	مرحلة الترشيح	3.1.2
45	مرحلة التثبيت	4.1.2
46	المقاومة المتغيرة	2.2
47	المقفل	3.2
47	مستقيم الحمولة وأنماط التشغيل	1.3.2
48	استعمالات المقفل	2.3.2
49	المرحل	4.2
50	البنية الداخلية للمرحل	1.4.2
50	أنواع المرحلات	2.4.2
51	الدوائر المندمجة	5.2
51	المكونات الخارجية للدوائر المندمجة	1.5.2
51	أنواع الدوائر المندمجة	2.5.2
52	المضخم العملي	6.2
53	توصيل أطراف المضخم العملي	1.6.2
53	استعمالات المضخم العملي	2.6.2
54	الدارة المندمجة NE555	7.2
56	أنماط عمل الدارة NE555	1.7.2
58	الروابط الضوئية (opto-coupleur)	8.2
59	مبدأ العمل	1.8.2
59	أنواع الرابط الضوئي	2.8.2
59	محركات التيار المستمر	9.2
60	مكونات محرك التيار المستمر	1.9.2
61	مبدأ العمل	2.9.2

61	خاتمة	
الفصل الثالث: التصميم الإجمالي للجهاز		
63	مقدمة	
65	التصميم الصندوقي (Block Diagram)	1.3
66	تحليل التصميم الصندوقي	2.3
66	طابق التغذية (Bloc d'Alimentation)	1.2.3
67	طابق التأجيل (Bloc de Temporisation)	2.2.3
69	فصل المصادر (Séparation des sources)	3.2.3
70	طابق الأشعة فوق البنفسجية (Bloc d'irradiation UV)	4.2.3
72	طابق الإنذار (Bloc d'alarme)	5.2.3
73	طابق التسخين (Bloc de Chauffage)	6.2.3
83	التحكم في إتجاه المحرك	7.2.3
83	المعالجة الكيميائية	8.2.3
84	خاتمة	
الفصل الرابع: المحاكاة وإنجاز المشروع		
85	مقدمة	
86	تعريف المحاكاة	1.4
87	البرامج المستعملة	2.4
88	تعريف برنامج المحاكاة Proteus	1.2.4
89	تعريف برنامج Express PCB	2.2.4
89	محاكاة الطوابق	3.4
89	طابق التغذية	1.3.4
93	طابق التأجيل	2.3.4
95	طابق الإنذار	3.3.4
96	طابق التحكم في اتجاه دوران المحرك	4.3.4
97	طابق التسخين	5.3.4
102	إنجاز الدارة المطبوعة	4.4
102	تصميم مسارات الدارة الإلكترونية	1.4.4
102	نزع الطبقة الحساسة	2.4.4

102	إصاق المسارات على النحاس	3.4.4
103	إظهار المسارات	4.4.4
103	الثقب	5.4.4
104	تلحيم العناصر	6.4.4
105	تركيب الجهاز	5.4
106		خاتمة
108	خاتمة عامة	
110	قائمة المراجع	

الصفحة	عنوان الشكل
أشكال الفصل الأول	
6	الشكل (1- 1): الموجات الكهرومغناطيسية
7	الشكل (1- 2): مكونات الطيف الكهرومغناطيسي
8	الشكل (1- 3): تلسكوب راديوي
9	الشكل (1- 4): جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي
10	الشكل (1- 5): فرن الميكروويف
12	الشكل (1- 6): صورة حرارية
13	الشكل (1- 7): تحليل ألوان الطيف باستخدام الموشور
16	الشكل (1- 8): التصوير الشعاعي باستخدام الأشعة السينية
17	الشكل (1- 9): معاينة اللوحات الفنية باستخدام الأشعة السينية
18	الشكل (1- 10) جهاز Gamma Camera للتصوير الطبي النووي باستخدام أشعة غاما
19	الشكل (1- 11): طيف الأشعة فوق البنفسجية وموقعها ضمن الطيف الكهرومغناطيسي.
21	الشكل (1- 12): تصنيف الأشعة فوق البنفسجية
24	الشكل (1- 13): مصباح القوس الكهربائي
24	الشكل (1- 14): صورة لعنصر LED UV
25	الشكل (1- 15): مصباح فلوري
25	الشكل (1- 16): صورة لليزر ينبعث منه إشعاع فوق بنفسجي
27	الشكل (1- 17): وحدة معالجة المياه بالأشعة فوق البنفسجية
28	الشكل (1- 18): نظام تعقيم بالأشعة فوق البنفسجية
29	الشكل (1- 19): كشف بقع الدم في مسرح الجريمة
30	الشكل (1- 20): صورة لعملية الطباعة الثلاثية الابعاد
32	الشكل (1- 21): عملية النقل الضوئي في تصنيع الدوائر المطبوعة
32	الشكل (1- 22): خطوات الطباعة الضوئية
37	الشكل (1- 23): وسائل الحماية الشخصية (PPE)
37	الشكل (1- 24): علامة تحذيرية من خطر الـ UV

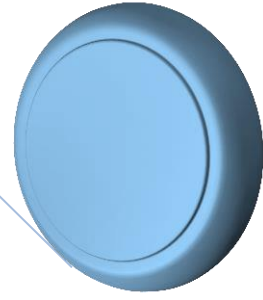
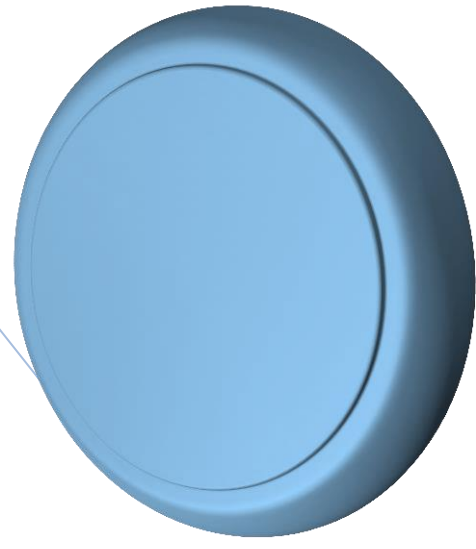
أشكال الفصل الثاني	
44	الشكل (2 - 1): التصميم الصندوقي لمراحل الحصول على التغذية المستقرة
45	الشكل (2 - 2): المحول الكهربائي
46	الشكل (2 - 3): الصمام الثنائي
47	الشكل (2 - 4): عملية التقويم ثنائي النوبة خلال الموجة الموجبة
47	الشكل (2 - 5): عملية التقويم ثنائي النوبة خلال الموجة السالبة
47	الشكل (2 - 6): عملية الترشيح
48	الشكل (2 - 7): عملية الترشيح بواسطة المكثفة
48	الشكل (2 - 8): تثبيت الجهد بواسطة زينر
48	الشكل (2 - 9): منظم الجهد
49	الشكل (2 - 10): دائرة التغذية المتناظرة باستخدام مثبتتي جهد
49	الشكل (2 - 11): رموز وأنواع المقاومة المتغيرة
50	الشكل (2 - 12): بنية ورمز المقحل
51	الشكل (2 - 13): التمثيل البياني مناطق مستقيم حمولة المقحل
51	الشكل (2 - 14): المقحل كقاطع مفتوحة
52	الشكل (2 - 15): المقحل كقاطع مغلقة
52	الشكل (2 - 16): المرجل
53	الشكل (2 - 17): البنية الداخلية للمرجل
53	الشكل (2 - 18): أنواع المرجل
54	الشكل (2 - 19): البنية الخارجية للدوائر المندمجة
56	الشكل (2 - 20): المضخم العملي
56	الشكل (2 - 21): أطراف المضخم العملي
58	الشكل (2 - 22): البنية الداخلية لدائرة المندمجة NE555
60	الشكل (2 - 23): دائرة المؤجلة باستخدام NE555
61	الشكل (2 - 24): قلاب لا مستقر باستخدام NE 555

61	الشكل (2 - 25): رابط ضوئي
62	الشكل (2 - 26): أنواع الروابط الضوئية
62	الشكل (2 - 27): محرك تيار مستمر
63	الشكل (2 - 28): مكونات محرك التيار المستمر
64	الشكل (2 - 29): توليد المجالين المغناطيسيين
64	الشكل (2 - 30): القوة المحركة الكهرومغناطيسية
أشكال الفصل الثالث	
70	الشكل (3 - 1): التصميم الإجمالي للجهاز
71	الشكل (3 - 2): التصميم الصندوقي الوظيفي للمشروع
72	الشكل (3 - 3): تغذية متناظرة باستعمال المحول متعدد المخارج
73	الشكل (3 - 4): البنية الداخلية لـ NE555
73	الشكل (3 - 5): مؤقتة باستعمال NE555
75	الشكل (3 - 6): فصل المصادر باستعمال الرابط الضوئي (Optocoupleur)
76	الشكل (3 - 7): فصل المصادر باستعمال المرحل (Relais)
76	الشكل (3 - 8): صورة حقيقية للمصباح
77	الشكل (3 - 9): صورة العاكس الداخلي
78	الشكل (3 - 10): الرسم التخطيطي لدارة الإنذار
79	الشكل (3 - 11): التصميم الصندوقي لطابق التسخين
79	الشكل (3 - 12): التحكم في درجة الحرارة باستخدام الترياك
80	الشكل (3 - 13): التصميم الصندوقي لتقنية PWM
80	الشكل (3 - 14): التصميم الكهربائي لتقنية PWM
81	الشكل (3 - 15): إشارة التحكم في مقاومة التسخين
82	الشكل (3 - 16): طابق المقارنة
83	الشكل (3 - 17): الإشارة الناتجة
83	الشكل (3 - 18): الإشارة الناتجة
84	الشكل (3 - 19): أشكال إشارة PWM
84	الشكل (3 - 20): التصميم الصندوقي للحصول على إشارة مثلثية

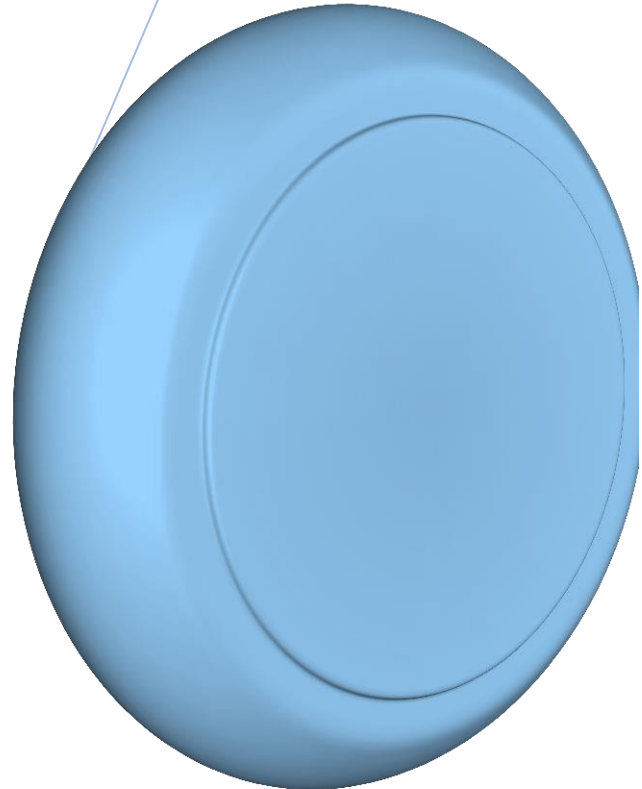
85	الشكل (3- 21): دائرة قلاب لامستقر باستعمال NE555
86	الشكل (3- 22): منحني المخرج VS بدلالة جهد المكثفة VC
87	الشكل (3- 23): تركيبية المكامل
88	الشكل (3- 24): تصميم كهربائي لتغيير القيمة المرجعية
89	الشكل (3- 25): مبدأ إستقطاب المحرك MCC
89	الشكل (3- 26): قاطعة مزدوجة لإستقطاب المحرك
90	الشكل (3- 27): الرسم التخطيطي لدائرة التحكم في اتجاه تغيير دوران المحرك
أشكال الفصل الرابع	
87	الشكل (4- 1): واجهة برنامج المحاكاة Proteus 8 Professional
88	الشكل (4- 2): الواجهة الرئيسية لبرنامج PCB Express
90	الشكل (4- 3): دائرة التقويم ثنائي النوبة
90	الشكل (4- 4): نتائج المحاكاة لإشارة المخرج بعد التقويم
91	الشكل (4- 5): دائرة الترشيح لمخرج المقوم
91	الشكل (4- 6): نتائج المحاكاة لإشارة المخرج بعد الترشيح
92	الشكل (4- 7): النتائج التطبيقية لإشارة المخرج بعد الترشيح
92	الشكل (4- 8): الدارة النهائية للحصول على جهد ثابت القيمة
93	الشكل (4- 9): نتائج المحاكاة لإشارة مخرج دائرة التغذية بعد التثبيت
93	الشكل (4- 10): النتائج التطبيقية لإشارة مخرج دائرة التغذية بعد الترشيح
94	الشكل (4- 11): نتائج المحاكاة لإشارات دائرة التأجيل
94	الشكل (4- 12): دائرة التأجيل
94	الشكل (4- 13): النتائج التطبيقية لإشارات دائرة التأجيل
95	الشكل (4- 14): دائرة الإنذار بعد التأجيل
95	الشكل (4- 15): نتائج المحاكاة لإشارات دائرة القلاب اللامستقر
96	الشكل (4- 16): النتائج التطبيقية لإشارات القلاب اللامستقر
96	الشكل (4- 17): دائرة التحكم في اتجاه دوران المحرك
97	الشكل (4- 18): نتائج المحاكاة لإشارة المخرج المتحكم في وضعية المرحل
98	الشكل (4- 19): دائرة توليد إشارة PWM
98	الشكل (4- 20): نتائج المحاكاة لمخرج الإشارة المربعة

98	الشكل (4- 21): النتائج التطبيقية لمخرج الإشارة المربعة
99	الشكل (4- 22): نتائج المحاكاة لمخرج إشارة المكامل
99	الشكل (4- 23): النتائج التجريبية لمخرج إشارة المكامل
100	الشكل (4- 24): نتائج المحاكاة لإشارات مدخلي المقارن
100	الشكل (4- 25): النتائج التطبيقية لإشارات مدخلي المقارن
101	الشكل (4- 26): نتائج المحاكاة لمخرج إشارة PWM بقيم مختلفة للتوتر المرجعي
101	الشكل (4- 27): نتائج المحاكاة لمخرج إشارة PWM
102	الشكل (4- 28): مسارات الدارة الإلكترونية المستعملة
102	الشكل (4- 29): السطح النحاسي
103	الشكل (4- 30): البطاقة مرسومة عليها المسارات
104	الشكل (4- 31): صورة البطاقة بعد عملية الحفر ونزع النحاس غير المرغوب فيه
104	الشكل (4- 32): الصورة النهائية لبطاقة التحكم مع تلحيم العناصر
105	الشكل (4- 33): وحدة التعريض للأشعة فوق البنفسجية مع الإنذار
105	الشكل (4- 34): وحدة خلط المحاليل
106	الشكل (4- 35): وحدة التسخين
106	الشكل (4- 36): التصميم النهائي للجهاز

الصفحة	عنوان الجدول
جداول الفصل الأول	
13	الجدول (1-1): الطول الموجي والترددات لألوان الطيف المرئي
14	الجدول (2-1): أقسام الأشعة فوق البنفسجية حسب معيار ISO
26	الجدول (3-1): المقارنة بين مصادر الأشعة فوق البنفسجية.
36	الجدول (4-1): التأثيرات البيولوجية لمختلف أنواع الأشعة فوق البنفسجية



مقدمة عامة



مقدمة عامة

شهد العالم خلال العقود الأخيرة تطورا كبيرا في مجال الإلكترونيات الدقيقة، مما جعل تصنيع الدارات المطبوعة (PCB) عنصراً أساسياً في تطوير الأنظمة الإلكترونية المختلفة، سواء في المجال الصناعي أو الطبي أو التعليمي. ومع تزايد الحاجة إلى حلول أكثر دقة وسرعة وفعالية في نقل المخططات الإلكترونية من التصميم النظرية إلى الواقع العملي، أصبحت تقنيات التصوير الضوئي بالأشعة فوق البنفسجية من بين أكثر الوسائل فعالية واعتماداً.

تعدّ الأشعة فوق البنفسجية أداة محورية في إنتاج الدوائر المطبوعة، خاصة عند استعمال الطبقات الحساسة للضوء (Photoresist) التي تُعرض لمخططات الدارة باستخدام جهاز مخصص، هذه التقنية تتيح تحقيق نتائج دقيقة بزمن قصير وتكلفة منخفضة، ما يجعلها الخيار الأمثل للورش التعليمية والمخابر الجامعية.

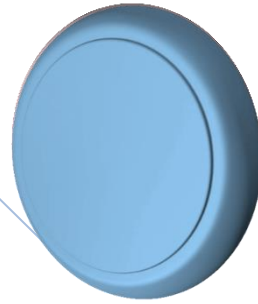
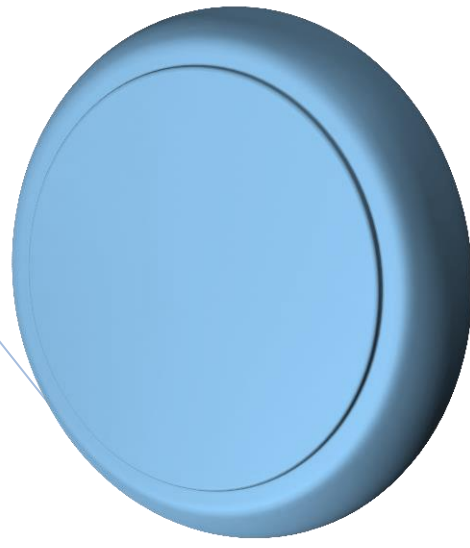
في هذا السياق، جاءت هذه المنكرة بهدف دراسة وتصميم جهاز بسيط وفعال يعتمد على الأشعة فوق البنفسجية لإنجاز الدوائر المطبوعة، مع محاولة التوفيق بين الجانب النظري الذي يتناول خصائص الأشعة وتطبيقاتها، والجانب التطبيقي الذي يركز على مراحل تصميم الجهاز، اختيار مكوناته، ومحاكاة عمله باستخدام برامج متخصصة.

ومن أجل تحقيق غايتنا المرجوة ألا وهي جهاز تصميم جهاز الأشعة فوق البنفسجية لصناعة الدوائر المطبوعة إختارنا تقسيم عملنا إلى أربعة فصول متكاملة، حيث أسند لكل فصل مفاهيم ومعلومات معينة نوضحها كما يلي:

▪ **الفصل الأول:** يتحدث عن الطيف الكهرومغناطيسي وأقسامه وأهم استخدامات كل منطقة، مركزاً

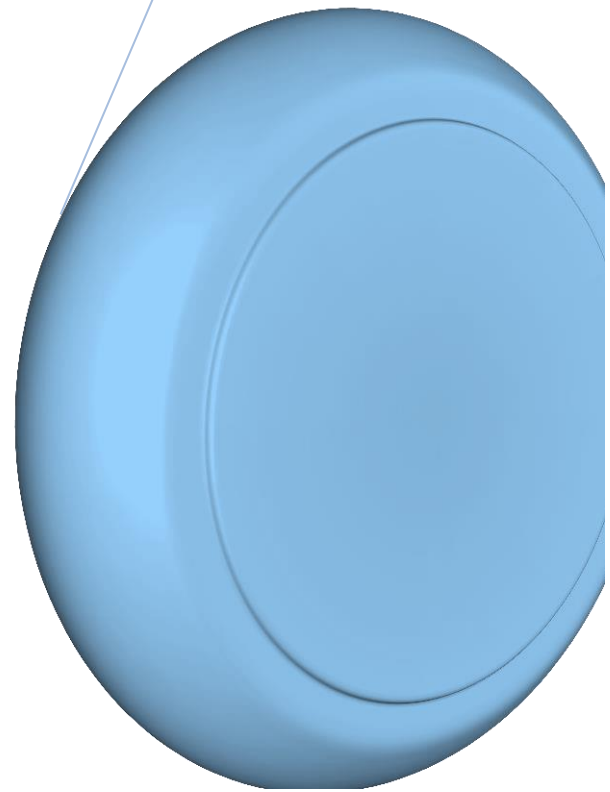
على الأسس النظرية للأشعة فوق البنفسجية ودورها في تكنولوجيا الإلكترونيات.

- **الفصل الثاني:** فيُخصص للتعريف بأهم العناصر الإلكترونية المستعملة في تصميم الجهاز ومبدأ عملها وأهم خصائصها.
- **الفصل الثالث:** اقترحنا تصميم صندوقي إجمالي يتناسب مع الإشكالية المطروحة في هذه المذكرة وشرح المراحل التطبيقية لبناء الجهاز والتحكم في عملياته المختلفة مع طرح جميع الاحتمالات الممكنة.
- **الفصل الرابع:** في الختام نعمل على اختيار برنامج بقاعدة بيانات معتبرة لمحاكاة جميع الطوابق والتراكيب المستعملة ومقارنة النتائج النظرية والتجريبية مع المحاكاة وتفسير الإختلافات إن وجدت، وإنجاز الدوائر المطبوعة في برنامج الخاص بالرسم التخطيطي.
- من خلال هذا العمل، نطمح إلى تقديم مشروع تعليمي متكامل يمكن استعماله في بيئة تعليمية أو بحثية، مع مراعاة البساطة، الفعالية، والتكلفة المعقولة، بما يتماشى مع الإمكانيات المتاحة في مؤسساتنا التربوية.



الفصل الأول:

الطيف الكرومغناطيسي



مقدمة

مرَّ فهم الإنسان للطيف الكهرومغناطيسي بعدة مراحل بدأت من ملاحظات بسيطة للألوان في الطبيعة كألوان قوس المطر مما أثارت عدة تساؤلات تطورت إلى نظريات علمية معقدة حول طبيعة الضوء والمادة، حيث يعد الطيف الكهرومغناطيسي أحد أهم المفاهيم الفيزيائية التي تسمح لنا بفهم سلوك الموجات الكهرومغناطيسية، ويمتد هذا الطيف من الموجات الراديو ذات الطول الموجي الطويل مروراً بالأشعة تحت الحمراء وصولاً إلى الأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية.

تلعب الأشعة فوق البنفسجية ذات الطول الموجي من 10 نانو متر إلى 400 نانومتر دوراً مهماً في العديد من التطبيقات التكنولوجية (التعقيم، الحفر...) وخصوصاً في صناعة الدوائر المطبوعة، وذلك لقدرتها العالية على التفاعل مع المادة لدرجة أنها يمكن أن تكسر الروابط الكيميائية وينتج عنه ما يسمى بالتآين وذلك بطرد الإلكترونات من الذرات، وحتى تغيير تركيب الذرات والجزيئات.

1.1. تعريف الطيف الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Spectrum)

الطيف الكهرومغناطيسي هو التوزيع الكامل أو الحيز للإشعاع الكهرومغناطيسي وفقاً للتردد أو الطول الموجي، يتكوّن الطيف الكهرومغناطيسي من العديد من النطاقات الفرعية من الموجات، مثل الضوء المرئي، الأشعة فوق البنفسجية... وغيرها. كما أنّ هناك إمكانية لتداخل خصائص هذه الأجزاء سويًا لعدم وجود حواجز فاصلة بينها، وتحمل الأجزاء المختلفة أسماءً متنوعة استنادًا إلى الاختلافات في السلوك عند الانبعاث، الإرسال، الكشف والامتصاص للموجات المقابلة، وكذلك استنادًا إلى تطبيقاتها العملية المختلفة.

أما الإشعاع الكهرومغناطيسي فهو شكل من أشكال الطاقة ينبعث من جميع المواد التي تكون درجة حرارتها أعلى من الصفر المطلق (0 K) أو (-273°C). الأشعة السينية، الأشعة فوق البنفسجية،

الضوء المرئي، الأشعة تحت الحمراء، الحرارة، الموجات الميكروية، وموجات الراديو كلها أمثلة على الطاقة الكهرومغناطيسية. [1]

2.1. تعريف الموجات

الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية هما طريقتان مهمتان لنقل الطاقة في العالم من حولنا. الموجات في الماء والموجات الصوتية في الهواء هما مثالان على الموجات الميكانيكية، وموجات الراديو التي تأتي من محطة الراديو تعتبر موجات كهرومغناطيسية. [2]

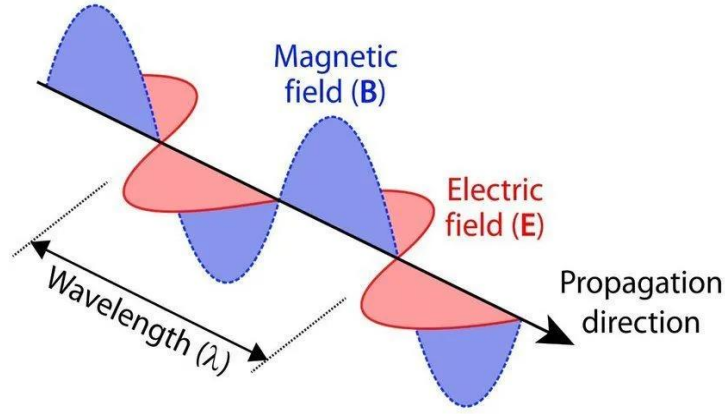
وهي نوعان:

1.2.1. الموجات الميكانيكية

تحدث الموجات الميكانيكية نتيجة لاضطراب أو اهتزاز في المادة، سواء كانت صلبة أو غازية أو سائلة أو بلازما، تسمى المادة التي تنتقل عبرها الموجات بالوسط، تتشكل الموجات المائية من خلال الاهتزازات في السائل وتتشكل الموجات الصوتية من خلال الاهتزازات في الغاز (الهواء)، تنتقل هذه الموجات الميكانيكية عبر وسط عن طريق التسبب في اصطدام الجزيئات ببعضها البعض، مثل أحجار الدومينو المتساقطة التي تنقل الطاقة من واحدة إلى أخرى. لا يمكن للموجات الصوتية أن تنتقل في فراغ الفضاء لأنه لا يوجد وسط لنقل هذه الموجات الميكانيكية. [2]

2.2.1. الموجات الكهرومغناطيسية

تتألف من حركتين اهتزازيتين متوافقتين تتحركان في مستويين متعامدين، مصدر الحركة الأولى: حقل كهربائي E والأخرى حقل مغناطيسي M ، تشكّلان معا حقلًا كهرومغناطيسيًا كما أنها تتحرك بشكل جيبي، وتسير بسرعة الضوء C ، فضلا عن المحور المسافة الذي يحدد اتجاه انتشار أو بث الموجة. [3]



الشكل (1-1): الموجات الكهرومغناطيسية

1.2.2.1. خصائص الموجات الكهرومغناطيسية

❖ تنتقل الموجات الكهرومغناطيسية عبر الفراغ بسرعة ثابتة تساوي سرعة الضوء، تحمل هذه الموجات الطاقة من مصدر إلى مستقبل عبر الفراغ، دون الحاجة إلى وسط مادي. [4]

❖ تتميز الموجات الكهرومغناطيسية بطول موجي (λ) وتردد (ϑ) يحددان خصائصها، ترتبط

هاتان الخاصيتان بالعلاقة التالية:

$$\vartheta = \frac{c}{\lambda} \quad (1.1)$$

حيث c هي سرعة الضوء في الفراغ.

❖ طاقة الموجات الكهرومغناطيسية تحسب بالمعادلة:

$$E = h \cdot \vartheta \quad (2.1)$$

h : يمثل ثابت بلانك، وقيمته: $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ j.s}$

وكما هو معروف الطاقة تقاس بالجول (j) وبما أنها طاقة جسيمات صغيرة ولكي تكون أكثر ملاءمة

نستخدم وحدة قياس أخرى تسمى الإلكترون فولت (ev) وهي مقدار الطاقة التي يكتسبها إلكترون واحد

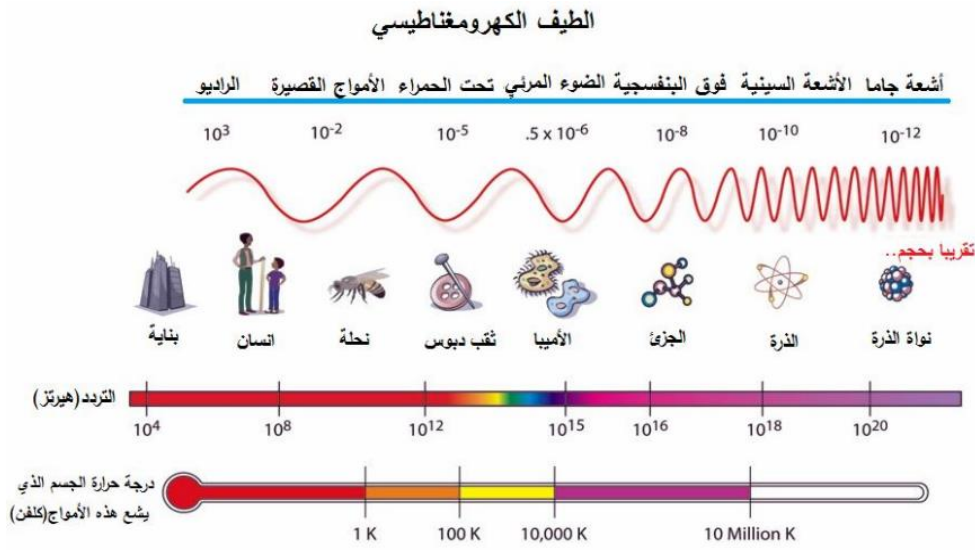
عندما يتحرك بواسطة جهد كهربائي قيمته $1V$ ، حيث:

$$1 \text{ ev} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ j}$$

نستنتج من ذلك أنه كلما زاد التردد ازدادت الطاقة وعليه فإن أشعة جاما تمتلك أكبر طاقة في الطيف الكهرومغناطيسي.

3.1. مناطق الطيف الكهرومغناطيسي

يمكن تقسيم الطيف الكهرومغناطيسي إلى عدة مناطق رئيسية وذلك حسب اختلاف الطول الموجي والتردد والاستعمالات لكل موجة:



الشكل (1-2): مكونات الطيف الكهرومغناطيسي

1.3.1. موجات الراديو

تتميز الموجات الراديوية بامتلاكها أطول الأطوال الموجية في الطيف الكهرومغناطيسي، وذلك بتردد يتراوح ما بين 3Khz إلى 300Ghz، حيث أنه عند أدنى تردد 3Khz يبلغ الطول الموجي 100Km وعند أقصى تردد 300Ghz يكون الطول الموجي 1m.

تمكن العالم هاينريش هيرتز من إثبات وجود الموجات الراديوية في أواخر ثمانينيات القرن التاسع عشر، وذلك باستخدام فجوة شرارة متصلة بملف تحريض تعمل على توليد شرارات كهربائية، وفجوة شرارة أخرى منفصلة تعمل على استقبال الموجات الناتجة عن الشرارات الكهربائية في جهاز الإرسال، فلاحظ

أنّ الشرارات ستقفز في فجوة جهاز الاستقبال أيضا، أظهر هيرتز في تجاربه أن هذه الإشارات تمتلك جميع خصائص الموجات الكهرومغناطيسية. [5]

1.1.3.1. استخداماتها

- **الاتصالات:** تُستخدم هذه الموجات لنقل المعلومات من هوائي محطة البث إلى هوائي جهاز الراديو أو التلفاز الخاص بنا. [6]
- **علم الفلك:** تُستخدم للحصول على معلومات من النجوم البعيدة، وذلك باستخدام المراصد الراديوية (Radio Telescopes)، كما تتميز هذه التلسكوبات التي تستعمل الموجات الراديوية أنّها لا تُحجب بفعل ظروف الغلاف الجوي للأرض، على عكس موجات الضوء، مما يسمح لها برصد الأجرام السماوية حتى في ظروف مناخية غير مثالية. [6]



الشكل (1 - 3): تلسكوب راديوي

▪ في الطب:

التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) يُستخدم لإنشاء صور للأنسجة الرخوة، والسوائل، والدهون، والعظام، المساعدة في التعرف على الأورام حيث يتم ذلك من خلال إنتاج خريطة تعتمد على كثافة الهيدروجين في الجسم.

الاستئصال بالتردد اللاسلكي (RFA) يستخدم الحرارة لتدمير الخلايا السرطانية، حيث يتم استخدام مسبار (إلكتروود) لتطبيق تيار كهربائي على الورم، يقوم التيار الكهربائي بتسخين الخلايا السرطانية إلى درجات حرارة عالية، مما يؤدي إلى استئصالها. [7]



الشكل (1-4): جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي

2.3.1. موجات الميكروويف

ومعناها الموجات القصيرة أو الدقيقة، هي جزء من الأشعة الكهرومغناطيسية ذات طول موجي طويل (من 0.1 إلى 100) سنتيمتر، كما يتراوح ترددها ما بين 1 إلى 300 GHz، موجات المايكروويف موجودة طبيعيا في الهواء وهي تأتي من الشمس والنجوم ويزداد تركيزها عند حدوث الرعد، كما تنتج هذه الأشعة أيضا عندما يمر تيار كهربائي من خلال موصل، وهي تشبه موجات التلفزيون والراديو.

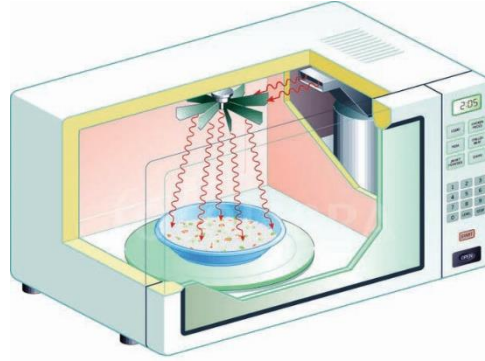
[8]

1.2.3.1. استخداماتها

تعتبر الموجات الدقيقة ملائمة أكثر في الاتصالات اللاسلكية وإرسال المعلومات من الفضاء، وتمتلك الكثير من التطبيقات المفيدة أهمها:

- الرادارات: تُستخدم الموجات الميكرووية قصيرة الطول الموجي في أجهزة الرادار. [6]

▪ **أفران الميكرويف:** تمتص المياه وبعض الجزيئات الأخرى الموجودة في الطعام الموجات الميكروية، وتحول طاقتها إلى حرارة، وهذا هو ما يجعل فرن الميكرويف يعمل، أما الزجاج والبلاستيك فلا يمتصان الموجات الميكروية، ولذلك لا يسخنان. بينما المعادن تمتص الموجات الميكروية، ولهذا لا يمكن وضعها داخل فرن الميكرويف. [6]



الشكل (1-5): فرن الميكرويف

▪ **نظام تحديد المواقع العالمي (GPS):** تُستخدم موجات الميكرويف للتواصل مع الأقمار الصناعية لأنها تستطيع المرور بسهولة نسبياً عبر الغلاف الأيوني وبقية الغلاف الجوي. ولأن طولها الموجي أقصر من موجات الراديو، فإن لديها أيضاً قدرة أكبر على حمل المعلومات. [9]

▪ **في المجال الطبي:** العلاج بالحرارة المرتفعة (Hyperthermia therapy) هو نوع من العلاجات الطبية يتم فيه تعريض أنسجة الجسم لدرجات حرارة أعلى قليلاً من الطبيعية، بهدف إتلاف الخلايا السرطانية أو قتلها أو زيادة حساسيتها للعلاج الإشعاعي وبعض الأدوية المضادة للسرطان. [7]

3.3.1. الأشعة تحت الحمراء (infrared)

تعني **(Infra)** تحت، وهذا يعني أننا في منطقة الأشعة تحت الحمراء (700 nm _ 1mm) والتي ترددها أقل من تردد الأشعة الحمراء في الطيف المرئي. وهي أشعة حرارية تنبعث من كافة الأشياء من حولنا مثل الفرن أو المصباح الحراري أو من الاحتكاك أو من تسخين أي جسم وتنبعث كذلك من

أجسامنا، وهي الأشعة التي تصلنا من الشمس ويشعر الجلد بالدفء عند التعرض إليها. ولهذا تستخدم

الأشعة تحت الحمراء في بعض الأحيان لتسخين الطعام أو الإبقاء عليه ساخناً. [10]

في عام 1800 أجرى -ويليام هيرشل- تجربة لقياس الفرق في درجات الحرارة بين الألوان في

الطيف المرئي وعندما لاحظ ارتفاعاً في درجة الحرارة بعد الطرف الأحمر من الطيف، اكتشف الأشعة

تحت الحمراء. [2]

تغطي الأشعة تحت الحمراء منطقة واسعة من الطيف الكهرومغناطيسي ككل، وتقسّم إلى ثلاثة

مناطق وهي على النحو التالي:

■ **الأشعة تحت الحمراء القريبة (infrared Near):** وهي الأقرب إلى الأشعة المرئية وبالتحديد اللون

الأحمر كما أنها لا تعد ساخنة ولا يمكن الشعور بها وهي التي تستخدم في أجهزة التحكم عن بعد.

■ **الأشعة تحت الحمراء البعيدة (infrared Far):** وهي التي تكون الأقرب إلى اشعة المايكروويف.

■ **الأشعة تحت الحمراء الوسطى (infrared Med):** وهي التي تقع بين المنطقتين السابقتين [10]

1.3.3.1. استخداماتها:

من الاستخدامات العملية التي تعتمد على الأشعة تحت الحمراء ما يلي:

■ **كاميرات التصوير الحرارية:** تعد كاميرات التصوير الحساسة للحرارة من أكثر التطبيقات التي

تعتمد على الأشعة تحت الحمراء شيوعاً، حيث تصدر أجسامنا الأشعة تحت الحمراء، وتُؤخذ الصور

الحرارية بواسطة الأشعة تحت الحمراء التي تصدرها أعضاء الجسم. كما يمكن تشخيص بعض الأمراض

باستخدام مثل هذه الصور. [3]



الشكل (1-6): صورة حرارية

▪ **علم الفلك:** العديد من الأجسام في الكون باردة وضعيفة للغاية بحيث لا تظهر ضمن نطاق الطيف المرئي، بينما تظهر في نطاق الأشعة تحت الحمراء. يبدأ العلماء في كشف أسرار الأجسام الباردة عبر الكون مثل: الكواكب، والنجوم الباردة، والسدم، والعديد غيرها، من خلال دراسة موجات الأشعة تحت الحمراء التي تصدرها. [2]

▪ **مراقبة الأرض واكتشاف الحرائق:** تستخدم الأقمار الصناعية المخصصة لمراقبة الأشعة تحت الحمراء المنبعثة وتستخدم القياسات الناتجة لدراسة التغيرات في درجات حرارة سطح اليابسة والبحر وكذلك تدفقات الحمم البركانية وحرائق الغابات. كما تُستخدم لرصد الدخان وتحديد مصادر حرائق الغابات بدقة بواسطة جهاز مقياس الطيف الإشعاعي للتصوير (MODIS) الموجود على قمرَي أكوا وتيرا. [2]

▪ **الرؤية في الظلام:** الأجهزة التي تستخدم الأشعة تحت الحمراء يمكنها الرؤية في الظلام الدامس لأنها تعتمد على الإشعاع الحراري المنطلق من الأجسام، ويسمى الجهاز المستخدم للرؤية الليلية. [10]

▪ **مجالات الاتصالات:** تستخدم الأشعة تحت الحمراء لإرسال الإشارات كأجهزة التحكم عن بعد

للتلفزيونات، ويمكن أيضاً استخدامها لنقل المعلومات الرقمية عبر الألياف البصرية. [9]

4.3.1. الأشعة المرئية

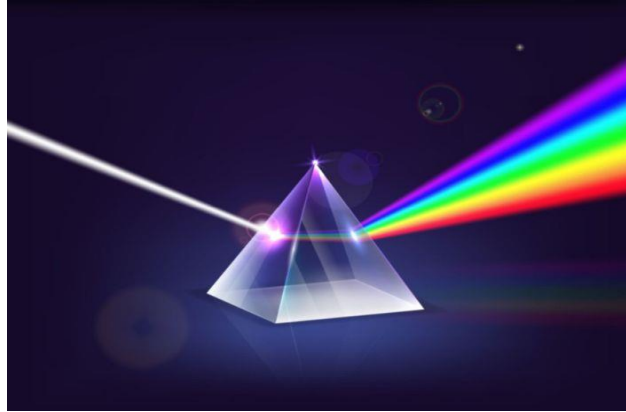
تبدأ بالبنفسجي وتنتهي باللون الأحمر (400 nm _ 750 nm) ، وهي الأمواج التي تستطيع عيوننا رؤيتها، ونرى هذا الطيف على شكل ألوان كالتالي تظهر في السماء بعد سقوط المطر وتعرف

بقوس المطر، أو في التجارب العملية باستخدام الموشور وذلك لتحليل الضوء الأبيض إلى ألوان، نتيجة لذلك ينحرف (ينكسر) كل لون بزاوية خاصة حسب طوله الموجي، حيث أنّ أطوله للون الأحمر بينما اللون البنفسجي أقصر الأطوال الموجية، اجتمع هذه الألوان مع بعضها يعطي اللون الأبيض. [11]

وفيما يلي جدول لقيم الطول الموجي والتردد لألوان الطيف:

الجدول (1-1): الطول الموجي والترددات لألوان الطيف المرئي

اللون	الطول الموجي (nm)	التردد (THz)
الأحمر	750 - 610	405 - 480
البرتقالي	610 - 590	480 - 510
الأصفر	590 - 570	510 - 530
الأخضر	570 - 500	530 - 580
الأزرق	500 - 450	600 - 670
النيلي	450 - 425	600 - 700
البنفسجي	425 - 400	700 - 790



الشكل (1-7): تحليل ألوان الطيف باستخدام الموشور

1.4.3.1. استخداماتها

تتعدد استخدامات الأضواء المرئية في العالم اليوم، ولكل منها استخدامات مهمة والاستخدام الرئيسي والأهم للضوء المرئي هو لرؤية الأشياء، أو في شاشات أجهزة التلفاز والهواتف المحمولة، أو

في التواصل بين المركبات وكذلك إشارات المرور، أو في اللوحات الإشهارية كالتالي تستخدم مصابيح LED.

5.3.1. الأشعة فوق البنفسجية

هي موجات كهرومغناطيسية أقصر طولاً من أمواج الأشعة المرئية وبالتالي طاقة أعلى، إذ تتراوح أطوال أمواجها ما بين (10-400)nm، وتتراوح طاقتها ما بين (3-124)ev، تتواجد في أشعة الشمس، ويمكننا توليدها بالقوس الكهربائي أو الضوء الأسود، وبما أنها أشعة مؤينة (إلكتروناتها منفصلة عن ذراتها) فيمكنها أن تتسبب بسلاسل من التفاعلات الكيميائية النافعة والضارة على السواء، وتجعل العديد من المركبات بحالتها المفلورة . [12]

تُقسم الأشعة فوق البنفسجية إلى عدة موجات متداخلة مع بعضها البعض وذلك حسب مشروع معيار (DIS-ISO-21348) في تحديد الإشعاعية الشمسية:
كما هو موضح في الجدول التالي:

الجدول (1- 2): أقسام الأشعة فوق البنفسجية حسب معيار ISO

اسم الموجة	طول الموجة (nm)	طاقة كل شحنة فوتون (ev)
الأشعة فوق البنفسجية الطويلة	320-400	3.10-3.94
الموجات القريبة	300-400	3.10-4.13
الموجات المتوسطة (الموجة B)	280-320	3.94-4.43
الموجات الوسطى	200-300	4.13-6.20
الموجات القصيرة (الموجة C)	100-280	4.43-12.4
الموجات البعيدة Far	122-200	6.20-10.2
الموجات الفراغية vacuum	10-200	6.20-124
الموجات الأبعد Extreme	10-121	10.2-124

حيث أن:

DIS-ISO-21348 : هو معيار يحدد مواصفات الإشعاع الشمسي وهو قابل للتطبيق على عدة مصادر منها مجموعة قياسات، الأطياف المرجعية، النماذج التجريبية، النماذج النظرية، والمؤشرات التي تُقدّر الإشعاع الشمسي الذي يمثل جزءاً أو كامل الطيف الكهرومغناطيسي، الغرض منه هو إنشاء طريقة معيارية لتحديد جميع الإشعاعات الشمسية لاستخدامها من قبل أنظمة الفضاء ومستخدمي المواد. [13]

6.3.1. الأشعة السينية (X-Rays)

هي نوع من أنواع الطيف الكهرومغناطيسي (0.01nm-10nm)، اكتشفها العالم الألماني روننتجن (Wilhelm Roentgen) عن طريق الصدفة عام 1895 م، كانت أشعة جديدة ذات قدرة كبيرة على اختراق المواد ويُتيح الحصول على صور من خلالها وقد سمّاه بالأشعة السينية (x-rays) نظراً لأن حرف X يعني عادة المجهول في المعادلات الجبرية، والأشعة مجهولة الطبيعة ولهذا سمّاه أشعة إكس أطلق عليها اسم الأشعة السينية وتعرف هذه الأشعة في بعض الأحيان بإسم أشعة روننتجن نسبة لمكتشفها، ولقد كان لهذا الاكتشاف أهمية عظيمة ودور كبير في تطور العلوم الحديثة، وقد نال روننتجن على هذا الاكتشاف العظيم أول جائزة نوبل في الفيزياء عام 1901م. [14]

1.6.3.1. استخداماتها

تطبيقات الأشعة السينية عديدة ومتنوعة، ولكن التطبيق الأكثر شيوعاً هو استخدامها في التصوير الإشعاعي، ومع ذلك فتوجد استخدامات أخرى هامة لها كالصناعة وغير ذلك: [14]

• **في المجال الطبي:** التصوير الشعاعي في الطب للكشف عن الأسنان والعظام وكسورها وتحديد مواقع الأجسام الصلبة مثل الشظايا أو الرصاص في الجسم، وكذلك الكشف عن الأورام في الجسم وعلاجها.



الشكل (1-8): التصوير الشعاعي باستخدام الأشعة السينية

• **المجال العسكري:** الكشف عن الألغام، تحديد مواقع المعتدين داخل المباني، وفي حالة الكوارث تستعمل للكشف عن الأشخاص المدفونين تحت الأنقاض أو في حالة نشوب الحريق، وأيضا في المطارات وأماكن التجمعات لفحص الحقائب للتأكد من خلوها من الأسلحة أو المتفجرات أو الأشياء المشبوهة.

• **في مجال الصناعة:** كشف الشقوق في القوالب المعدنية التي تتطلب عملية فحصها دقة كبيرة لا تكفيها العين المجردة، فحص جودة الخشب المستخدمة في صناعة السفن، قياس سماكة المواد الصلبة وكشف عيوبها.

• **في المجال الفني:** التعرف على أساليب الرسامين والتمييز بين اللوحات الحقيقية واللوحات المزيفة، وذلك لأن الألوان المستعملة في اللوحات القديمة تحتوي على كثير من المركبات المعدنية التي تمتص الأشعة السينية، وأما الألوان المستعملة في اللوحات الحديثة فهي مركبات عضوية تمتص الأشعة السينية بنسبة أقل.



الشكل (1-9): معاينة اللوحات الفنية باستخدام الأشعة السينية

7.3.1. أشعة جاما

إحدى أنواع موجات الإشعاع التي تصدر من نوى الذرات المشعة الطبيعية أو الصناعية، وهي موجات كهرومغناطيسية مشعة ذات طاقة عالية، وطول موجة قصير جداً (0.005_0.05) Å ما يجعل قدرة اختراقها كبيرة، ولذلك فإن لها مخاطر كبيرة على الإنسان والكائنات الحية، ولهذا السبب فإن المفاعلات الذرية تحاط بحوائط سميكة من الخرسانة والرصاص وأجهزة معقدة أخرى. وتستخدم أشعة جاما في أغراض علمية وتكنولوجية كثيرة، وهي تفيد في علاج السرطان، وحفظ وتعقيم المواد الغذائية، والأدوية، وفي شتى مجالات العلم المختلفة. [15]

1.7.3.1. استخداماتها

لأشعة جاما العديد من الاستخدامات تحت شروط وظروف معينة نذكر منها: [16]

▪ في المجال الطبي:

تزيل أشعة غاما الإلكترونات من الذرات. وبسبب هذا، فهي شكل من أشكال الإشعاع المعروف بالإشعاع المؤين. يستخدم العلاج الإشعاعي، أشعة غاما عالية الطاقة لقتل الخلايا السرطانية وتقليص الأورام. تُعد جراحة سكين غاما الإشعاعية (Gamma Knife Radiosurgery) شكلاً خاصاً من أشكال العلاج الإشعاعي، كما تستخدم حزمًا من أشعة غاما لعلاج أنسجة الدماغ المصابة عن طريق تدمير الحمض النووي للخلايا الخطرة.



الشكل (1- 10) جهاز Gamma Camera للتصوير الطبي النووي باستخدام أشعة غاما

▪ في التغذية:

يتم تعريض المنتجات الغذائية لمصدر من أشعة غاما عالية الطاقة، وعادة ما يكون (Cobalt-60) أو (Cesium-137)، تنظم هذه الأشعة الروابط الكيميائية وتقتل البكتيريا التي يمكن أن تسبب الأمراض.

▪ في الصناعة:

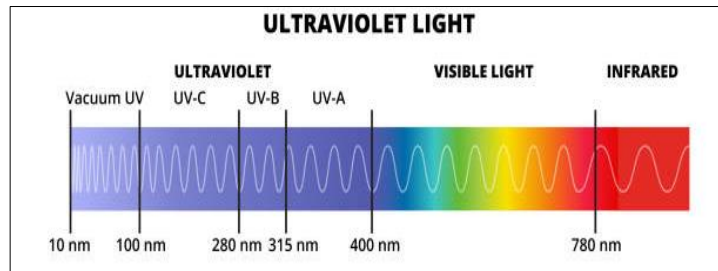
تُستخدم لاختبار المواد واكتشاف العيوب مثل الشقوق، وذلك باستخدام إشعاع كهرومغناطيسي عالي الطاقة، حيث يُمكن الفاحصين من رؤية البنية الداخلية للمادة والكشف عن المشكلات دون إتلاف المواد حيث يُعد التصوير الشعاعي الصناعي وسيلة غير إتلافية لاختبار المنتجات مثل الأنابيب، المواد الملحومة، أو أجزاء الطائرات، حيث تضمن هذه الإجراءات أن تكون المواد آمنة وذات جودة عالية.

4.1. الأشعة فوق البنفسجية (UV) ULTRAVIOLET WAVES

سميت بفوق البنفسجية بسبب أن طول موجة اللون البنفسجي هو الأقصر بين ألوان الطيف، وهي عبارة عن موجة كهرومغناطيسية (جزء من الطيف الكهرومغناطيسي) غير مرئية للعين البشرية. على الرغم من أن موجات الأشعة فوق البنفسجية غير مرئية للعين البشرية. إلا أن بعض الحشرات يمكنها رؤيتها مثل النحل الطنان..... ويشبه ذلك قدرة الكلب على سماع صوت الصفارة خارج نطاق السمع لدى الإنسان.

تم اكتشاف الأشعة فوق البنفسجية سنة 1801 من قبل الفيزيائي الألماني " جون فيلهلم ريتير " حيث لاحظ أن أملاح الفضة تصبح داكنة أكثر بعد تعرضها لضوء الشمس، حيث أنها أشعة غير مرئية، طولها الموجي أقصر من طول موجة اللون البنفسجي (والتي تعتبر نهاية الطيف المرئي) فقام بتسميتها "الأشعة المؤكسدة" ليشدد على تفاعلها الكيميائي ولتمييزها عن " الأشعة الحارة " التي هي بالطرف الآخر من الطيف. تم اعتماد الاسم " الأشعة الكيميائية " بعد ذلك بفترة وجيزة وبقي هذا الاسم قيد الاستعمال خلال القرن التاسع عشر. في نهاية الأمر تم التخلي عن التعبيران السابقين واستبدلتهما " الأشعة فوق البنفسجية" و "الأشعة تحت الحمراء". [17]

- تتميز الأشعة فوق البنفسجية بأطوال موجية أقصر من الضوء المرئي وأطول من الأشعة السينية (X-Rays) حيث أن طول موجاتها (400 nm _ 10 nm)، وطاقتها (3 ev_124 ev). [18]
- تعد الشمس مصدرًا للطيف الكامل للأشعة فوق البنفسجية، والتي تنقسم عادةً إلى 3 أقسام. [18]



الشكل (1- 11): طيف الأشعة فوق البنفسجية وموقعها ضمن الطيف الكهرومغناطيسي.

1.4.1. تصنيف الأشعة فوق البنفسجية

تنقسم إلى ثلاث فئات رئيسية حسب طول الموجة :

1.1.4.1. الأشعة فوق البنفسجية – أ (UV-A)

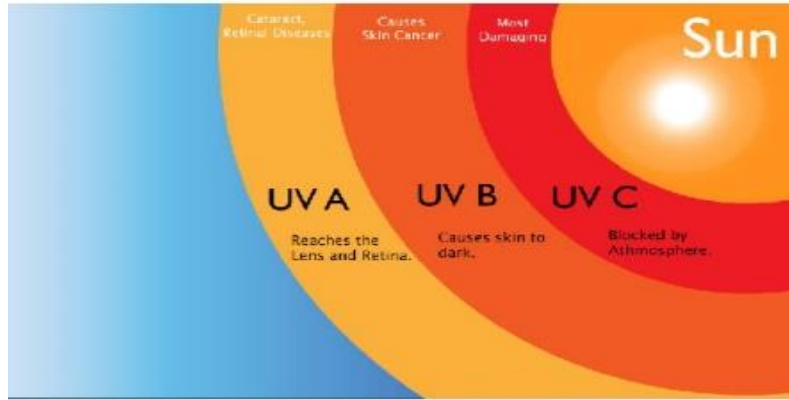
تتراوح أطوال الموجات الخاصة بهذا النوع بين 320 و400 نانومتر، وتُعد (UV-A) أقل أنواع الأشعة فوق البنفسجية ضرراً على الصحة. تُشكّل (UV-A) النسبة الأكبر من الأشعة فوق البنفسجية التي تصل إلى سطح الأرض، حيث تخترق الطبقات السطحية للبشرة بفعالية عالية. أظهرت الدراسات أن الطبقات الخارجية للجلد تتعرض لطاقة (UV-A) أكبر بـ18 مرة مقارنةً بالأشعة فوق البنفسجية من النوع (UV-B). بالإضافة إلى ذلك يُقدّر أن 48% من الجرعة السنوية لهذه الأشعة يتم امتصاصها خلال فصل الصيف، بينما يتم امتصاص 52% منها خلال باقي فصول السنة. ومن الجدير بالذكر أن (UV-A) لا يتم حجبها بواسطة زجاج النوافذ، كما أنها تتأثر بشكل طفيف بعوامل الارتفاع والظروف الجوية. [19]

2.1.4.1. الأشعة فوق البنفسجية من النوع- ب (UVB)

تتراوح أطوال موجات هذا النوع بين 280 و320 نانومتر. ورغم أن جزءاً كبيراً من هذه الأشعة يُمتص عبر طبقة الأوزون، فإن الكمية التي تصل إلى سطح الأرض قادرة على إحداث تأثيرات ضارة. تُعتبر (UV-B) مسؤولة بشكل أساسي عن حروق الجلد واسمراره، كما تساهم في تلف الأجزاء الخارجية للعين مثل القرنية والعدسة نتيجة اختراقها لهذه الأنسجة بهدف حماية الأجزاء الداخلية للعين. كما يمكن أن تتسبب في أضرار بالجفون. تُشكل الجرعة السنوية التي يتعرض لها الإنسان من (UV-B) نسبة 72% خلال فصل الصيف و28% خلال بقية أشهر السنة. [19]

3.1.4.1. الأشعة فوق البنفسجية-ج (UV-C) :

تقع الأشعة فوق البنفسجية من النوع-ج (UV-C) ضمن نطاق طولي يتراوح بين 40 نانومتر و280 نانومتر، وتُصنَّف كأكثر أنواع الأشعة فوق البنفسجية خطورة نظرًا لقدرتها العالية على إحداث تغيرات جينية. ولهذا السبب، تُستخدم بشكل واسع في المختبرات العلمية لإحداث طفرات وراثية في إطار الدراسات البحثية والتجارب المخبرية، حيث يُعد النطاق الأكثر شيوعًا وتأثيرًا لأشعة UV-C بين 200 نانومتر و290 نانومتر، وهو نطاق يتميز بتأثيره الضار جدًا على الجلد والخلايا الحية. غير أن طبقة الأوزون الموجودة في طبقة الستراتوسفير تعمل على امتصاص كامل لهذه الأشعة، مما يحول دون وصولها إلى سطح الأرض ويحمي الكائنات الحية من مخاطرها. [19]



الشكل (1-12): تصنيف الأشعة فوق البنفسجية

2.4.1. الخصائص الفيزيائية والتقنية للأشعة فوق البنفسجية

تختلف الأشعة فوق البنفسجية فيما بينها من حيث القدرة على الاختراق والتأثير على المواد. من الناحية الفيزيائية تحمل هذه الأشعة طاقة عالية نسبيًا مقارنة بالضوء المرئي، مما يمنحها قدرة كبيرة على التفاعل مع الروابط الكيميائية في الجزيئات. هذه الطاقة الفوتونية العالية تجعلها قادرة على التسبب في تغيرات كيميائية أو فيزيائية دقيقة، وهو ما يُستغل في التطبيقات الصناعية والطبية.

أما من الجانب التقني فتميز الأشعة فوق البنفسجية بعدة خصائص تجعلها مناسبة للتطبيقات الحساسة، ومن أبرزها:

- **القدرة على الإثارة الضوئية:** حيث يمكن تحفيز مواد معينة (كالمواد الحساسة للضوء) عند تعرضها للأشعة فوق البنفسجية لتحدث تفاعلات كيميائية موجهة، كما هو الحال في تقنية طباعة الدوائر الإلكترونية.
- **الدقة في التركيز:** الأشعة UV يمكن توجيهها بدقة عالية باستخدام عدسات أو أنظمة بصرية مناسبة، مما يجعلها مثالية في تطبيقات النماذج الصغيرة والمعقدة.
- **التحكم في زمن التعريض:** نظرًا لسرعة تأثيرها، يمكن التحكم بسهولة في زمن التعريض لتحقيق نتائج مختلفة بدقة زمنية تصل إلى أجزاء من الثانية. [20]
- **الاستجابة السريعة للمواد الحساسة:** المواد الضوئية (Photoresists) تُظهر تفاعلًا واضحًا وسريعًا عند تعريضها لـ UV، مما يسمح بتطبيقات متكررة وسريعة دون الحاجة لعمليات حرارية إضافية.
- **عدم الحاجة إلى تلامس مباشر:** الأشعة فوق البنفسجية تستخدم في أنظمة غير تلامسية، مما يقلل من احتمال تلف العينات أو اتساخها.
- **سهولة التحكم في شدة الإشعاع:** من خلال استعمال مصابيح خاصة أو تقنيات LED UV يمكن ضبط شدة الأشعة بدقة للحصول على تفاعلات مختلفة حسب الحاجة. [20]

3.4.1 مصادر الأشعة فوق البنفسجية

تستخدم الأشعة فوق البنفسجية في العديد من التطبيقات الصناعية والعلمية، ومنها تصنيع الدوائر المطبوعة (PCBs)، فدورها يكمن في تنفيذ عمليات النسخ الضوئي (Photolithography)، وتختلف

مصادر توليد هذه الأشعة من حيث المبدأ الفيزيائي، الطول الموجي، الكفاءة الطاقوية والعمر الافتراضي ومن هذا المنطلق نقوم بعرض هاته المصادر كما يلي حيث هناك مصدرين رئيسيين :

1.3.4.1 المصادر الطبيعية

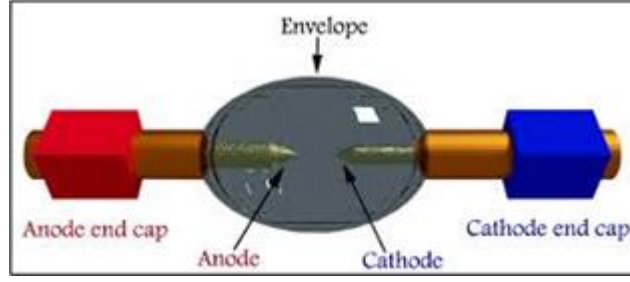
تعد الشمس المصدر الرئيسي والطبيعي للأشعة فوق البنفسجية، حيث تطلق هذه الأشعة ضمن طيفها الكهرومغناطيسي. لكن جزء كبير منها (أغلب UV-C و UV-B) يمتص في الغلاف الجوي (خصوصا في طبقة الأوزون)، ولا يصل إلى سطح الأرض إلا نسبة محدودة منها (UV-A وكمية قليلة من UV-B).

2.3.4.1 المصادر الصناعية

1.2.3.4.1 مصباح القوس الكهربائي (Arc lamp)

تُعرف أيضًا باسم مصابيح تفريغ الغاز، وتُستخدم كمصادر قوية للأشعة فوق البنفسجية في التطبيقات الصناعية والعلمية. وتتكون من إلكترودين كهربائيين مع وجود بلازما (قوس كهربائي) بينهما، وغلاف شفاف مملوء بغاز (مثل الزئبق أو الزينون). عند تطبيق جهد كهربائي عالي تثار الإلكترونات في الغاز، وعند عودتها إلى حالة الطاقة المنخفضة ينتج ضوءا ساطع جدا يحتوي على كمية كبيرة من الأشعة فوق البنفسجية، يختلف الطيف الضوئي الناتج باختلاف نوع الغاز وضغطه. كانت هذه المصابيح أول مصدر ضوئي صناعي فعال، ولا تزال تُستخدم حاليًا في:

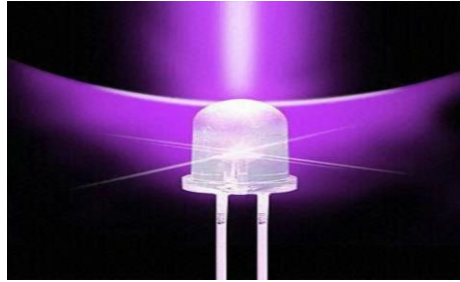
- تعقيم الأسطح.
- الأبحاث البيولوجية والطبية.
- أجهزة التحليل الطيفي.
- معالجة المواد بالضوء (Photolithography) في صناعة الدوائر المطبوعة. [21]



الشكل (1- 13): مصباح القوس الكهربائي

2.2.3.4.1. الصمامات الثنائية الباعثة للضوء فوق البنفسجي (LEDs)

الصمامات الثنائية الباعثة للضوء هي أشباه موصلات تحوّل التيار الكهربائي إلى ضوء ذي نطاق ضيق بأطوال موجية تتراوح بين 274 و1300 نانومتر. يمكن لهذه الصمامات إصدار أطوال موجية مشابهة لأشعة الليزر ولكن بطاقة أقل منه، حيث تتميز بحجم صغير استهلاك منخفض للطاقة كما أنها لا تحتوي على مواد سامة، تستعمل غالباً في عمليات تعقيم الأسطح، الطباعة ثلاثية الأبعاد وتصنيع الدوائر المطبوعة . [21]



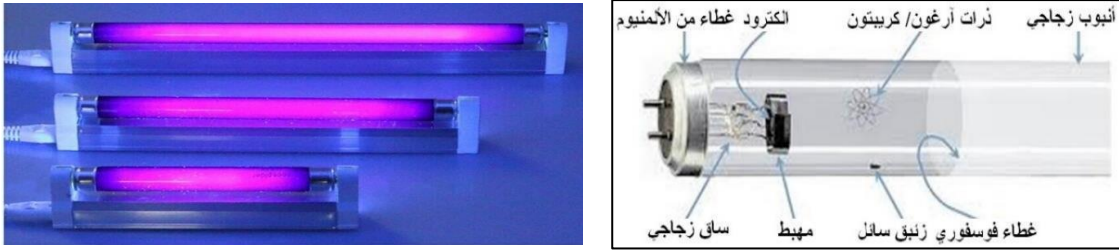
الشكل (1- 14): صورة لعنصر LED UV

3.2.3.4.1. المصابيح الفلورية فوق البنفسجية (UV Fluorescent Lamps)

يعتبر المصباح الفلوري أحد أكثر المصادر استخداماً لإنتاج الأشعة فوق البنفسجية وهو عبارة عن أنبوب زجاجي أسطواني الشكل مطلي بمواد فوسفورية تحتوي على بخار الزئبق بضغط منخفض بالإضافة إلى بعض الغازات الخاملة مثل الأرجون، يعتمد المصباح الفلوري على مبدأ تفريغ الغاز، حيث أنه عند تطبيق تيار كهربائي على طرفي الأنبوب، تصطدم الإلكترونات بذرات الزئبق مما يؤدي إلى إثارتها يتبخر الزئبق إلى حالة طاقة أعلى، وعند عودتها إلى الحالة الابتدائية، تصدر فوتونات في نطاق

الأشعة فوق البنفسجية خصوصا بطول موجي يقارب 254 نانومتر، وبما أن هذا الشعاع غير مرئي يطلى السطح الداخلي للأنيوب بمادة فلورية تقوم بامتصاص الأشعة فوق البنفسجية وتحويلها إلى ضوء مرئي تمتص المواد الفوسفورية المطلية على الأنيوب الضوء ثم تعيد إشعاعه بأطوال موجية أطول. يتميز هذا النوع من المصابيح بسهولة الإستخدام وتكلفة منخفضة بالإضافة إلى تغطية مساحة

إشعاعية كبيرة مقارنة ببعض المصادر الأخرى مثل الليزر أو ال LED. [21]



الشكل (1-15): مصباح فلوري

4.2.3.4.1 أشعة الليزر فوق البنفسجية (UV Lasers)

كلمة ليزر (LASER) هي اختصار لعبارة "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" والتي تعني "تضخيم الضوء بانبعثات الإشعاع المُحفَّز". في أشعة الليزر يكون الفوتون الساقط والفوتون المنبعث متطابقين في الطول الموجي والطور والاتجاه، مما يعطي الليزر خاصية الضوء أحادي اللون والتماسك. يستخدم الليزر لإنتاج إشعاع فوق بنفسجي دقيق وعالي الكثافة ويستعمل غالبا في العمليات الصناعية التي تتطلب دقة عالية مثل الحفر المجهرية والنقش الضوئي ،



الشكل (1-16): صورة لليزر ينبعث منه إشعاع فوق بنفسجي

على الرغم من كون هذه التقنية فعالة لكنها تظل خيارا ثانويا بسبب تكلفتها المرتفعة وكذلك باعتبارها معقدة تقنيا . [21]

ملاحظة: الجهاز الذي قمنا بإنجازه يحتوي على مصدر أشعة فوق بنفسجية من نوع " المصباح الفلوري " ، وهذا نظراً للأسباب التالية:

- توفره في السوق المحلية مقارنة ببقية المصادر .
 - تكلفة منخفضة نوعاً ما .
 - سهولة استعماله .
 - مناسب للاستخدام اليدوي والتجريبي .
- ❖ مقارنة بين المصادر :

الجدول (1-3): المقارنة بين مصادر الأشعة فوق البنفسجية

المصدر	الاستعمالات	طول الموجة (nm)	المزايا	العيوب
مصباح الزئبق	تصنيع الـ PCB التعقيم	254	قوي متوفر طيف مركّز	حرارة عالية يحتوي على زئبق سام
UV LED	تصنيع الـ PCB التعقيم الطباعة 3D	365-450	حجم صغير صديق للبيئة عمر طويل جدا	ثمن مرتفع نسبيا
مصباح الزينون	يعتبر شمس صناعية اختبار المواد	طيف واسع	ضوء قوي محاكاة الشمس	التكلفة تطلق حرارة مرتفعة
مصباح الفلورسنت	تصنيع الـ PCB التعقيم تطبيقات جنائية	350-400	تكلفة منخفضة منتشرة في السوق	قابلة للكسر بسهولة احتوائها على الزئبق

5.1. التطبيقات الصناعية للأشعة فوق البنفسجية

1.5.1. الإستخدامات العامة

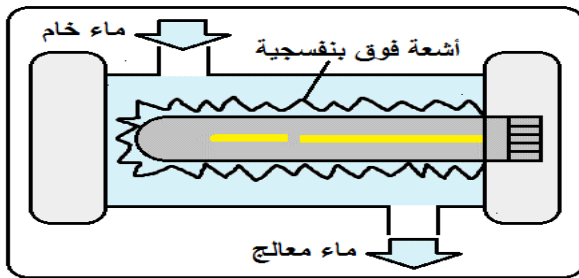
تستخدم الأشعة فوق البنفسجية على نطاق واسع في العديد من المجالات الصناعية والتقنية، نظراً لقدرتها العالية على إحداث تفاعلات كيميائية عند تعريض المواد لها. لذا سنستعرض أبرز التطبيقات العامة:

1.1.5.1. معالجة المياه بالأشعة فوق البنفسجية (UV water disinfection)

يملك الضوء فوق البنفسجي الواصل إلى سطح الأرض تأثيراً قاتلاً للبكتيريا، ولذلك فإن ضوء الشمس يلعب دوراً مهماً في القضاء على الجراثيم، وتعتبر عملية التطهير بالأشعة فوق البنفسجية للمياه عملية طبيعية تماماً وخالية من المواد الكيميائية.

يبدأ الإشعاع برد فعل كيميائي ضوئي يؤدي إلى تدمير المعلومات الجينية الموجودة في الحمض النووي (*DNA*)، فتفقد الجراثيم قدرتها على التكاثر أو البقاء حية مما يجعلها غير ضارة، حتى أن الطفيليات مثل *Cryptosporidia* أو *Giardia* المقاومة بشكل عنيف للمطهرات الكيميائية، يتراجع تعددها بصورة كبيرة نتيجة الإشعاع. [12]

ويتأثر حجم نظام الأشعة فوق البنفسجية بثلاثة متغيرات وهي:



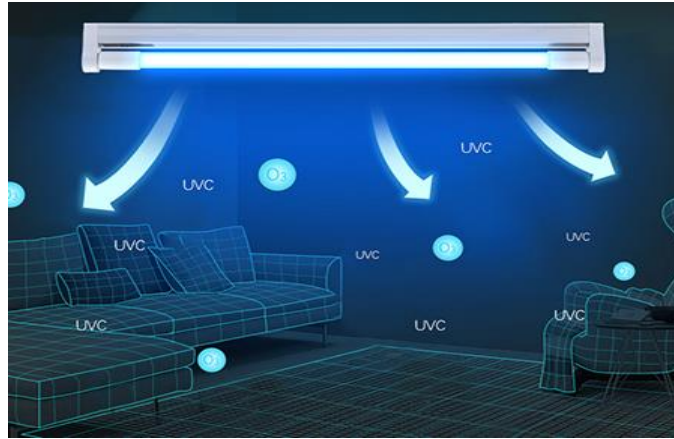
1. معدل التدفق.
2. قوة المصباح.
3. نفاذية الضوء في المياه.

الشكل (1-17): وحدة معالجة المياه بالأشعة فوق البنفسجية

2.1.5.1. التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية

تستخدم الأشعة فوق البنفسجية وبالضبط من النوع (UV-C)، في عمليات التعقيم والتطهير بفضل قدرتها العالية على تعطيل الكائنات المجهرية مثل البكتيريا والفيروسات والفطريات. تعمل هذه التقنية على إتلاف المادة الوراثية (DNA أو RNA) لهذه الكائنات، مما يمنعها من التكاثر أو أداء وظائفها الحيوية، وبالتالي القضاء عليها. يُعرف هذا الأسلوب باسم الترغش الجرثومي بالأشعة فوق البنفسجية (UVGI)، ويستخدم على نطاق واسع في تعقيم الهواء في المستشفيات، والأسطح في المختبرات، ومعالجة مياه الشرب.

عادةً ما تُستخدم أطوال موجية تتراوح بين 200 و 280 نانومتر، خاصة الطول 254 نانومتر الذي ثبتت فعاليته في قتل الجراثيم. قاس تأثير التعقيم بجرعة إشعاعية تُعبر عنها بوحدة mJ/cm^2 ، والتي تختلف حسب نوع الكائن الحي المستهدف وتركيز الأشعة. من مميزات هذه الطريقة أنها لا تتطلب مواد كيميائية ولا تترك بقايا ضارة، مما يجعلها خيارًا مثاليًا في البيئات الحساسة. ومع ذلك، يجب اتخاذ تدابير وقائية لأن التعرض المباشر للأشعة يمكن أن يسبب ضررًا للجلد والعينين. [22]



الشكل (1- 18): نظام تعقيم بالأشعة فوق البنفسجية

3.1.5.1. التحقيقات الجنائية والطب الشرعي

تلعب الأشعة فوق البنفسجية، خاصة من نوع UV-A (315-400 نانومتر)، دورًا مهمًا في مجال التحقيقات الجنائية والطب الشرعي بفضل ظاهرة الفلورة (Fluorescence) وهي عبارة عن توهج فلوري يسمح بكشف مواد غير مرئية بالعين المجردة. تستخدم هذه التقنية للكشف عن:

- آثار السوائل البيولوجية (كالدّم، السائل المنوي، اللعاب، البول...)، حيث تحتوي هذه السوائل على مركبات عضوية تتوهج عند تعرضها لأشعة UV.
- بصمات الأصابع، خاصة بعد معالجتها بمواد كيميائية معينة إذ تظهر بشكل متوهج يسهل تصويره وتحليله.
- الكشف عن التزوير في الوثائق، إذ أن بعض أنواع الحبر، الورق أو اللصاق تظهر تحت UV بلون مختلف عن الطبيعي، مما يكشف عن عمليات تعديل أو تزوير.
- تحليل الأقمشة أو الملابس التي قد تحتوي على بقع بيولوجية أو مواد مهربة.

تمثل هذه التقنية أداة غير مدمرة للأدلة، مما يسمح بإجراء التحليل دون إتلاف العينة، ويمكن تطبيقها مباشرة في مسرح الجريمة باستخدام مصابيح يدوية UV محمولة، أو داخل مختبرات متخصصة مجهزة بغرف تحليل مظلمة. [23]

مثال:



في الشكل المقابل توجد بقع دم لكنها غير ظاهرة للعين بسبب غسلها، هنا نلجأ إلى الأشعة فوق البنفسجية فبعد رش مادة Luminol وتوجيه الأشعة تظهر البقعة توهجًا أزرقًا يؤكد وجود الدم حتى بعد غسله.

الشكل (1- 19): كشف بقع الدم في مسرح الجريمة

4.1.5.1. الطباعة ثلاثية الأبعاد

تلعب الأشعة فوق البنفسجية دورًا محوريًا في تقنيات الطباعة ثلاثية الأبعاد، خصوصًا في الطريقة المعروفة باسم الطباعة الضوئية (Photopolymerization) أو الطباعة باستخدام الراتنج الحساس للضوء. في هذا النوع من الطباعة، تُستخدم راتنجات سائلة حساسة للأشعة فوق البنفسجية، والتي تتصلب مباشرة عند تعريضها لهذه الأشعة.

عند تسليط شعاع UV، غالبًا من نوع UV LED أو ليزر دقيق على طبقة رقيقة من الراتنج، يحدث تفاعل بوليميري سريع يؤدي إلى تصلب الجزء المعرض من السائل. تُكرر هذه العملية طبقةً بعد طبقة حتى يتشكل النموذج الكامل. هذه التقنية تُعرف باسم: SLA (Stereolithography) DLP (Digital Light Processing)

ويُفضل استخدامها في التطبيقات التي تتطلب دقة ميكرومترية، مثل:

- صناعة الأسنان والتقويمات الشفافة.
- النماذج الهندسية الدقيقة.
- المجوهرات والقوالب الصناعية. [24]



الشكل (1-20): صورة لعملية الطباعة الثلاثية الأبعاد

توجد أيضًا الكثير من التطبيقات الأخرى كمكافحة الحشرات، والكشف عن التزوير، وتحليل المعادن (.....الخ). لكن نظرًا لتركيزنا في هذه المذكرة على تطبيقات ودور الأشعة فوق البنفسجية في صناعة الدوائر المطبوعة نكتفي بهذا القدر وننتقل مباشرة إلى الأهم.

2.5.1. التطبيقات في صناعة الدوائر المطبوعة

تُعد الدوائر المطبوعة (PCBs) العمود الفقري لتصميم وتصنيع الأجهزة والإلكترونيات الحديثة إلى أنظمة الذكاء الاصطناعي، إذ تُستخدم لتوفير منصة صلبة ومنظمة لتركيب وتوصيل المكونات الإلكترونية فيما بينها، من خلال مسارات نحاسية دقيقة تُنقش على سطح عازل غالبًا ما يكون مصنوعًا من مادة FR4 (ألياف زجاجية مشربة براتنج الإيبوكسي).

في إطار تصنيع هذه اللوحات، ظهرت تقنيات متعددة تضمن دقة إنتاج المسارات النحاسية والطبقات الإلكترونية. ومن بين أهم هذه التقنيات نجد الطباعة الضوئية بالأشعة فوق البنفسجية يلعب التعرض للأشعة فوق البنفسجية في عملية تصنيع الدوائر المطبوعة دورًا جوهريًا، وهي عملية دقيقة تسمح بنقل التصميم الإلكتروني من القناع الضوئي (Photomask) إلى طبقة حساسة للضوء (Photoresist) مطلية على سطح اللوحة.

1.2.5.1. المبادئ الأساسية للطباعة الضوئية

الطباعة الضوئية (وتُعرف أيضًا باسم "الليثوغرافيا بالأشعة فوق البنفسجية") هي عملية تُستخدم في التصنيع لإزالة أجزاء محددة من طبقة رقيقة أو من المادة الأساسية (الركيزة). تعتمد هذه التقنية على ضوء الأشعة فوق البنفسجية لنقل تصميم كهربائي لدارة إلكترونية من قناع ضوئي إلى مادة كيميائية حساسة للضوء تُعرف باسم الفوتوريزست المطلية على سطح الركيزة. تُعد هذه التقنية الركيزة الأساسية في تصنيع الدارات المتكاملة والدوائر المطبوعة نظرًا لدقتها العالية وسرعتها وكفاءتها. تتفاعل الأشعة فوق البنفسجية مع المادة الحساسة حسب نوعها:

❖ **المقاوم الضوئي الموجب (Positive photoresist):** تتفكك عند تعرضها للضوء، وتُزال

أثناء التحميص.

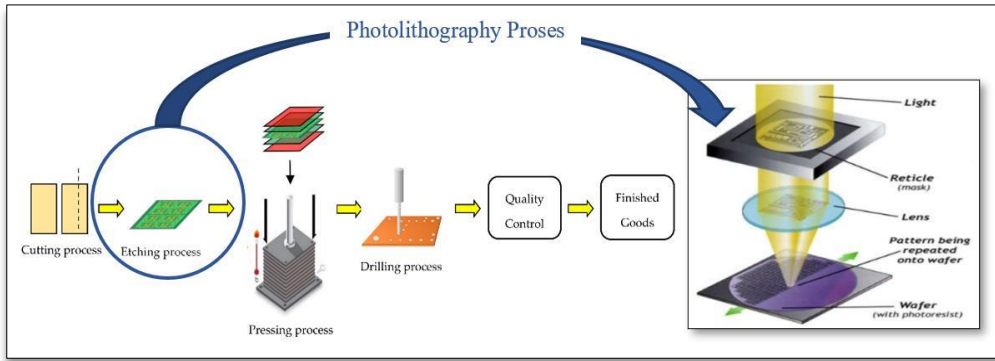
❖ المقاوم الضوئي السالب (Negative photoresist): تتصلب عند تعرضها، وتبقى على السطح بعد التحميض.

و العلاقة العكسية بين الطول الموجي للأشعة فوق البنفسجية ودقة النقش نعبّر عنها بمعادلة

$$R = \frac{k \times \lambda}{NA} \quad (3.1): \text{ (Resolution Limit) الدقة}$$

حيث :

- R: دقة النقش.
- λ : الطول الموجي للأشعة فوق البنفسجية المستعملة (نانومتر).
- NA : الفتحة العددية للعدسة المستخدمة في جهاز التعريض.

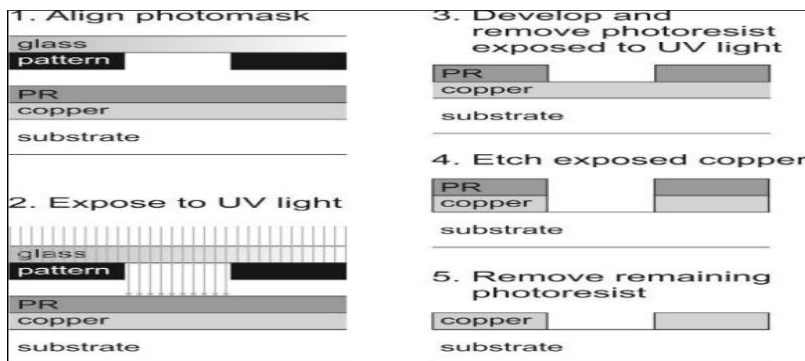


الشكل (1- 21): عملية النقل الضوئي في تصنيع الدوائر المطبوعة

3.5.1 مراحل الطباعة الضوئية

تتألف عملية الطباعة الضوئية للدوائر المطبوعة (PCB) من سلسلة من الخطوات المتتابعة،

والتي سيتم تلخيصها بشكل موجز فيما يلي، مع توضيحها بيانياً في الشكل المقابل: [25]



الشكل (1 - 22): خطوات الطباعة الضوئية

➤ تنظيف الركيزة وتطبيق مادة الفوتورزست (Photoresist)

تُغطى ركيزة الدارة المطبوعة (PCB) عادة بطبقة رقيقة من النحاس، والتي قد تتعرض للتلوث نتيجة التعرض للعوامل الجوية مثل الأتربة أو الزيوت أو الأكسدة. لضمان التصاق جيد لمادة الفوتورزست على سطح النحاس، يجب أولاً تنظيف الركيزة بشكل جيد باستخدام محلول مائي وأسيتون لإزالة أي ملوثات أو أكسدة.

بعد عملية التنظيف، يتم تطبيق فيلم فوتورزست سلبي (Negative Photoresist) على سطح النحاس وذلك من أجل ضمان الالتصاق الجيد للفيلم، يتم ضغط الركيزة المغطاة على صفيحة ساخنة بدرجة حرارة 50° م لمدة دقيقة واحدة.

يمكن أيضاً استخدام فيلم فوتورزست إيجابي (Positive Photoresist) في حال استخدام قناع إيجابي حسب متطلبات تصميم الدارة. [25]

➤ محاذاة القناع والتعريض للأشعة فوق البنفسجية (UV Exposure)

بعد تغطية الركيزة بطبقة الفوتورزست، يتم إعدادها للتعريض للأشعة فوق البنفسجية (UV). يتم وضع قناع ضوئي (Photomask) يحتوي على التصميم المطلوب، بحيث يتضمن مناطق شفافة تسمح بمرور الضوء، وأخرى معتمة تمنع مروره.

يتم محاذاة القناع بدقة فوق الركيزة ثم تعريض النظام إلى مصدر إشعاع فوق بنفسجي عالي الشدة. في حالة استخدام الفوتورزست السلبي، تتصلب (تُعالج) المناطق المعرضة للأشعة وتبقى غير المعالجة لينة. أما في حالة الفوتورزست الإيجابي، فإن المناطق المعرضة للضوء تصبح قابلة للإزالة.

[25]

➤ عملية التطهير (Developing):

تهدف هذه العملية إلى إزالة الطبقات غير المعالجة من الفوتورزست. يتم ذلك باستخدام محلول مظهر (Developer) يُحضّر عادة من كربونات الصوديوم (Na_2CO_3) مذابة في الماء، حيث يقوم هذا المحلول بإذابة الأجزاء اللينة من الفوتورزست، كاشفاً بذلك عن المناطق النحاسية غير المرغوبة. يُعرض الفوتورزست لنمط من الضوء المكثف، يؤدي التعرض للضوء إلى حدوث تغيير كيميائي يسمح بإزالة بعض أجزاء الفوتورزست باستخدام المحلول. في حالة الفوتورزست الإيجابي، وهو النوع الأكثر شيوعاً، تصبح المناطق المعرضة للضوء قابلة للذوبان في محلول المظهر، أما في حالة الفوتورزست السليبي، فإن المناطق غير المعرضة للضوء هي التي تصبح قابلة للذوبان.

➤ عملية الحفر الكيميائي (Etching):

تُستخدم عملية الحفر لإزالة النحاس المكشوف وغير المحمي بطبقة الفوتورزست. هناك نوعان من الحفر:

الحفر الجاف: يتم دون استخدام مواد كيميائية، ويشمل تقنيات مثل الحفر بالبلازما.

الحفر الرطب: يتم باستخدام مواد كيميائية مثل كلوريد الحديد (FeCl_3)، حيث يتفاعل مع النحاس ويزيله من المناطق غير المحمية.

➤ إزالة طبقة الفوتورزست (Photoresist Stripping):

بعد الانتهاء من عملية الحفر، تبقى طبقة الفوتورزست المعالجة، والتي كانت تحمي المسارات النحاسية المطلوبة. يجب إزالة هذه الطبقة لإتمام عملية تصنيع اللوحة.

تُستخدم في هذه الخطوة محاليل إزالة الفوتورزست، والتي تُحضّر عادة من هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) مذاب في الماء، حيث تعمل على إزالة الفوتورزست دون التأثير على النحاس المتبقي.

6.1. المخاطر الصحية والاحتياطات الواجب اتخاذها

1.6.1. تأثير الأشعة فوق البنفسجية على الإنسان

تُعدّ الأشعة فوق البنفسجية (UV) ذات طاقة عالية نسبياً مقارنة بالأشعة المرئية، مما يجعل لها القدرة على إحداث تغييرات بيولوجية عند التعرض المباشر لها، خاصة في حالات التعرض الكثير لها حيث نلخصها في الجدول التالي :

الجدول (1-4): التأثيرات البيولوجية لمختلف أنواع الأشعة فوق البنفسجية

التأثيرات البيولوجية	الوصف	الحزمة
  <p>حروق الشمس الساد</p>	يشكل ما يصل إلى 95% من الأشعة فوق البنفسجية، ويخترق الطبقات العميقة من الجلد	UV-A (315-400nm)
  <p>الاحمرار التهاب القرنية</p>	نشطة بيولوجياً، لكنها لا تستطيع اختراق ما بعد الطبقات السطحية للجلد.	UV-B (280-315nm)
  <p>سرطان الجلد التهاب الملتحمة</p>	الأكثر ضرراً، يتم ترشيحها بالكامل بواسطة الغلاف الجوي ولا تصل إلى سطح الأرض.	UV-C (100-280nm)

2.6.1. الأجهزة الواقية والتوصيات الدولية في الاستخدام الصناعي:

تؤكد الهيئات التنظيمية العالمية، وعلى رأسها منظمة الصحة العالمية (WHO) والمعهد الوطني الأمريكي للسلامة والصحة المهنية (NIOSH)، على ضرورة اتخاذ جملة من الإجراءات الوقائية الصارمة عند العمل في بيئات تحتوي على مصادر الأشعة فوق البنفسجية. وتُقسم هذه الإجراءات إلى نوعين أساسيين :

1.2.6.1. تدابير هندسية وإدارية:

- ❖ تركيب حواجز شفافة مقاومة للأشعة فوق البنفسجية حول أماكن التعريض.
- ❖ الاعتماد على أنظمة تشغيل مؤتمتة لتقليل الحاجة إلى التدخل اليدوي المباشر.
- ❖ تحديد مناطق التعرض وتحذير العاملين من خلال لافتات واضحة.
- ❖ مراقبة مستويات الإشعاع المحيط باستخدام مقاييس UV دورية. [26]

2.2.6.1. وسائل الحماية الشخصية الأساسية (PPE):

- ❖ نظارات واقية من الأشعة فوق البنفسجية مزودة بعدسات تمتص الأطوال الموجية الخطرة.
- ❖ قفازات مقاومة للأشعة لحماية اليدين، خاصة عند التعامل مع لوحات PCB أثناء التعريض.
- ❖ ملابس مختبر طويلة الأكمام مصنوعة من أقمشة غير منفذة للأشعة.
- ❖ يُوصى كذلك بتهوية المختبرات بشكل جيد، إذ أن بعض مصادر UV، خصوصًا المصابيح الزئبقية، قد تنتج أوزونًا (O₃) ضارًا بالجهاز التنفسي.

وتجدر الإشارة إلى أن تطبيق معايير مثل (ISO 15858 و IEC 62471) يعد ضروريًا لتقييم المخاطر المرتبطة بمصادر الضوء، وتحديد مستويات الأمان التي يجب الالتزام بها، وهو ما يفرض على المؤسسات الصناعية والمخبرية الامتثال الصارم لهذه المرجعيات الدولية حمايةً للموارد البشرية. [26]

ملاحظة: كل جهاز يحتوي على أشعة فوق بنفسجية (UV) يجب أن يوضع عليه تحذير واضح كما في الشكل (1-24) :



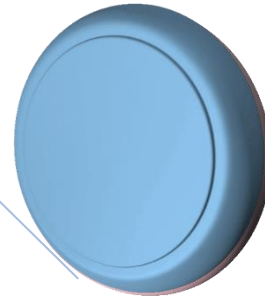
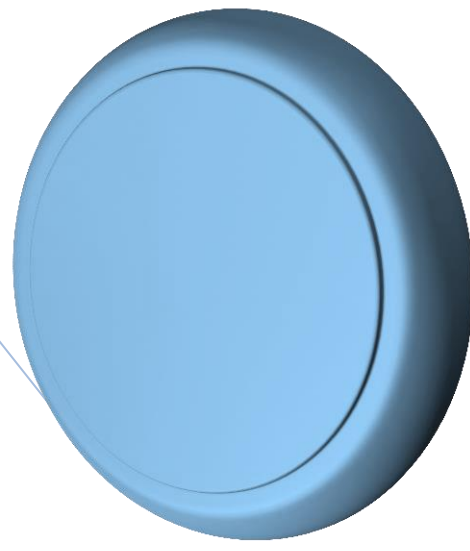
الشكل (1-24): علامة تحذيرية من خطر الـUV.



الشكل (1-23): وسائل الحماية الشخصية (PPE)

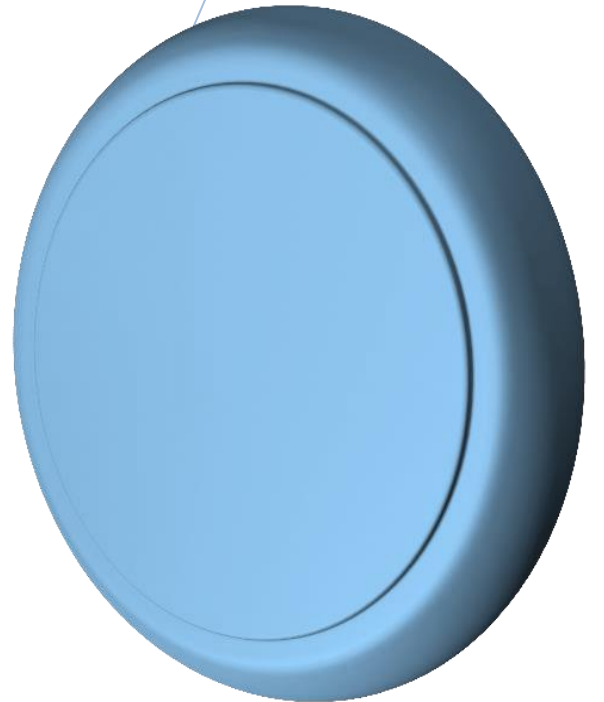
• خاتمة:

تم في هذا الفصل استعراض الخصائص الأساسية للأشعة فوق البنفسجية، تصنيفاتها، مصادرها، وأهم تطبيقاتها العامة، مع التركيز على دورها في صناعة الدوائر المطبوعة. وقد تبين أن هذه التقنية تتيح دقة وسرعة في العمل، لكنها تتطلب شروطاً خاصة من حيث الإضاءة والتحكم البيئي. هذا التمهيد النظري سيساعدنا على فهم عمل الجهاز، لننتقل في الفصل الموالي إلى دراسة المكونات الإلكترونية المستعملة ووظائفها ضمن التصميم العام.



الفصل الثاني:

العناصر الإلكترونية



مقدمة

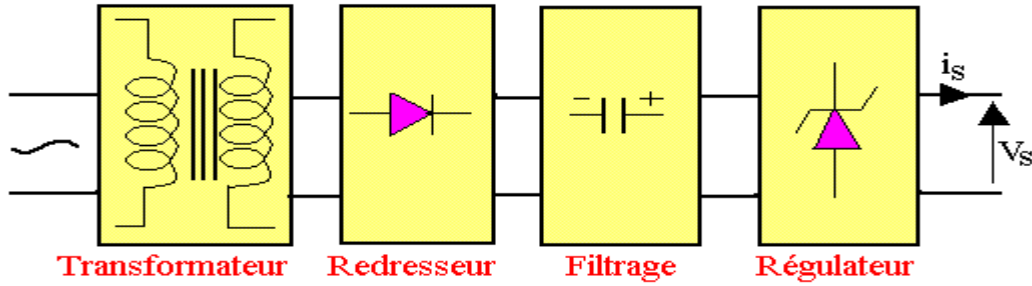
لإنجاز أي نظام إلكتروني متكامل هناك ركيزة أساسية لا يمكن الإستغناء عنها ألا وهي العناصر الإلكترونية بمختلف أنواعها، إذ تضمن تحقيق الأداء المطلوب بدقة واستقرار. وفي إطار مشروعنا المتعلق بجهاز الأشعة فوق البنفسجية المستخدم في تحضير الدوائر المطبوعة، لا بُدَّ من اختيار المكونات الإلكترونية وتصميم دوائرها بدقة كبيرة كي نضمن الموثوقية، والتحكم، وكفاءة التشغيل. في هذا الفصل، سنقوم بعرض ودراسة العناصر الأساسية المستعملة في بناء هذا الجهاز، بدايةً من وحدة التغذية المستقرة مع التطرق لمراحلها، إلى دراسة دور المكونات مثل المقايل، المرحلات، الدوائر المندمجة، والروابط الضوئية. كما سنتطرق إلى بعض الدوائر الهامة كالثقابات غير المستقرة والمؤجلات التي تلعب دورًا محوريًا في التحكم في الأزمنة لمختلف مراحل التشغيل. يساعد هذا التحليل في فهم الأسس التي يقوم عليها تصميم الجهاز، ويتيح لاحقًا إمكانية تطويرها أو التعديل عليها وفقًا للاحتياجات التطبيقية.

1.2. التغذية المستقرة

يمثل مصدر القدرة ذو التيار المستمر جزءًا ضروريًا في الأنظمة الإلكترونية، حيث يعمل على إمداد كافة العناصر بالقدرة اللازمة لعملية التشغيل، وهناك عدة طرق للحصول عليه، ولعلَّ أبرزها هو تحويل التيار المتناوب المأخوذ من الشبكة إلى تيار مستمر، ولكي تتم هذه العملية نمر بأربعة مراحل مهمة:

- تخفيض قيمة توتر الشبكة باستخدام المحول إلى التوتر الذي يناسب تغذية البطاقة الإلكترونية.
- ثم التقويم الذي يتم فيه تحويل التوتر المتردد إلى توتر موحد الاتجاه.
- ثم الترشيح باستخدام المكثفة التي تقوم بعملية التنعيم وذلك للحصول على توتر شبه مستمر.

- ثم التثبيت للحفاظ على قيمة التوتر ثابتة ومستمرة.



الشكل (2-1): التصميم الصندوقي لمراحل الحصول على التغذية المستقرة

1.1.2. مرحلة تخفيض الجهد

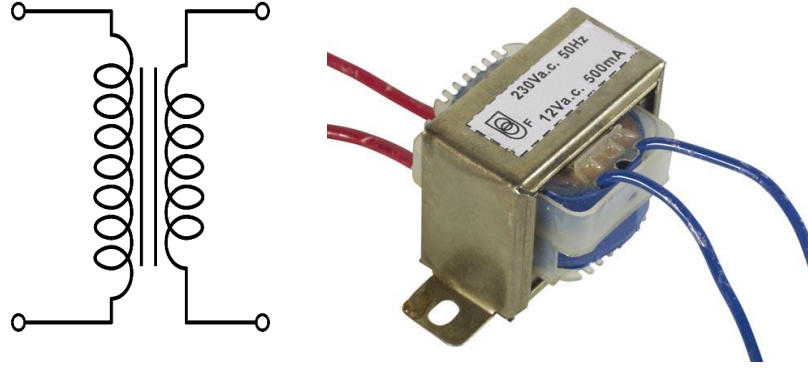
غالبا ما يكون توتر الشبكة المتناوب كبيرا $V(220_110)$ وغير ملائم للدوائر الإلكترونية التي على الغالب تعمل بتوتر يكون بين $V(3_12)$ ، ولهذا نحتاج إلى محول كهربائي لخفض التوتر إلى المستوى المطلوب.

1.1.1.2. تعريف المحول الكهربائي

هو جهاز كهرومغناطيسي يقوم بتحويل القدرة الكهربائية للتيار المتناوب من شكل إلى آخر. يحتوي على ملفين على الأقل متشابكين مغناطيسيا و مستقرين ميكانيكياً، نسمي الملف الموصول مع الشبكة بالملف الأولي و الملف الموصول مع الحمل بالملف الثانوي. فإذا كان جهد الطرف الثانوي أقل من جهد الطرف الابتدائي يكون المحول خافضا للجهد، أما لو كان جهد الطرف الثانوي أعلى من جهد الطرف الابتدائي يكون المحول رافعا للجهد. [27]

فيستخدم المحول هنا للربط بين مصدر الجهد المتناوب والمُقَوِّم.

بالإضافة إلى دوره في رفع وخفض جهد الشبكة، يمكن أيضا أن يحقق العزل الكهربائي بين مصدر التيار المتناوب والمقوم مما يساهم في حماية الدارة المراد تغذيتها من الصدمات الكهربائية المفاجئة.



الشكل (2-2): المحول الكهربائي

2.1.1.2. مكونات المحول الكهربائي

❖ الملف الابتدائي: وهو الملف الذي يستقبل الطاقة الكهربائية من المصدر، يرمز لعدد لفاته بـ

.N1

❖ القلب المغناطيسي: تتكون من صفائح حديدية مترابطة مع بعضها البعض، معزولة فيما بينها

بمادة عازلة، يتم تمرير الطاقة داخله.

❖ الملف الثانوي: وهو الملف الذي تنشأ فيه القوة المحركة الكهربائية يوصل مباشرة مع الحمل،

يرمز لعدد لفاته بـ N2.

3.1.1.2. مبدأ عمل المحول الكهربائي

يقوم مبدأ عمل المحول الكهربائي على قانون فردي للحث الكهرومغناطيسي الذي ينص على أن

قيمة القوة المحركة الكهربائية (الجهد الكهربائي) تتناسب طرديا مع معدل تغير التدفق المغناطيسي ولهذا

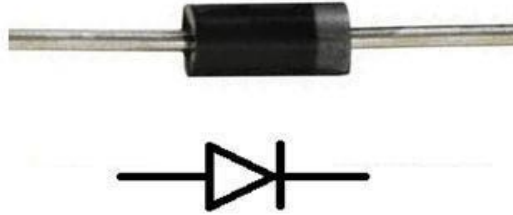
السبب فإن المحول لا يعمل في أنظمة التيار المستمر لأن التيار المستمر يخلق مجالا مغناطيسيا ثابتا

مقدار تغيره يساوي الصفر فلا يمكن خلق جهد كهربائي حينها بطريقة الحث تتألف أبسط المحولات الكهربائية من قلب مغناطيسي يوضع عليه ملفات، ومن أجل أن تكون ضياعات الطاقة في المحول مهمة أو أقل ما يمكن ينبغي أن تشكل النواة المغناطيسية للمحول دائرة مغلقة. [27]

إذن عند تغذية الملف الأولي بمصدر جهد متناوب ينشئ مجالاً مغناطيسياً متغيراً يمر عبر القلب المغناطيسي وهذا ما يحدث تحريضاً كهرومغناطيسياً في الملف الثانوي يؤدي إلى توليد قوة محرّكة كهربائية فيه.

2.1.2. مرحلة التقويم

عملية التقويم أو التوحيد يقصد بها تحويل التيار المتناوب الذي يغير اتجاهه مع الزمن إلى تيار موحد ذو اتجاه واحد على شكل نبضات باستعمال الصمام الثنائي حيث يتصل طرف المصعد بمصدر الجهد المتناوب المراد تقويمه وطرف المهبط يكون موصولاً بالمخرج أو الحمل المراد تغذيته، وكما نعلم أن الصمام يسمح بمرور التيار في حالة الاستقطاب المباشر فقط وهذه الخاصية هي التي جعلته يستعمل في دوائر التقويم. [28]

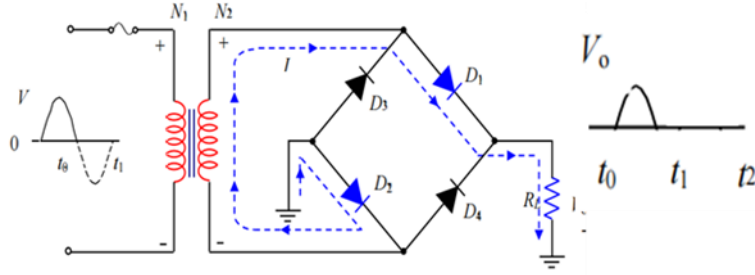


الشكل (2-3): الصمام الثنائي

1.2.1.2. دوائر التقويم ثنائي النوبة

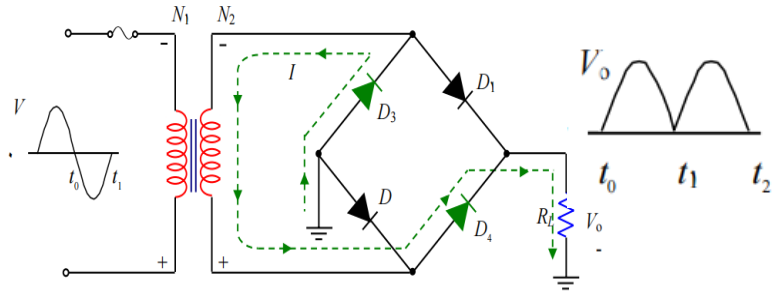
في هذا النوع يتم استخدام أربع ثنائيات على شكل جسر غرايتز كما في الشكل:

خلال النوبة الموجبة: D_1 و D_2 مستقطبان استقطاباً مباشراً اذن يسمحان بمرور التيار، أما D_3 و D_4 مستقطبان عكسيا اذن لا يمرران. ويمر التيار إلى المخرج عبر D_1 و D_2 . [28]



الشكل (2-4): عملية التقويم ثنائي النوبة خلال الموجة الموجبة

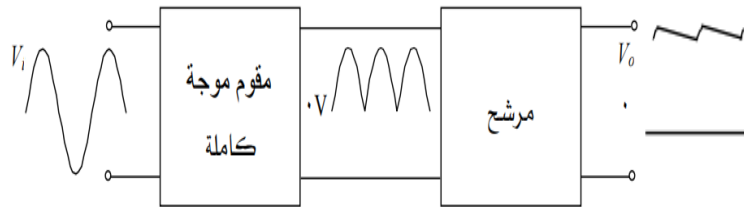
خلال النوبة السالبة: D_4 و D_3 مستقطبان استقطاباً مباشراً اذن يسمحان بمرور التيار، أما D_2 و D_1 مستقطبان عكسيا اذن لا يمرران. ويمر التيار إلى المخرج عبر D_3 و D_4 . [28]



الشكل (2-5): عملية التقويم ثنائي النوبة خلال الموجة السالبة

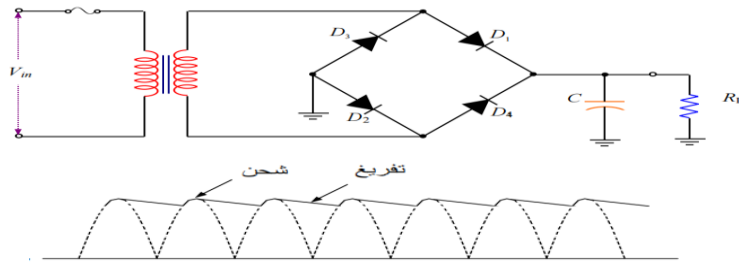
3.1.2. مرحلة الترشيح

يتضح من خلال الجزء السابق أن مخرج دوائر التقويم ينتج جهداً ذا اتجاه واحد لكن قيمته متغيرة على شكل نبضات، ولتقليل هذا التذبذب في الجهد نستخدم أنواعاً معينة من المرشحات التي تطبق على مخرج دوائر التوحيد، حيث تقوم هذه المرشحات بتنعيم الجهد للحصول على قيمة ثابتة تقريباً. [28]



الشكل (2-6): عملية الترشيح

1.3.1.2. دوائر الترشيح باستخدام المكثفة

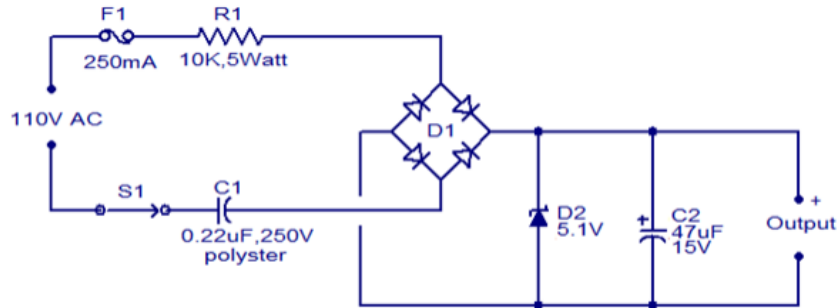


الشكل (2-7): عملية الترشيح بواسطة المكثفة

4.1.2. مرحلة التثبيت

1.4.1.2. باستخدام ثنائي زينر

يُستخدم ثنائي زينر كمثبت للجهد في مصادر الطاقة المستمرة، فبعد عملية الترشيح تبقى بعض التموجات الصغيرة حيث يقوم بالحفاظ على قيمة ثابتة للجهد بين طرفي الحمل، مما يقلل تأثير هذه التموجات، ويمنع تغيير الجهد الناتج بسببها، وحتى في حال حدوث تغيرات في جهد التغذية.



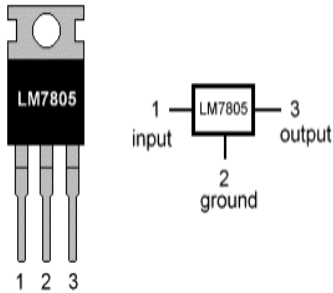
الشكل (2-8): تثبيت الجهد بواسطة زينر

2.4.1.2. باستخدام منظم الجهد

المنظم عبارة عن دارة مندمجة تستخدم لتثبيت الجهد، حيث عند تغذيتها بجهد غير منظم في المدخل مثل إشارة الجهد بعد الترشيح، ويكون مخرجها ثابت دائماً.

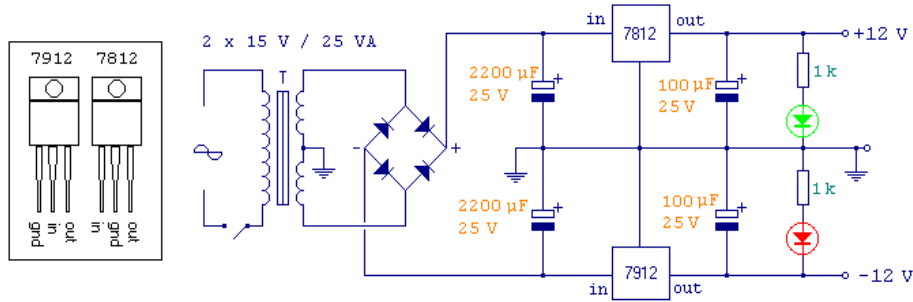
تأتي هذه الدارة في هيئة صغيرة بثلاثة أطراف:

LM7805 PINOUT DIAGRAM



الشكل (2-9): منظم الجهد

- **الطرف 1:** مدخل الجهد.
- **الطرف 2:** أرضي (GND).
- **الطرف 3:** مخرج الجهد المستقر.
- ويرمز لها مصنعياً بالرقم **78XX** للجهود الموجبة، و **79XX** للجهود السالبة، وتشير **XX** إلى الجهد الذي تستخدم فيه هذه الشريحة. [29]



الشكل (2-10): دائرة التغذية المتناظرة باستخدام مثبتي جهد

2.2. المقاومة المتغيرة

عملها الأساسي كالمقاومة العادية وهو معاوقة مرور التيار، لكن ما يميزها هو أنه يمكن تغيير قيمتها يدوياً، تقاس بوحدة الأوم (Ω)، وتنقسم المقاومة المتغيرة إلى نوعين رئيسيين حسب طريقة تغيير قيمتها:

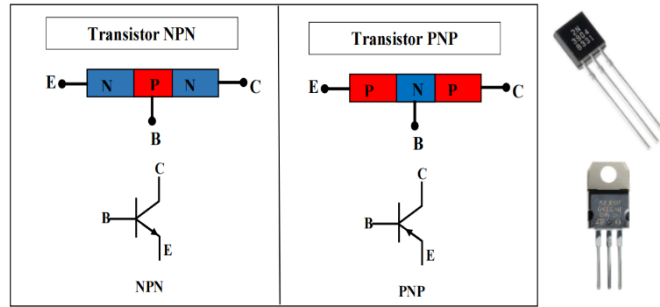
- **المقاومة المتغيرة الدورانية (potentiometer)** يتم التحكم في قيمتها عن طريق حركة دورانية.
- **المقاومة المتغيرة المنزلقة (slider variable resistor)** يتم التحكم في قيمتها عن طريق حركة خطية.



الشكل (2-11): رموز وأنواع المقاومة المتغيرة

3.2. المقل

يعتبر المقل أحد أهم اختراعات العصر الحديث والأكثر استخداما في الدوائر الالكترونية، يتكون من ثلاث طبقات من أشباه النواقل، وبالتالي يشكل طبقتين من الوصلات PN يمكن اعتبار المقل بمثابة اتحاد اثنين من الثنائيات (الصمامات) متصلين في اتجاهين متعاكسين، يحتوي المقل على ثلاث وصلات (أو ثلاثة أقطاب كهربائية): الباعث (E)، والقاعدة (B)، والمجمع (C)، واعتمادًا على اتجاه تركيب هذه الثنائيات نحصل على نوعين من الترانزستورات NPN أو PNP ، يوضح الشكل هياكل ورموز النوعين من المقل. [30]



الشكل (2-12): بنية ورمز المقل

1.3.2. مستقيم الحمولة وأنماط التشغيل

من الممكن توضيح علاقة منطقتي التوقف والتشبع بمنحنيات الخواص للمجمع باستخدام مستقيم

الحمولة، الشكل المقابل يبين على مجموعة من منحنيات الخواص للمجمع حيث يربط بين:

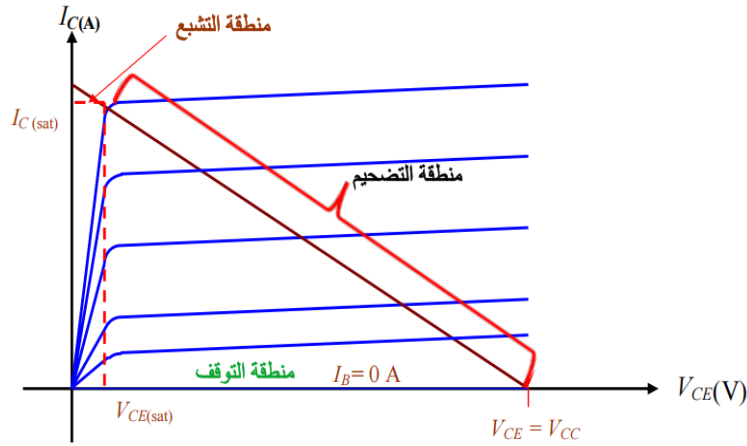
● **منقطة التوقف:** والتي عندها تيار القاعدة يساوي الصفر ($I_b = 0$) فينتج عنه تيار المجمع يساوي

الصفر والجهد بين المجمع والباعث يساوي قيمة جهد المصدر ($I_C = 0, V_{CE} = V_{CC}$).

● **منقطة التشبع:** التي عندها تيار المجمع يساوي تيار التشبع ($I_C = I_{C(sat)}$) و ($V_{CE} = V_{CE(sat)}$).

• **منطقة التضخيم:** الواقعة بين النقطتين تسمى بالمنطقة النشطة أو الخطية والتي يستخدم

الترانزستور فيها كمضخم. [28]



الشكل (2- 13): التمثيل البياني لمناطق مستقيم حمولة المقحل

2.3.2. استعمالات المقحل

1.2.3.2. كمضخم

المقحل يكبر التيار وفق العلاقة التي تجمع بين تيار المجمع والتيار القاعدة الذان يتناسبان طرديا

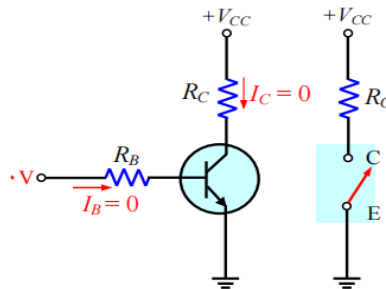
بكسب التيار β أو يسمى أيضا معامل التضخيم ($I_C = \beta \times I_B$)، وبما أن تيار القاعدة صغير جداً

بالمقارنة بتياري المجمع والباعث فإن تيار المجمع يساوي تقريباً تيار الباعث. [28]

2.2.3.2. كمفتاح إلكتروني

يُعتبر تشغيل المقحل كمفتاح إلكتروني من أهم تطبيقات المقحل في الدوائر الإلكترونية وخصوصاً

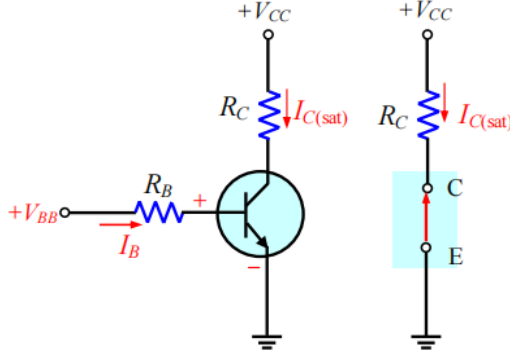
الدوائر الرقمية حيث يعمل الترانزستور في منطقتي القطع والتشبع. [28]



الشكل (2- 14): المقحل كقاطعة مفتوحة

الشكل (2- 14) يوضح أن المقحل في منطقة القطع لأن الوصلة (القاعدة - الباعث) ليست في

حالة استقطاب مباشر وذلك لأن $I_b = 0 A$ وتمثل هذه الحالة بمقاطعة مفتوحة.



الشكل (2- 15): المقحل كقاطعة مغلقة

الشكل (2- 15) يبين أن المقحل يعمل في منطقة التشبع لأن الوصلة (القاعدة - الباعث)

والوصلة (القاعدة - المجمع) في حالة استقطاب مباشر وتيار القاعدة عالي بما يكفي لوصول تيار

المجمع إلي التشبع وتمثل هذه الحالة بقاطعة مغلقة. [28]

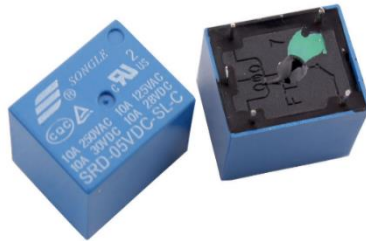
4.2. المرّجل

هو جهاز كهروميكانيكي العمل الأساسي له هو التحكم في قاطعة بطريقة مغناطيسية. فعندما

يمر تيار كهربائي في الملف فإن المفتاح المجاور يغير حالته من القطع إلى التوصيل أو العكس، وهذا

ما يجعله مفيد جدا في التحكم، فبجهد صغير على الملف يمكن التحكم في جهد عالي جدا بين أطراف

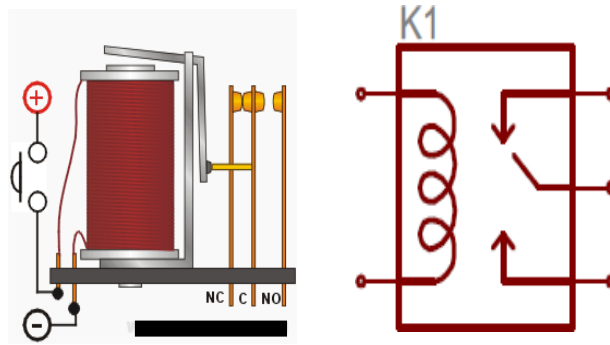
المفتاح. [31]



الشكل (2- 16): المرّجل

1.4.2. البنية الداخلية للمرحل

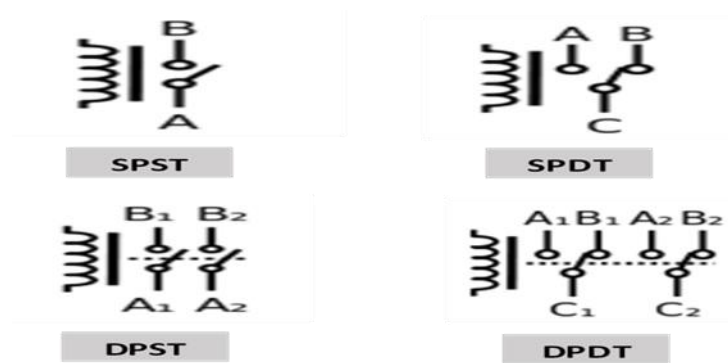
هناك عدة أنواع من المرحلات حيث تختلف في عدد و نوعية المفاتيح الموجودة بداخله، والنوع الشائع من المرحلات له 5 أطراف هي : طرفين للشبيعة، طرف مشترك للمفتاح يسمى C ، و طرف متصل مع C بدون تطبيق جهد يسمى NC (Normally closed) أي يظل هذا الطرف مغلق في الحالة العادية ويفتح عند التنشيط، و طرف منفصل عن C في حال عدم تطبيق جهد و يسمى NO (Normally open) أي يظل هذا الطرف مفتوح في الحالة العادية ويغلق عند التنشيط. [31]



الشكل (2- 17): البنية الداخلية للمرحل

2.4.2. أنواع المرحلات

هناك أنواع مختلفة من المرحلات تصنف حسب عدد نقاط التلامس وعدد المفاتيح وهذه أبرزها:



الشكل (2- 18): أنواع المرحل

5.2. الدوائر المندمجة

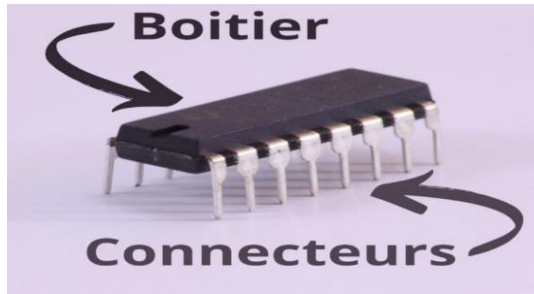
والتي تُعرف أيضاً باسم الشرائح الإلكترونية، وهي مكوّن إلكتروني يُجسّد وظيفة أو أكثر من الوظائف الإلكترونية التي قد تكون بسيطة أو معقدة. حيث يدمج غالباً عدة أنواع من المكونات الإلكترونية الأساسية ضمن حجم صغير، مما يجعل الدارة سهلة الاستخدام والتركيب.

كما يعدّ تصميم تركيب الكتروني باستخدام الدوائر المندمجة أسهل بكثير من تصميمه باستخدام

مكونات منفصلة (Discrete Components). [30]

1.5.2. المكونات الخارجية للدوائر المندمجة

تُقدّم الدوائر المندمجة في حافظات بلاستيكية من نوع DIL وتعني (Dual In Line)، أي "ثنائي الصف من الأرجل" أو "مزدوج الصف"، الأنواع الأكثر شيوعاً من هذه الحافظات تحتوي على 8 أو 14 أو 16 رجل أو (دبّوس)، يُحدد الإتجاه الصحيح لتركيب المكوّن بواسطة نقطة بارزة أو شق (فتحة صغيرة) موجودة على الغلاف، يتم ترقيم الأرجل في عكس اتجاه عقارب الساعة بدءاً من موضع هذه العلامة (الشق). [30]



الشكل (2-19): البنية الخارجية للدوائر المندمجة

2.5.2. أنواع الدوائر المندمجة

تحتوي الدوائر المندمجة على عدد كبير من الترانزستورات الثنائية القطبية أو ترانزستورات MOS، بالإضافة إلى المقاومات، وكلها موضوعة على نفس شريحة السيليكون، تستخدم الدوائر المنطقية إشارة ثنائية، أي تتكوّن فقط من مستويين، يُمنح كل منهما قيمة إما 0 أو 1 تُعطى ضمن نطاق معين من

مستويات الجهد. استخدام الدوائر المنطقية سهل للغاية، إذ يكفي اتباع مجموعة من القواعد الأساسية لربط عدد كبير من المكونات المعقدة.

وتُقسّم الدوائر المنطقية إلى عائلتين رئيسيتين: [30]

1.2.5.2. تقنية TTL (Transistor Transistor Logique)

تتكوّن هذه الدوائر من مقالح ثنائية القطبية أداؤها يُعدّ متوسطاً إلى ضعيف فهي سريعة من حيث الاستجابة لكنها تستهلك قدرًا كبيرًا من الطاقة، تعرف برموز تبدأ بالرقم (74XX)، تعمل عادةً على جهد تغذية ثابت مقداره 5V وتُعتبر حساسة نسبيًا لتغيّرات الجهد، لذا يجب الحفاظ على هذا الجهد بشكل مستقر لضمان التشغيل السليم. [30]

2.2.5.2. تقنية CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)

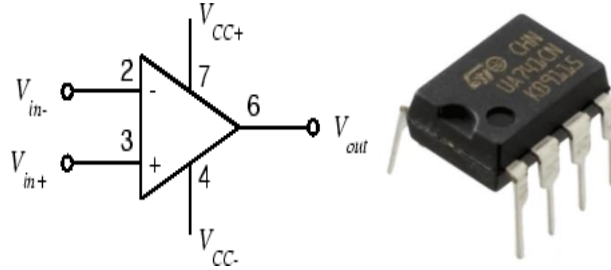
تعني أشباه النواقل المعدنية المؤكسدة التكميلية تتكوّن هذه الدوائر من مقالح من نوع MOSFET (مقالح تأثير المجال). تُعتبر هذه العائلة بطيئة نسبيًا من حيث السرعة مقارنةً بـ TTL، لكنها تستهلك طاقة قليلة جدًا، مما يجعلها مثالية للتطبيقات التي تتطلب كفاءة في استهلاك الطاقة، تعمل عادةً على نطاق جهد يتراوح من 3V إلى 15V. تُعرف برموز تبدأ بالرقم (40XX)، وهناك أيضا حالات في المرجع 74، ويتم التعرف عليها من خلال وجود الحرف C في التسمية مثل (74HCXX). [30]

6.2. المضخم العملي

المضخم العملي هو دائرة مندمجة متعددة الأطراف، يعمل كمضخم للإشارة الكهربائية و يُستخدم بكثرة لتنفيذ العمليات الحسابية مثل الجمع، الضرب، التفاضل، التكامل... و عدة تطبيقات أخرى. يتميز بسهولة استخدامه وتكلفته المنخفضة، حيث أنه يعتبر دائرة شبه شاملة يمكن استخدامها في العديد من

التطبيقات كبديل للدوائر تحتوي على عدة ترانزستورات. يوجد عدة أنواع من المضخمات العملية، من

بينها LM741 الشائع جدا. [30]



الشكل (2-20): المضخم العملي

1.6.2. توصيل أطراف المضخم العملي

1. Offset Null (1) يُستخدم لضبط جهد الإزاحة عند المدخل.

2. المدخل المعكوس (-).

3. المدخل غير المعكوس (+).

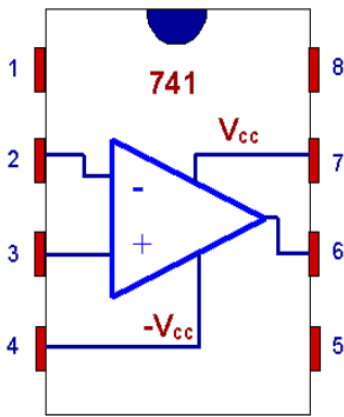
4. الجهد السالب للتغذية (-V).

5. Offset Null (5) الطرف الثاني لضبط جهد الإزاحة.

6. المخرج.

7. الجهد الموجب للتغذية (+V).

8. غير متصل (NC).



الشكل (2-21): أطراف المضخم العملي

2.6.2. استعمال المضخم العملي

يمكن استخدامه لتنفيذ الكثير من المهام اللازمة في الدوائر الإلكترونية، فله عدة تراكيب دوائر

عديدة و مفيدة مثل: [31]

- المكبر العاكس: تكبير الإشارة و عكس قطبيتها.
- المكبر الغير عاكس: تكبير الإشارة بدون عكس قطبيتها.

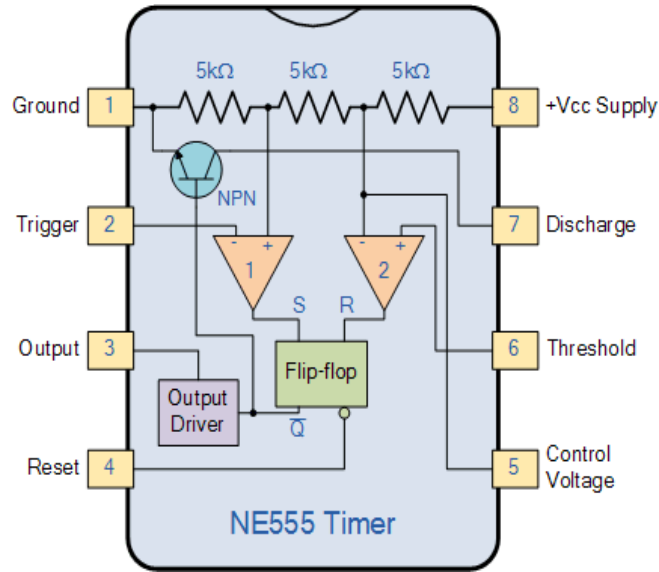
- المكبر العازل: ربط دائرتين مع عزل التيار عن الانتقال بينهما.
- المكبر الجامع: جمع مجموعة جهود واخراجها على طرف واحد.
- المكبر كمذبذب: دائرة المذبذب لتوليد إشارة جيبية.
- دائرة المقارن: لعمل مقارنة دقيقة بين قيمتي جهد.
- دوائر الفلتر: لتمرير أو منع بعض الترددات.
- دائرة المفاضل: يعرض إشارة تماثلية تعبر عن تفاضل إشارة الدخل.
- دائرة المكامل: يعرض إشارة تماثلية تعبر عن تكامل إشارة الدخل.

7.2. الدارة المندمجة NE555

هي عبارة عن شريحة الكترونية تُعدُّ من أكثر الدوائر تكاملاً وفائدة لبساطة عملها ودورها المهم في انجاز التراكيب الالكترونية، كما تتميز بانخفاض تكلفتها وسهولة استخدامها، تستمدُّ تسميتها من ثلاث مقاومات داخلية متساوية القيمة $5k\Omega$ تُستخدم لتوليد جهدي المرجع لعنصري المقارنة الداخليين. إذ يمكن تشغيلها في ثلاثة أنماط أساسية هي: النمط الأحادي الاستقرار (Monostable Mode) لتوليد نبضة واحدة أو تأخير زمني (مؤجلة)، والنمط ثنائي الاستقرار (Bistable Mode) لاستخدامها كمفتاح رقمي، والنمط غير المستقر (Astable Mode) لتوليد نبضات مستمرة بتردد ودورة تشغيل يمكن التحكم بهما (إشارة الساعة)، تُستخدم في تطبيقات متعددة مثل: مؤقتات النبض، توليد النبضات، أنظمة وميض المصابيح والصمامات الضوئية (LED) ... وغيرها من التطبيقات الإلكترونية التي تتطلب ضبطاً زمنياً

دقيقاً. [32]

تحتوي الدارة المندمجة NE555 على ثمانية اطراف و كل طرف يربط بوضع معين كالاتي :



الشكل (2- 22): البنية الداخلية للدارة المندمجة NE555

1 - **GND الأرضي**: يربط هذا الطرف الدارة بالأرضي.

2 - **المشغل (Trigger)**: هو الإدخال السالب للمقارن رقم 1. يؤدي نبض سلبي على هذا الطرف إلى "ضبط (Set) القلاب الداخلي (Flip-Flop) عندما ينخفض الجهد إلى أقل من $1/3V_{cc}$ ، مما يجعل المخرج يتحول من الحالة "المنخفضة (LOW) إلى "العالية (HIGH)".

3 - **المخرج (Output)**: يمكن لهذا الطرف توفير تيار يصل إلى 200mA عند جهد مخرج يقارب 1.5V.

4 - **إعادة الضبط (Reset)**: يُستخدم هذا الطرف لإعادة تصفير القلاب الداخلي الذي يتحكم في حالة المخرج. وهو إدخال فعال عند المستوى المنخفض (Active-low)، وغالبًا ما يتم توصيله بمستوى منطقي "1" عند عدم استخدامه لتفادي أي إعادة ضبط غير مرغوب فيها.

5 - **جهد التحكم (Control Voltage)**: يتحكم هذا الطرف في توقيت المؤقت 555 من خلال تجاوز مستوى $2/3V_{cc}$ لشبكة مقسم الجهد الداخلي. يمكن من خلاله تعديل عرض النبضة الخارجة بشكل

مستقل عن شبكة التوقيت RC، وعند عدم استخدامه يتم توصيله بالأرضي عبر مكثف بقيمة 10nF للتقليل من الضوضاء.

6-العتبة (Threshold) : هو الإدخال الموجب للمقارن رقم 2، يُستخدم هذا الطرف لإعادة ضبط (Reset) القلاب الداخلي عندما يتجاوز الجهد المطبق عليه $2/3V_{cc}$ ، مما يجعل المخرج يتحول من الحالة العالية (HIGH) إلى المنخفضة (LOW)، ويتصل هذا الطرف مباشرة بدائرة التوقيت RC.

7-التفريغ (Discharge) : يتصل هذا الطرف مباشرة بمجمّع المقحل الداخلي من نوع NPN ، ويُستخدم لتفريغ مكثف التوقيت إلى الأرضي عندما ينتقل المخرج في الطرف 3 إلى الحالة "المنخفضة" (LOW).

8-التغذية V_{cc} : هو طرف التغذية الكهربائية، وبالنسبة لمؤقتات 555 فهي TTL تقليدية، فإن جهد التشغيل يتراوح بين 4.5V إلى 15V. [32]

1.7.2. أنماط عمل الدارة NE555

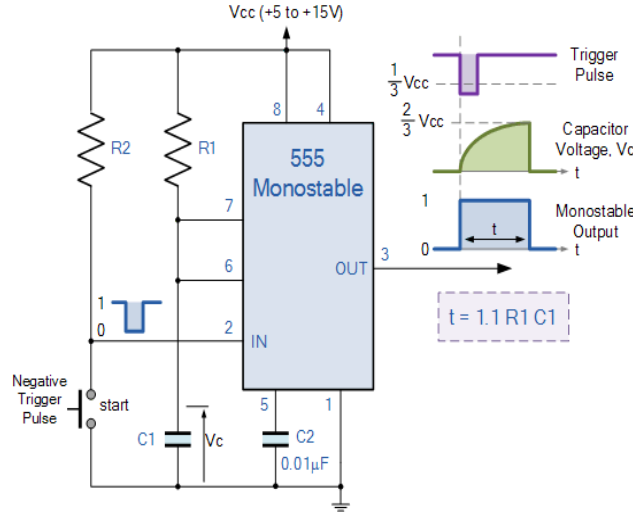
■ كمؤجلة (مذبذب أحادي الاستقرار):

في هذا النمط فإن المخرج لا ينتقل إلى الحالة المنطقية "H" إلا بعد تطبيق نبضة قرح على مدخل القرح (القطب 2) للدارة NE555.

عند توصيل الدارة بالجهد V_{cc} ، يكون الجهد على مدخل المقارن 1 العاكس أكبر من غير العاكس ($V_1 = V_{cc}/3$)، فيبقى مخرج المقارن Q في الحالة المنطقية "L"، ولا يشحن المكثف لأن الترانزستور TR في حالة تشغيل. عند الضغط على المفتاح SW ينخفض جهد المدخل العاكس للمقارن 1 فينتقل مخرجه إلى الحالة المنطقية "H". بما أن المقارن 2 كان أصلا في "L"، فإن القلاب FF يغير حالته فيصبح ($Q = "H"$ و $\bar{Q} = "L"$)، يفصل الترانزستور وتبدأ المكثفة بالشحن. عند تحرير المفتاح: يعود مخرج المقارن 1 إلى الحالة "L"، لكن القلاب لا يغير حالته، يستمر شحن المكثفة حتى يصل

جهدتها إلى $2V_{CC}/3$ عندها يتغير مخرج المقارن 2 إلى "H"، مما يجعل القلاب يغير حالته من جديد
يتشبع الترانزستور وتبدأ المكثفة بالتفريغ.

تبقى هذه الحالة ثابتة حتى يتم الضغط على المفتاح SW مرة أخرى. [32]



الشكل (2- 23): دائرة المؤجلة باستخدام NE555

■ قلاب غير مستقر:

في هذا النمط عند توصيل التغذية للدائرة فإن إشارة المخرج لا تحتفظ بحالة إستقرار واحدة بل تتغير دورياً من حالة إلى أخرى دون أي تأثير خارجي، حيث تبقى في الحالة الأولى زمناً معيناً ثم تنتقل تلقائياً إلى الحالة الثانية أين تبقى زمناً معيناً كذلك، لا يُشترط أن يكونا متساويين.

في دائرة المذبذب الموضحة في الشكل (2- 24)، يتم توصيل الطرفين 2 و 6 معاً، مما يسمح للدائرة بإعادة تشغيل نفسها تلقائياً في كل دورة، وبالتالي تعمل كمذبذب حر التشغيل . خلال كل دورة تتم عملية شحن المكثفة C عبر كلٍ من المقاومتين R1 و R2، بينما عملية التفريغ فإنها تتم فقط عبر المقاومة R2. لأن الطرف الآخر من R2 متصل بالطرف 7.

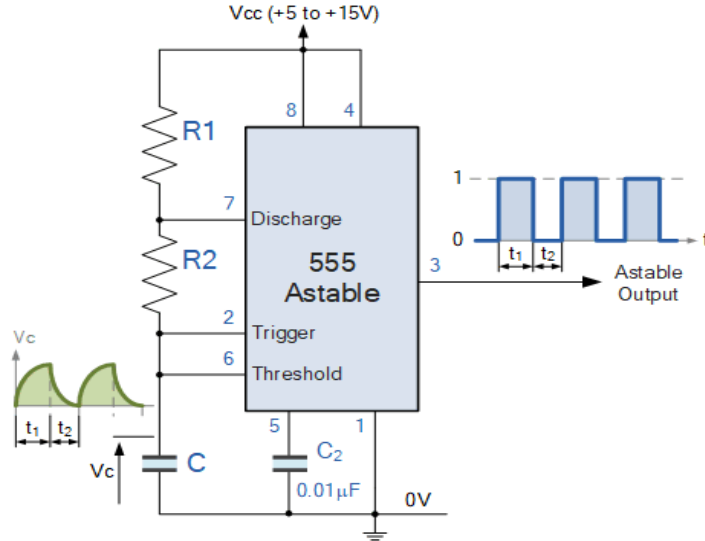
تشحن المكثفة حتى تصل إلى القيمة $(2/3) V_{CC}$ وهو حد المقارنة الأعلى، وتحدد فترة الشحن

$$t_1 = \ln(2) \times (R_1 + R_2) \times C \quad (1.2) \quad \text{بالمعادلة:}$$

بعد ذلك تفرغ المكثف عبر المقاومة R2 فقط حتى تصل إلى القيمة $(1/3) V_{CC}$ وهو حد المقارنة

$$t_2 = \ln(2) \times R_2 \times C \quad (2.2) \quad \text{الأدنى، وتحدّد فترة التفريغ بالمعادلة:}$$

[32]

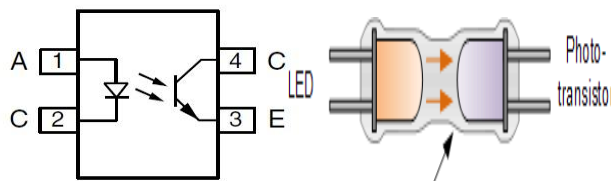


الشكل (2- 24): قلاب لا مستقر باستخدام NE 555

8.2. الروابط الضوئية (opto-coupleur)

هو مكون إلكتروني يُستخدم للربط بين دائرتين باستخدام واجهة ضوئية، يتكوّن من صمام باعث للضوء (LED) يُصدر فوتونات، يتم اكتشافها بواسطة عنصر مستقبل حسّاس للضوء كالفوتوترانزستور (Phototransistor)، موضوعين داخل غلاف محكم يمنع تسرب الضوء، يتم استخدامه يُستخدم بشكل شائع لتوفير العزل الكهربائي بين دائرتين منفصلتين، هذا يعني أن إحدى الدوائر يمكنها التحكم في الأخرى دون حدوث تغيّرات غير مرغوبة في الجهد أو التيار، كالذي يمكن أن يحدث عند الربط الكهربائي

المباشر بين الدائرتين. [32]



الشكل (2- 25): رابط ضوئي

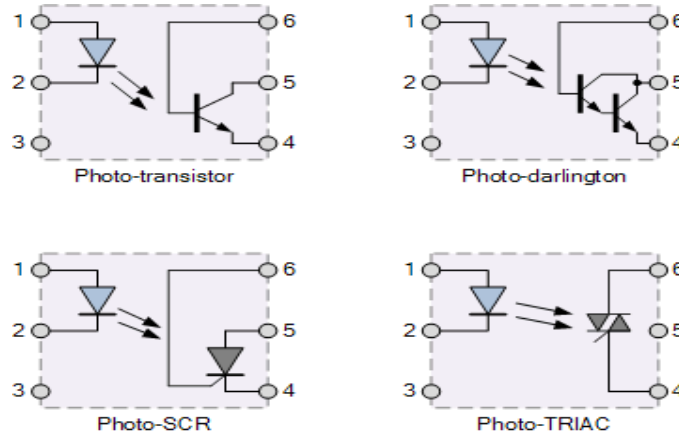
1.8.2. مبدأ العمل

يمر التيار القادم من المصدر عبر الصمام الضوئي، فيصدر ضوءاً في نطاق الأشعة تحت الحمراء تتناسب شدته مع شدة التيار الكهربائي، يسقط هذا الضوء المنبعث على قاعدة الترانزستور الحساسة للضوء، مما يؤدي إلى تشعبه بطريقة مشابهة للترانزستور ثنائي القطبية التقليدي (BJT).

2.8.2. أنواع الرباط الضوئي

يكمُن إختلاف أنواع الروابط الضوئية في العنصر المستقبل الذي يكون على عدة أشكال، كما هو

موضح في الشكل التالي:

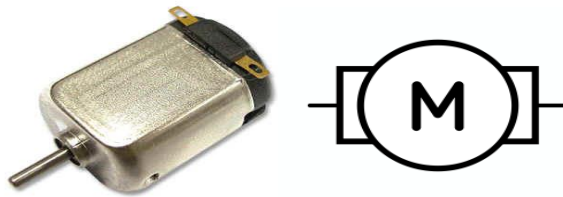


الشكل (2- 26): أنواع الروابط الضوئية

9.2. محركات التيار المستمر

هي آلات تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية من خلال تفاعل الحقول المغناطيسية مع التيار الكهربائي، حيث تتكوّن محركات التيار المستمر من مكونين أساسيين العضو الثابت العضو

الدوّار. [33]

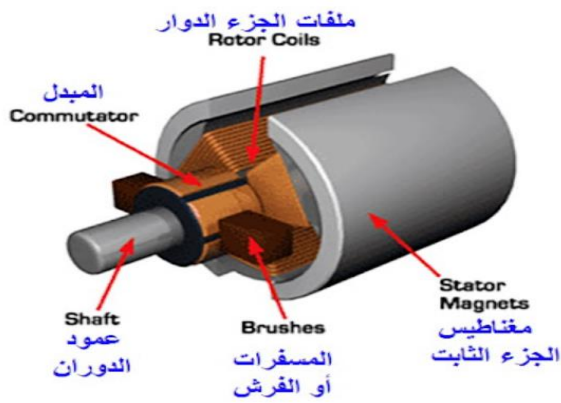


الشكل (2- 27): محرك تيار مستمر

1.9.2. مكونات محرك التيار المستمر

تتكوّن محركات التيار المستمر في جوهرها من العناصر التالية: [33]

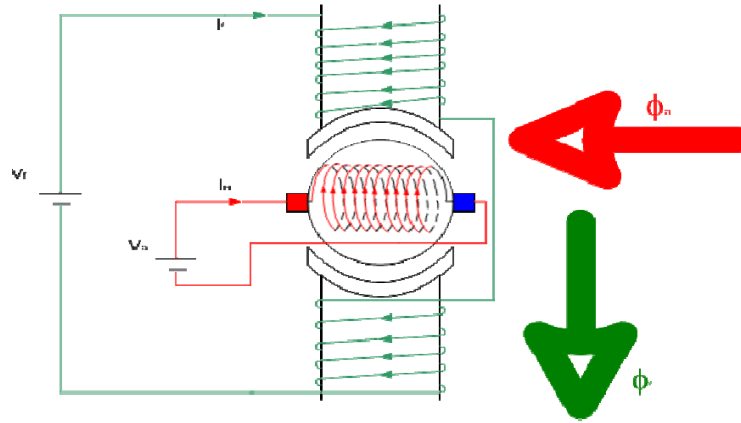
- **الجزء الثابت:** ويسمى أيضاً المجال هو المسؤول عن توليد المجال المغناطيسي الثابت في المحرك.
- **الجزء الدوار:** ويسمى أيضاً المنتج أو المتحرض وبه يتولد العزم الكهرومغناطيسي، يصنع هذا العضو من شرائح من الصلب المعزولة عن بعضها لتقليل التيارات الإعصارية محيطها الخارجي ويتشكل من مجار لوضع الملفات التي تتكون من مجموعة من الموصلات النحاسية المعزولة.
- **المبدل:** عبارة عن جسم اسطواني الشكل مصنوع من قطع من النحاس الصلد المسحوب، معزولة عن بعضها البعض بمادة عازلة جيدة (الميكال)، ومثبت على عمود الدوران، ويتم توصيل هذه القطع مع أطراف ملفات المنتج كما يتلامس سطحها العلوي مع فرش كربونية.
- **الفرش الكربونية:** توضع على حامل خاص بها على الإطار الخارجي تلامس سطح المبدل وتعمل على توصيل التيار من الدارة الخارجية إلى المبدل.
- **عمود الدوران:** يعمل على نقل الطاقة الميكانيكية إلى الحمولة.



الشكل (2- 28): مكونات محرك التيار المستمر

2.9.2. مبدأ العمل

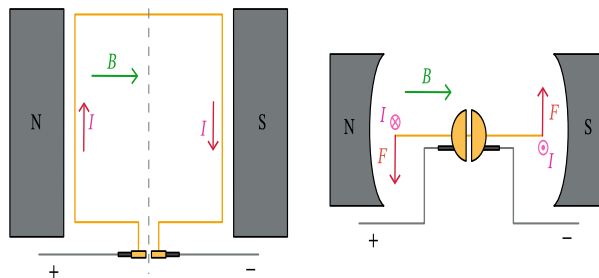
يتم تغذية ملفات المجال بالتيار اللازم لتوليد مجال مغناطيسي وفي نفس الوقت يتم تغذية ملفات العضو المنتج بتيار مناسب وذلك من خلال الفرش، ويقوم هذا التيار بتوليد مجال مغناطيسي آخر متعامداً مع المجال المغناطيسي الأول وثابتان، نتيجة لذلك ينشأ عزم دوران يعمل على دوران العضو الدوار.



الشكل (2- 29): توليد المجالين المغناطيسيين

ولتوضيح كيف يتولد العزم الكهرومغناطيسي فإننا نعتمد على قانون فراادي، فإذا وضع موصل طوله L يمر به تيار كهربائي I في مجال مغناطيسي B فإنه يتولد قوة F تتسبب في حركة الموصل يتم تحديد اتجاهها عن طريق قاعدة اليد اليمنى. [33]

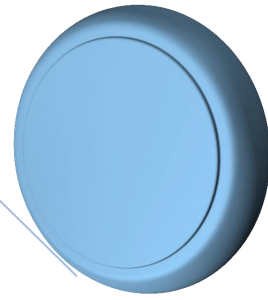
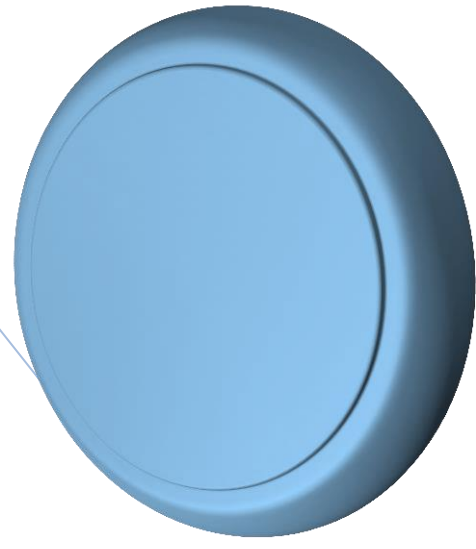
حيث القوة المؤثرة على كل جانب تعطى بالعلاقة: (3.2) $F = B \times L \times I$



الشكل (2- 30): القوة المحركة الكهرومغناطيسية

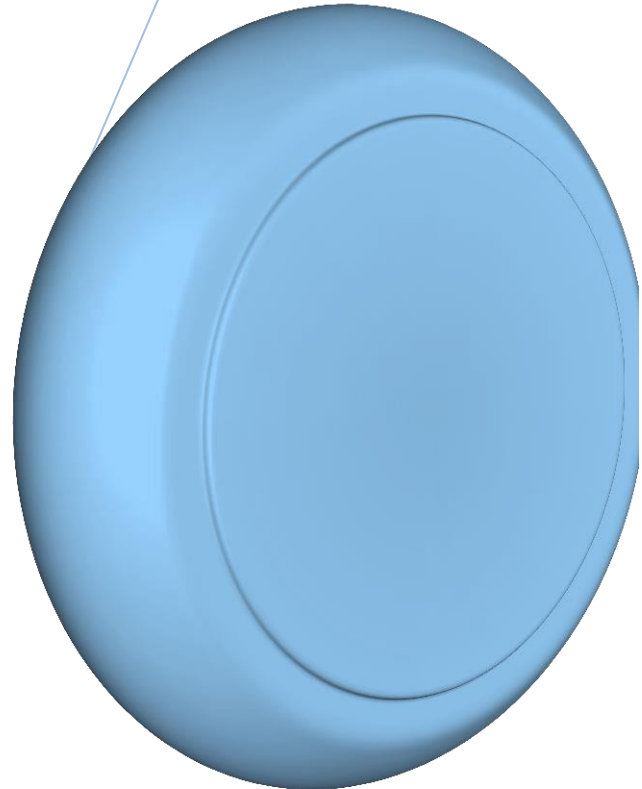
خاتمة

بعد التطرق بالتفصيل إلى مختلف المكونات الإلكترونية المعتمدة في إنجاز جهاز الأشعة فوق البنفسجية، تتضح الأهمية الكبيرة لكل عنصر في ضمان عمل الجهاز بكفاءة واستقرار، تُعد هذه الدراسة حجر الأساس لفهم كيفية تفاعل هذه المكونات ضمن منظومة إلكترونية واحدة تهدف إلى التحكم الأتوماتيكي في عملية إنجاز الدوائر المطبوعة، وبناءً على هذا العنصر النظري الذي يعتبر الأساس الذي ننتقل به إلى التصميم الإجمالي للجهاز مما يقربنا أكثر من التجسيد الفعلي للمشروع.



الفصل الثالث:

التصميم الإجمالي للجهاز



تمهيد

بعد أن تناولنا في الفصلين السابقين الجوانب النظرية المتعلقة بالأشعة فوق البنفسجية وأهميتها في مراحل إنتاج الدارات المطبوعة، كما تطرقنا إلى بعض العناصر الإلكترونية المستعملة في هذا المشروع، ننتقل في هذا الفصل إلى الجانب التطبيقي، حيث نقترح تصميمًا إجماليًا للجهاز المستعمل في هذا النوع من التطبيقات. يهدف هذا التصميم إلى تنفيذ مختلف المراحل الضرورية لإنجاز دارة مطبوعة بطريقة دقيقة وفعالة، مع ضمان التحكم في مختلف المعاملات مثل الزمن، الاستطاعة، وتركيز المحاليل، مما يسمح بالحصول على نتائج ذات جودة عالية وتقليل هامش الخطأ.

في هذا الفصل سيتم تقديم تصميم إجمالي للجهاز مع شرح مفصل لكل مرحلة من مراحل التصنيع، موضحين أهميتها ودورها في إنجاز الدائرة المطبوعة بكفاءة وفعالية، والشكل (1.3) يُبين التصميم الإجمالي للجهاز و توزيع الوحدات والوظائف الأساسية لكل جزء، وهو ما سيمكّننا من تحليل كل طابق على حدة مع تقديم المحاكاة الكهربائية الخاصة به.

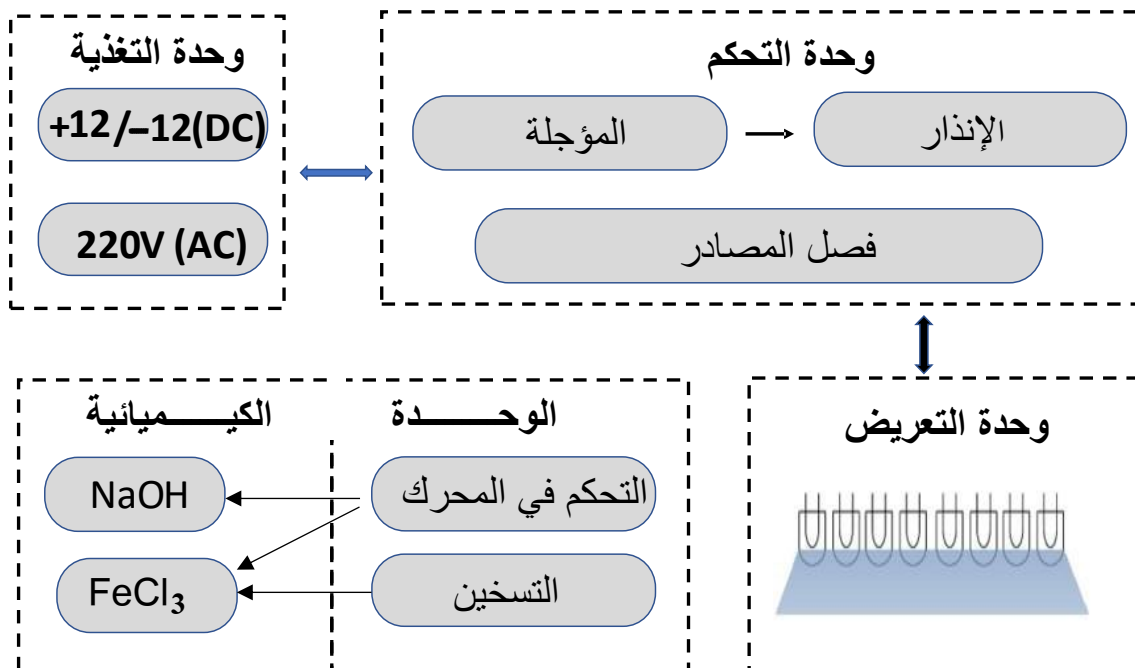


الشكل (3-1): التصميم الإجمالي للجهاز

1.3. التصميم الصندوقي (Block Diagram)

التصميم الصندوقي هو تمثيل بياني يُستخدم لتوضيح النظام أو الجهاز من خلال تقسيمه إلى وحدات أو أجزاء رئيسية على شكل صناديق (Blocks) أو مربعات. تُربط هذه الصناديق معًا بأسماء أو خطوط توضح انتقال الإشارات أو البيانات بين الأجزاء المختلفة مما يساعد المهندسين على تحليل وتصميم وحل مشكلات الأنظمة بشكل أكثر فعالية.

وفقًا لما ورد في دفتر الشروط، وبهدف تسهيل وتوضيح عناصر المشروع قمنا باقتراح تصميم صندوقي يُلبى مختلف المتطلبات التقنية، بحيث تتم معالجة جميع التوترات بشكل تماثلي (Analogique) وفي الزمن الحقيقي (Temps réel) فتم تجسيده بالشكل التالي:



الشكل (3-2) : التصميم الصندوقي الوظيفي للمشروع

2.3. تحليل التصميم الصندوقي

يُمثل التصميم الصندوقي النظرة العامة للجهاز المقترح، حيث يُبرز المكونات الأساسية والعلاقة الوظيفية بينها. فيما يلي، نقدم شرحًا مفصلاً لكل من مكونات النظام:

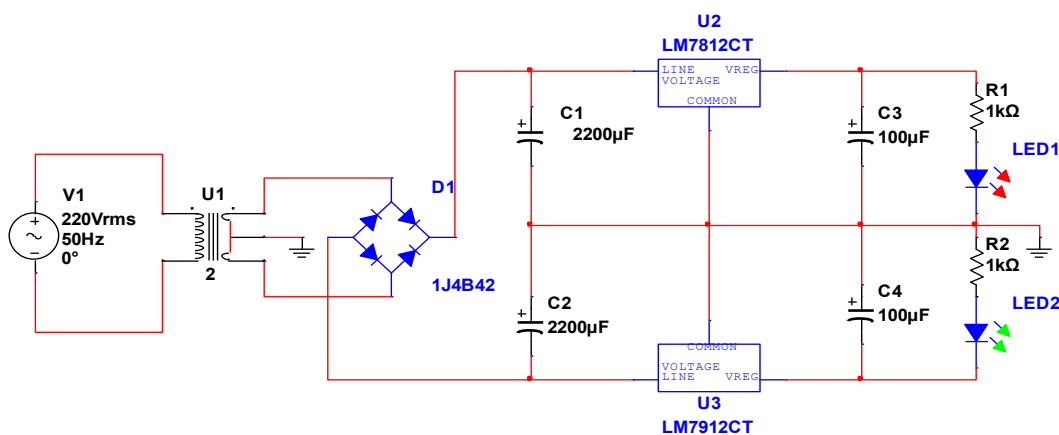
1.2.3. طابق التغذية (*Bloc d'Alimentation*)

تعتبر التغذية المتناظرة مرحلة أساسية ولا يمكن الاستغناء عنها في أي مشروع إلكتروني حيث تضمن لنا التغذية سواء المتناظرة أو غير المتناظرة حسب طبيعة المشروع ومستقرة ويمكن إنجازها بعدة طرق :

- التغذية بالتقطيع.
- التغذية بمحول متعدد المخارج.
- التغذية بمحول ذو مخرج واحد.
- التغذية عن طريق بطارية مستقلة.

ارتأينا في هذا المشروع أن تكون التغذية باستعمال محول متعدد المخارج لضمان توترات مستقلة

تماما وذات استطاعة عالية، التركيب المقابل يمثل تغذية متناظرة باستعمال المحول متعدد المخارج:



الشكل (3-3): تغذية متناظرة باستعمال المحول متعدد المخارج

2.2.3. تطبيق التأجيل (Bloc de Temporisation)

كما سبق وذكرنا، يعتمد المشروع على إنتاج الأشعة فوق البنفسجية بالمصابيح الفلورية حيث

تتعلق كمية الأشعة المسلطة على الطبقة الحساسة للدارة المطبوعة بعاملين أساسيين :

- قيمة الإستطاعة الضوئية للمصباح

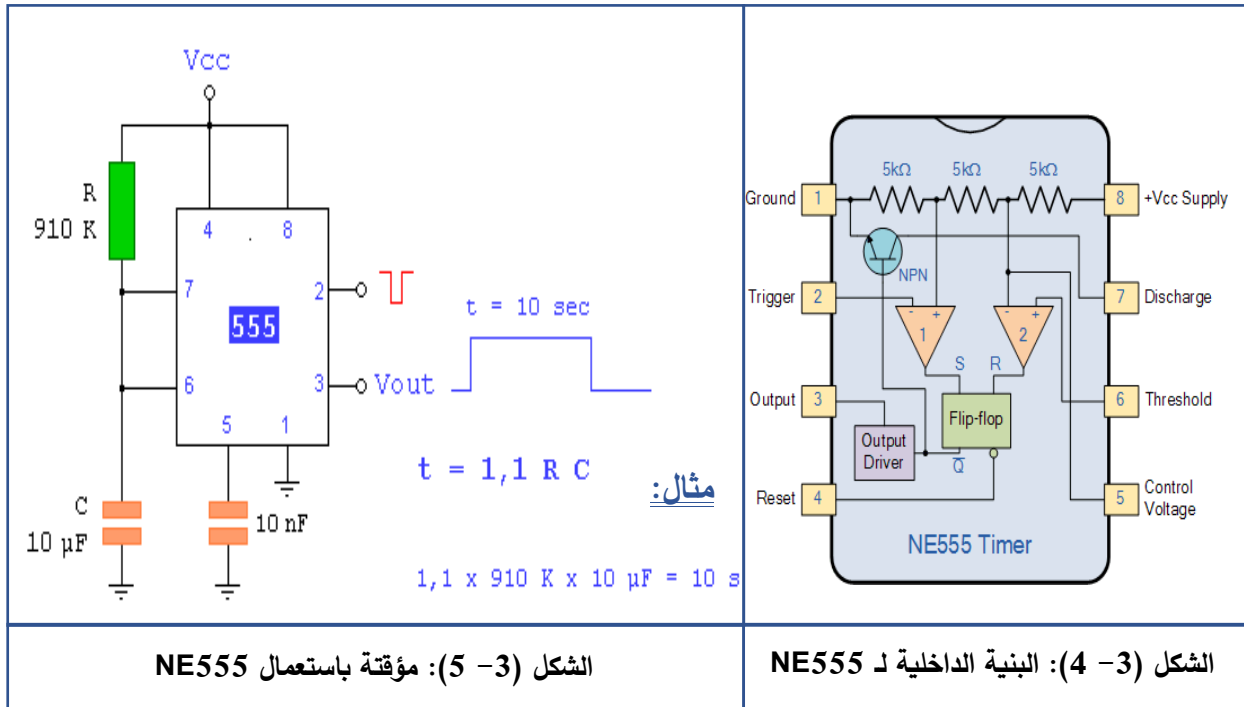
- الزمن الخاص بالتغذية الكهربائية للمصباح

وعليه يمكن دمج دارة مؤجلة للتحكم في زمن التأجيل بدقة ونرمز لهذا الزمن بالرمز " T "

ومن الناحية التقنية تتغير حسب متطلبات كل بطاقة مراد إنجازها ومن أجل ذلك تم اختيار دارة مؤجلة

باستعمال الدارة المندمجة " NE 555 " تعمل كقلاب أحادي الإستقرار والتي تعد من أشهر الدارات

المخصصة لهذا النوع من التطبيقات، التركيب المقابل يوضح مبدأ عمل هذه المؤجلة:



مبدأ العمل

يُستخدم المؤقت NE555 في نمط التشغيل الأحادي (Monostable Mode) لتوليد نبضة

واحدة ذات عرض زمني محدد عند كل إشارة تحفيز خارجية

- في الحالة الابتدائية يكون جهد المخرج Vs المتصل بالرجل رقم 3 في المستوى المنخفض (0V)، يكون المقحل الداخلي (Tr) الموصول بالرجل رقم 7 في حالة تشبع، مما يسمح بتفريغ المكثفة C كلياً.
- عند وصول نبضة تحفيز (Trigger) إلى الطرف 2، بحيث يكون جهدها أقل من ثلث جهد التغذية (1/3Vcc)، يقوم المقارن الداخلي Comp2 بتغيير حالة القلاب RS، مما يؤدي إلى تغيير حالة المخرج Vs إلى المستوى المرتفع (Vcc) ويتم في نفس اللحظة تعطيل عمل المقحل الداخلي (Tr)، مما يسمح للمكثفة C بالشحن بشكل أسي عبر المقاومة R المتصلة مع Vcc.
- عندما يصل الجهد بين قطبي المكثفة C إلى ثلثي جهد التغذية (2/3Vcc)، يقوم المقارن الداخلي Comp1 بتغيير حالة القلاب RS مرة أخرى، مما يؤدي إلى رجوع المخرج Vs إلى المستوى المنخفض (0V)، وفي نفس الوقت يعود المقحل الداخلي إلى حالة التشبع، فتفرغ المكثفة C شحنتها بسرعة، وتعود الدارة إلى حالتها الابتدائية فتنتهي النبضة، فتبقى على هذه الحالة حتى يتم إرسال نبضة تحفيز من جديد.

يمكن تحديد عرض النبضة الناتجة بدقة عبر اختيار قيمة المقاومة R والمكثف C وفق العلاقة الزمنية:

$$T=1.1 \times R \times C \quad (1.3)$$

T: عرض النبضة بالثواني (s)

R: عبارة عن مقاومة متغيرة بالاووم (Ω)

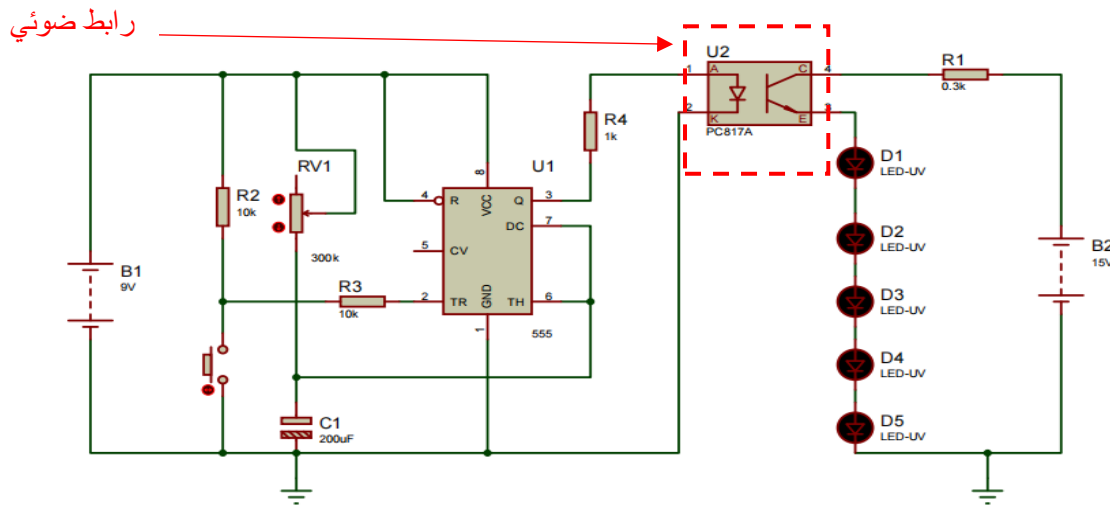
C: المكثفة بالفاراد (F)

3.2.3. فصل المصادر (Séparation des sources)

للتحكم في تشغيل مصباح الأشعة فوق البنفسجية (UV) بطريقة آمنة ومنفصلة عن بطاقة التحكم الإلكترونية، يُعتمد على تقنية فصل المصادر بين دائرة التحكم (الضعيفة) ودائرة الاستطاعة (القوية). يُعتبر هذا الفصل ضروريًا لحماية الدارة الحساسة من الجهود العالية ولضمان استقرار الأداء. يوجد نوعان أساسيان لفصل المصادر تم توظيف أحدهما حسب متطلبات التوتر المستعمل:

1.3.2.3 فصل المصادر باستعمال الرابط الضوئي (Optocoupleur)

يُستخدم الرابط الضوئي لعزل دائرة التحكم عن دائرة الاستطاعة كهربائيًا، حيث يُحوّل التيار الداخل إلى ضوء عبر LED داخلي، يؤدي إلى تشبع المقفل الضوئي في الجهة الأخرى. يضمن هذا الفصل أمان الدارة الإلكترونية من التوترات المرتفعة. والتركييب على النحو التالي:

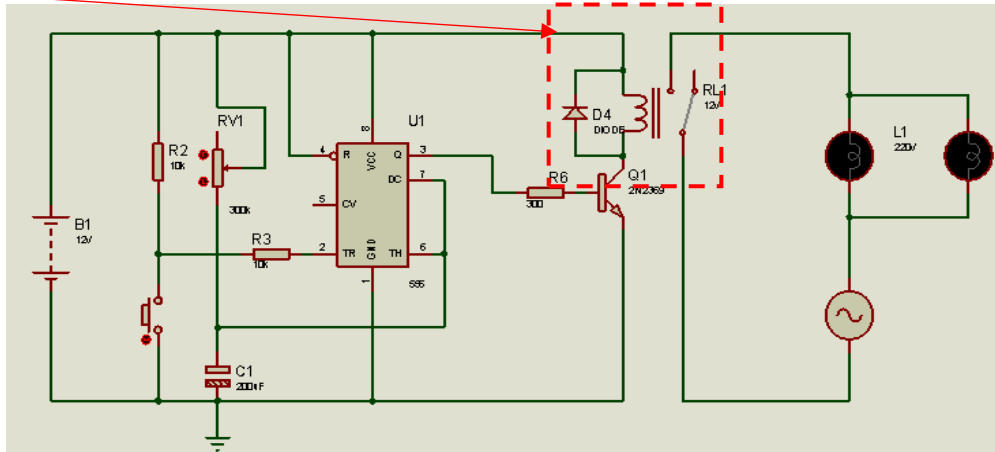


الشكل (3-6): فصل المصادر باستعمال الرابط الضوئي (Optocoupleur)

2.3.2.3 فصل المصادر باستعمال مرحل (Relais)

بنفس مبدأ العمل السابق يمكن أن نعتمد على هذا التركيب لفصل المصادر في حال تشغيل المصباح بجهد مرتفع (220V)، يستخدم مرحل كهروميكانيكي يُتحكم فيه بواسطة ترانزستور يعمل كمفتاح إلكتروني وتتم إثارته بواسطة إشارة من دارة المؤجلة والتركييب على النحو التالي:

مرحل كهروميكانيكي

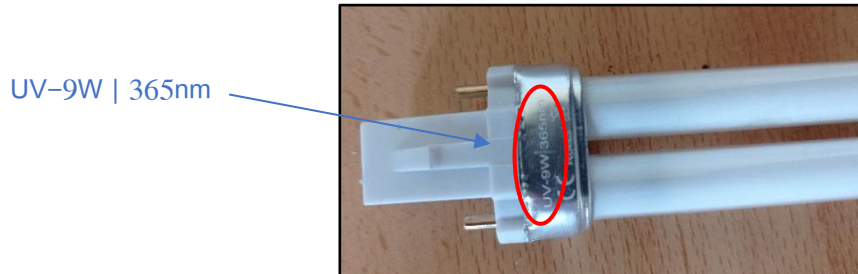


الشكل (3-7): فصل المصادر باستخدام المرسل (Relais)

4.2.3. طابق الأشعة فوق البنفسجية (Bloc d'irradiation UV)

يُعد طابق الأشعة فوق البنفسجية من أهم مكونات النظام، حيث يُمثل المرحلة الأولى في سلسلة إنجاز الدارة المطبوعة. يتم خلاله نقل النموذج الضوئي إلى الطبقة الحساسة حيث يتم تعريض هذه الأخيرة للضوء فوق البنفسجي (UV-A) وفق شروط مدروسة تضمن جودة المسارات النهائية للدائرة الإلكترونية.

- تم الإعتماد على 4 مصابيح فلورية (Fluorescent) بطول موجي مناسب 365 nm وبقدرة مناسبة (9W لكل مصباح)، وتم تركيب المصابيح بمسافة قدرها 15 سم عن البطاقة وذلك للحصول على فعالية ضوئية كافية دون التسبب في إتلاف الطبقة الحساسة للبطاقة.



الشكل (3-8): صورة حقيقية للمصباح

- يتم التحكم في زمن تشغيل المصباح عبر دارة المؤقت NE555، حيث تسمح هذه الدارة بتحديد زمن التعريض بدقة (بين 1 إلى 10 دقائق) حسب نوع البطاقة المستعملة وقوة المصابيح.
- تم تثبيت المصباح داخل صندوق عازل للضوء لمنع تسرب الأشعة إلى الخارج، كما تم وضع عاكسات داخلية عبارة عن ورق الألمنيوم لتحسين توزيع الضوء على كامل سطح البطاقة.



الشكل (3- 9): صورة العاكس الداخلي

• التحكم في الإستطاعة

المصابيح التي تم استخدامها في المشروع قمنا باستخراجها من جهاز إصلاح شاشات الهواتف الذكية، حيث تستخدم هذه الأجهزة عادة لتثبيت الغراء بواسطة الأشعة فوق البنفسجية، هذه المصابيح تحتوي على دارة تغذية مدمجة تسمح بتشغيلها مباشرة دون الحاجة إلى دمج دارة تحكم في الاستطاعة. لهذا السبب لم يتم اعتماد أي نظام للتحكم في شدة الاضاءة نظراً لأن المصابيح تعمل بقدرتها الإسمية المحددة مسبقاً من المصنع وتقدم إنارة مستقرة ومناسبة لعملية التعريض.

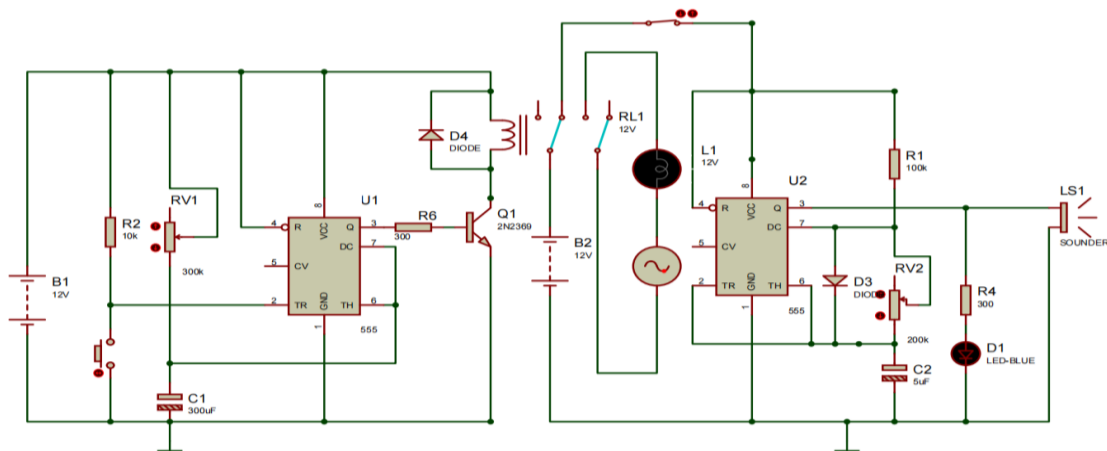
ملاحظة: لتعزيز السلامة والتحكم اليدوي تم إضافة مفتاح كهربائي (Interrupteur) على خط تغذية المصابيح، مما يمكّن المستخدم من قطع وتوصيل التيار بسهولة عند الحاجة.

5.2.3. طابق الإنذار (Bloc d'alarme)

بعد انقضاء زمن التعريض المحدد مسبقاً للطاقة للأشعة فوق البنفسجية، يصبح من الضروري إصدار تنبيه واضح للمستخدم لإعلامه بانتهاء المرحلة. ولهذا الغرض تم تصميم طابق الإنذار اعتماداً على الدارة المندمجة NE555 المبرمجة في نمط التشغيل غير المستقر. حيث تقوم بتوليد إشارات نبضية مستمرة (تشغيل/إيقاف) عند تفعيلها. تم ربط مخرج القلاب اللامستقر بجرس كهربائي (Buzzer) وثنائيات ضوئية لإنتاج إنذار مزدوج صوتي وضوئي. يقوم المرحل ثنائي القطب (Double Throw) بتغيير وضعيته تلقائياً عند انتهاء زمن المؤقت الرئيسي، فيقوم بتغذية دارة التذبذب المعتمدة على NE555، مما يؤدي إلى تشغيل الجرس وثنائيات الضوئية بشكل متقطع. هذا التذبذب يجعل الإنذار أكثر وضوحاً وفعالية مقارنة بالإنذار المستمر، ويزيد من احتمالية ملاحظته في بيئات العمل الصاخبة أو منخفضة الإضاءة. ويمكن تعديل تردد إشارات التشغيل والإيقاف بضبط قيم المقاومات والمكثفات الخاصة بالدارة NE555 وفقاً للعلاقة الموالية:

$$T = \ln(2) \times (R_1 + 2R_2) \times C \quad 2.3$$

والشكل (10-3) يوضح مبدأ العمل :



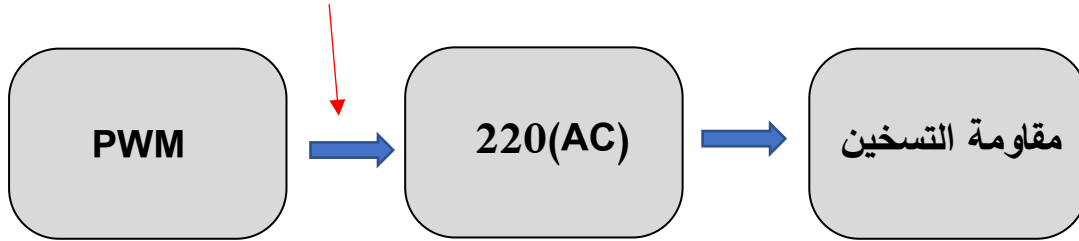
الشكل (10-3): الرسم التخطيطي لدارة الإنذار

6.2.3. طابق التسخين (Bloc de Chauffage)

باعتبار مرحلة تعويم البطاقة (PCB) في محلول كلوريد الحديدك ($FeCl_3$) من أهم مراحل إنتاج الدوائر المطبوعة، حيث تتطلب هذه المرحلة ظروفاً حرارية دقيقة لضمان حفر منتظم ونظيف لطبقة النحاس الغير مرغوب فيها. ومن بين أهم الشروط التي يجب تحقيقها، الحفاظ على درجة حرارة تتراوح بين 60 إلى 80 درجة مئوية، إذ أن تجاوز هذه العتبة يؤدي إلى تفاعلات كيميائية غير مرغوب فيها، قد تتسبب في إنتاج غازات سامة أو تؤثر سلباً على دقة الحفر.

ارتأينا تحقيق هاته الشروط في الطابق الموالي:

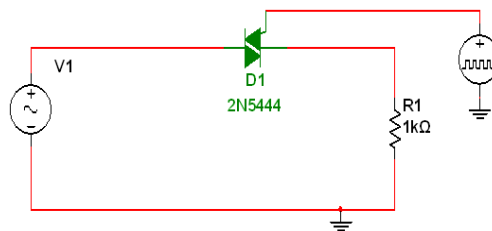
موحل لفصل دارة التحكم عن دارة الاستطاعة



الشكل (3- 11): التصميم الصندوقي لطابق التسخين

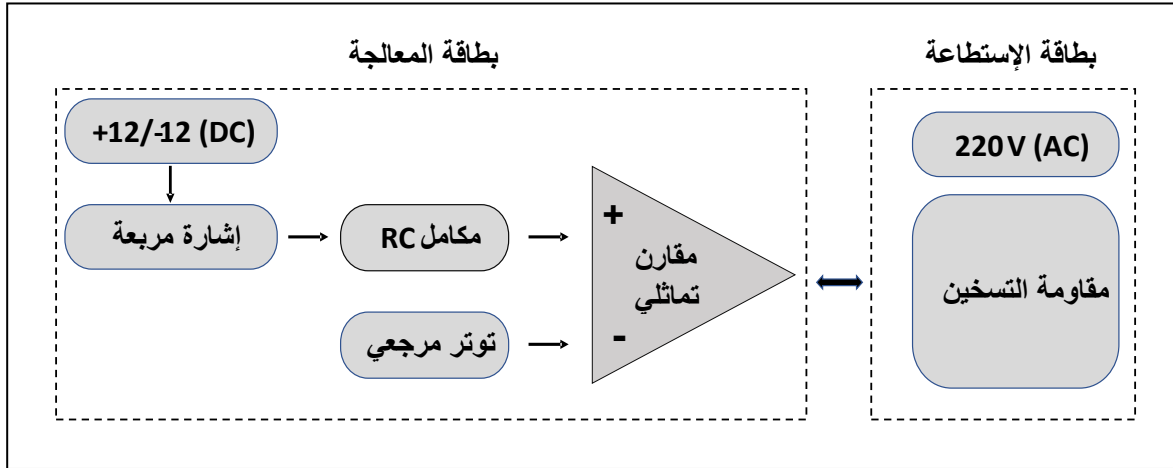
انطلاقاً من هذه المتطلبات، نستطيع استخدام بطاقة إلكترونية للتحكم في استطاعة التسخين عبر تحليل تماثلي، وهذا من أجل تثبيت درجة الحرارة ضمن المجال المطلوب، مع الاستعانة بعناصر إلكترونيك القدرة مثل الترياك أو الموحدات المحكومة. هذا النظام يسمح بتعديل درجة الحرارة بسهولة من خلال التحكم في النسبة الدورية μ للإشارة المتحكمة في الطاقة المسلطة على المسخن. وذلك وفق

التركيب التالي:



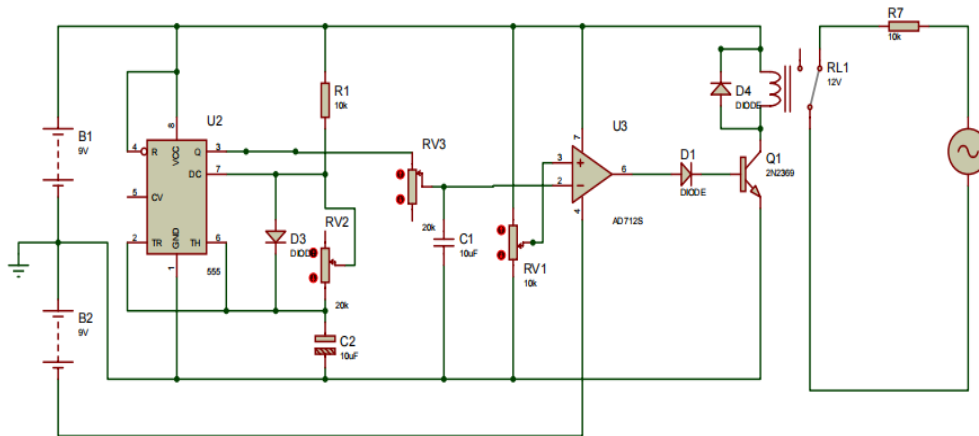
الشكل (3- 12): التحكم في درجة الحرارة باستخدام الترياك

من الناحية التقنية، يمكن تحقيق النتائج نفسها في التحكم بدرجة حرارة المسخن باستخدام تقنية تعديل عرض النبضة (PWM)، وذلك من خلال توليد إشارة نبضية ذات نسبة دورية قابلة للتعديل، حيث تُغذي وتُفصل مصادر الإشارة والتحكم بواسطة مرحل عزل مناسب، يضمن سلامة العناصر الإلكترونية واستقرار عمل النظام. وذلك وفق التصميم الصندوقي المقابل :



الشكل (3-13): التصميم الصندوقي لتقنية PWM

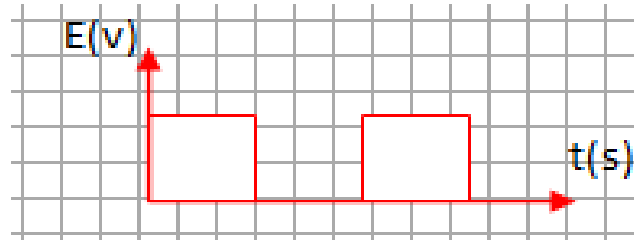
والتصميم الكهربائي يكون كالتالي:



الشكل (3-14): التصميم الكهربائي لتقنية PWM

1.6.2.3. مبدأ عمل تقنية تعديل عرض النبضة (PWM)

لتكن الإشارة التالية حيث نأخذ $E=cte$:



الشكل (3-15): إشارة التحكم في مقاومة التسخين

القيمة المتوسطة لهذه الإشارة هي :

$$\bar{E} = \frac{1}{T} \int_0^T E(t) dt \quad (2.3)$$

علما أن:

$$E(t) = \begin{cases} E = 10v & t_1 > t > 0 \\ E = 0 & t_2 > t > t_1 \end{cases} \quad (3.3)$$

إذا بالتطبيق نجد:

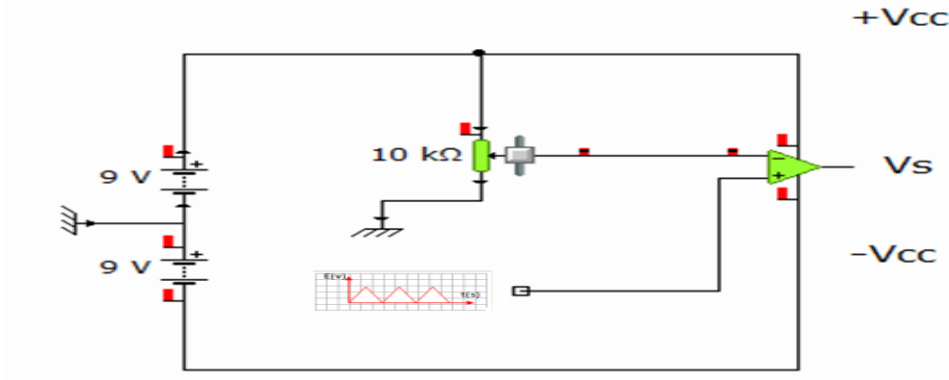
$$\bar{E} = \frac{1}{T} \int_0^{t_1} E(t) dt + \int_{t_1}^{t_2} E(t) dt$$

$$\bar{E} = \frac{1}{T} [E] \quad 0 \rightarrow t_1$$

$$\Rightarrow \bar{E} = \frac{1}{T} E t_1 \quad (4.3)$$

- من المعادلة الأخيرة نجد أن العلاقة الرياضية طردية بين القيمة المتوسطة وقيمة المدة t_1
- هذا يعني أنه يمكن الحصول على قيمة وسطى متغيرة [من 0 إلى E] بتغيير القيمة الزمنية t [من t_1 إلى t_2].

ولإنجاز هذه الإشارة مع إمكانية تغيير المدة الزمنية يجب تحقيق دارة كهربائية مبرمجة باستعمال ميكرو معالج أو باستعمال الدوائر التماثلية كما هو الحال في هذه المذكرة، وهذا بتحقيق الشكل التالي:



الشكل (3-16): طابق المقارنة

يعتمد هذا المبدأ كلياً على دارة المقارن حيث يعمل في المساحة غير الخطية وفق المعادلات

التالية :

$$V^+ > V^- \quad \Rightarrow \quad V_S = +V_{CC} \quad (5.3)$$

$$V^+ < V^- \quad \Rightarrow \quad V_S = -V_{CC} \quad (6.3)$$

من ناحية أخرى V^- يساوي الكمون المطبق على المعادلة αR ويساوي :

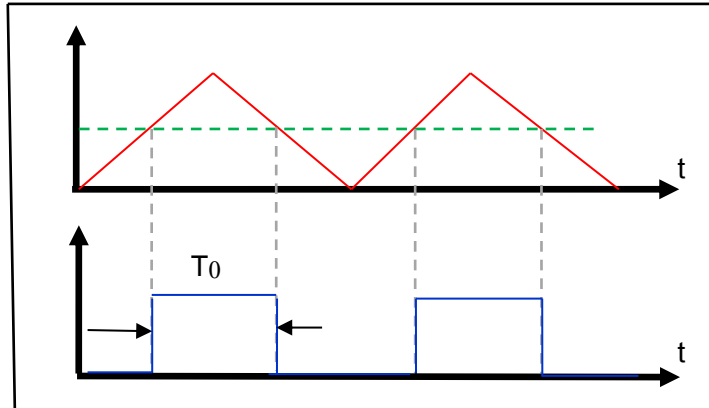
$$V_{ref} = \frac{\alpha R}{R} V_{CC} \quad (7.3)$$

وتكون هذه القيمة محصورة بين 0 و V_{CC} حسب قيمة α أي أن :

$$V_{ref} = V_{CC} \quad \Leftarrow \quad \alpha = 1 \quad \text{من أجل : } \blacktriangleright$$

$$V_{ref} = 0 \quad \Leftarrow \quad \alpha = 0 \quad \text{من أجل : } \blacktriangleright$$

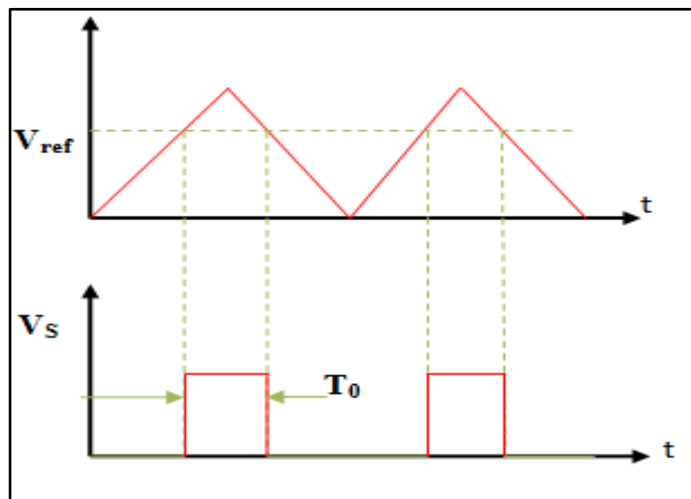
بالمقارنة مع الإشارة الموجودة في القطب الموجب ولتكن إشارة مثليه نجد الشكل التالي :



الشكل (3-17): الإشارة الناتجة

من أجل قيمة مغايرة لـ V_{ref} نجد إشارة مختلفة وهذا حسب المقارنة كما هو موضح في الشكل

التالي:

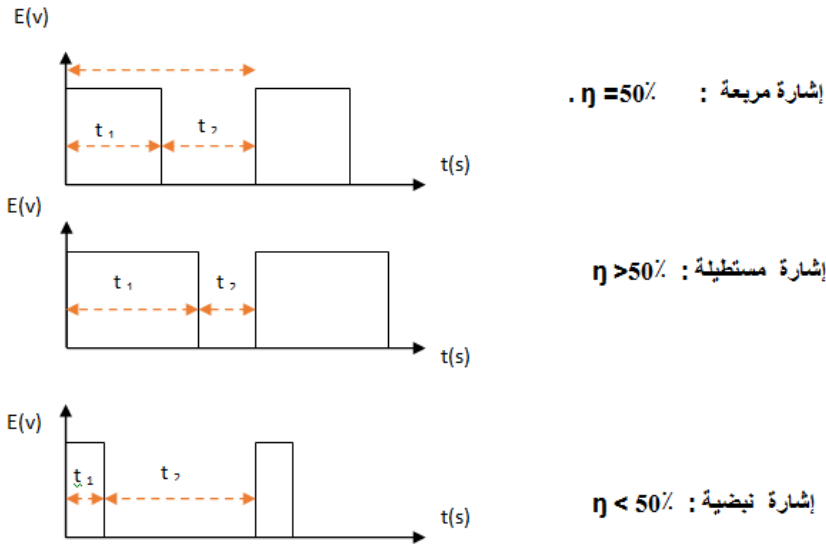


الشكل (3-18): الإشارة الناتجة

من هذا الشكل نستطيع أن نمذج أن الإشارة المتحصل عليها قد تكون مربعة أو مستطيلة أو نبضية

وهذا حسب قيمة αR .

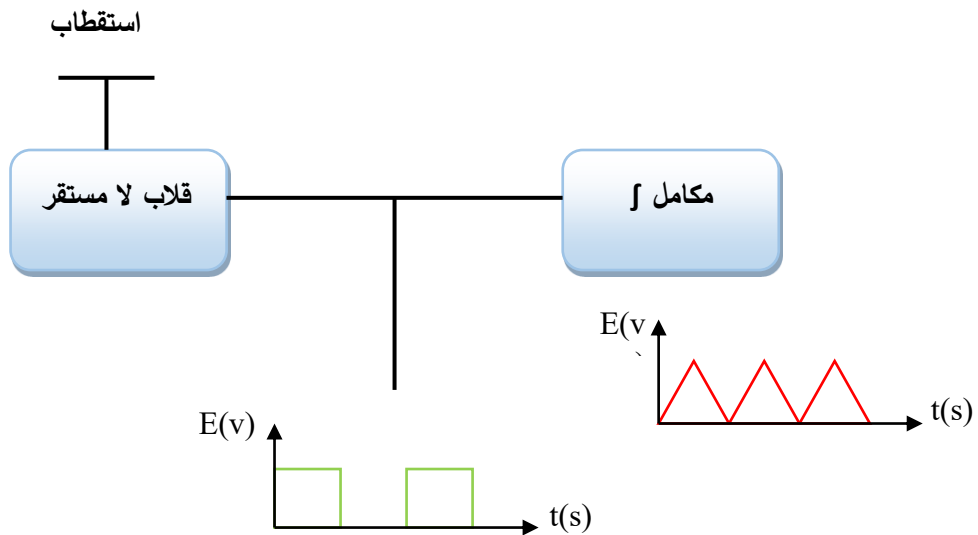
تعرف النسبة الدورية ب: $\eta = t/T$.



الشكل (3- 19): أشكال إشارة PWM

للحصول على إشارة مثلثية يجب تحقيق دارة مكامل للإشارة المربعة، الشكل الموالي يمثل المخطط

المسؤول على إنتاج إشارة مثلثية انطلاقاً من إشارة مربعة (قلاب لامستقر) .



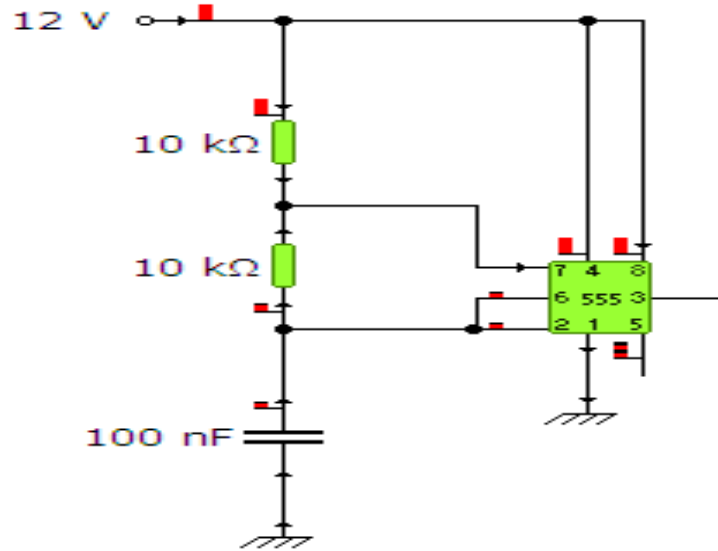
الشكل (3- 20): التصميم الصندوقي للحصول على إشارة مثلثية

❖ القلاب اللامستقر

يعد القلاب اللامستقر من الدارات شائعة الاستعمال حيث يقوم بإنتاج إشارات مربعة أو مستطيلة، قد تكون متناظرة أو غير متناظرة بالنسبة للمبدأ وهذا حسب طبيعة الإشارة المرغوب فيها ويمكن إستعمال هذا الأخير بأكثر من طريقة :

- اللامستقر بإستعمال المقحل .
- اللامستقر بإستعمال بوابات منطقية .
- اللامستقر بإستعمال المضخم العملي .
- اللامستقر بإستعمال الدارة المندمجة NE555 .

في هذه المذكرة نستعمل الدارة المندمجة NE555 لإنجاز اللامستقر وهذا لسهولة الإستعمال وقلّة شروط العمل ويمكن إنتاج إشارة مربعة ذات تردد عالي متحكم فيه، الشكل التالي يمثل قلاب لامستقر :



الشكل (3- 21): دارة قلاب لامستقر باستعمال NE555

❖ مبدأ العمل

نفرض أن جهد المخرج يكون في مستوى المرتفع V_{CC} ، المقحل الداخلي للدارة NE555 متوقف

و المكثفة C_2 تشحن عبر المقاومتين (R_2+R_1) إلى V_{CC} عندما يصل الجهد بين قطبيها إلى :

$$V_{ref} = 2V_{CC} / 3$$

المقارن الداخلي Comp1 يتغير إلى المستوى المرتفع يوافق تغير في حالة المخرج V_S من

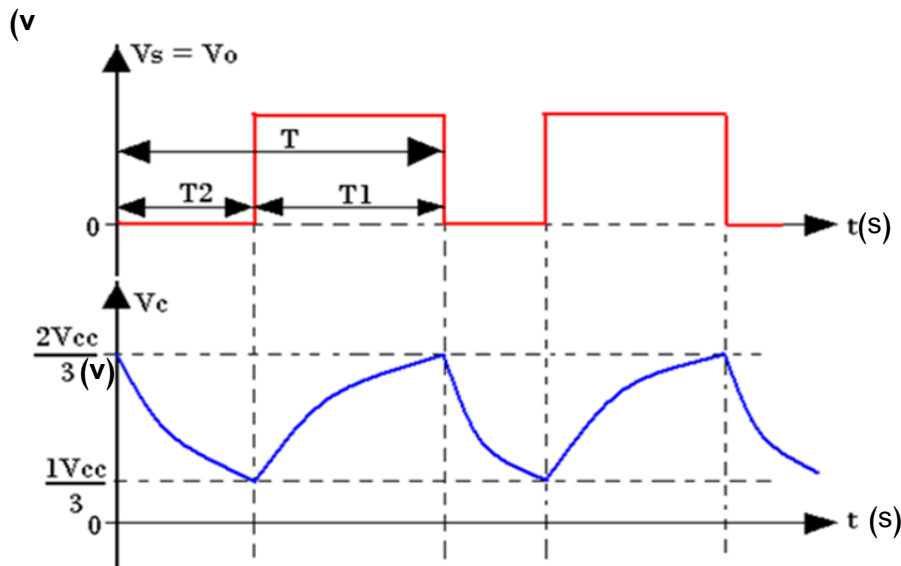
المستوى المنخفض. المقحل الداخلي متشبع و المكثفة C_2 تفرغ عبر المقاومة R_2 ، لما الجهد بين قطبي

المكثفة يصل إلى :

$$V_{ref} = V_{CC} / 3$$

المقارن الداخلي Comp2 يشغل القلاب RS مما يجعل المخرج V_S في المستوى المرتفع و

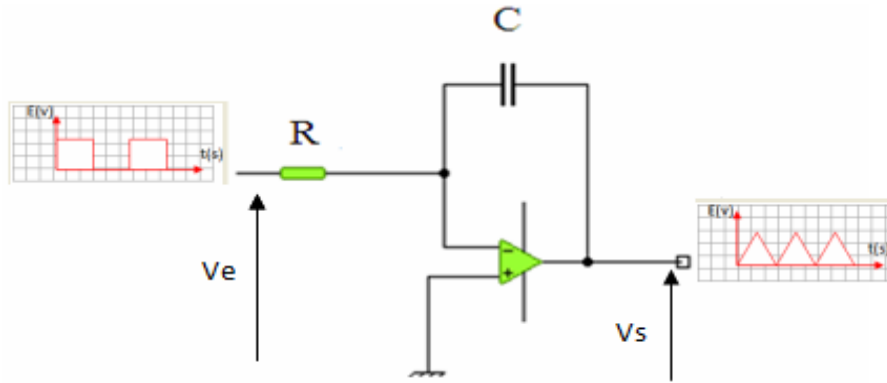
الدورة تتواصل على هذا المنوال.



الشكل (3-22): منحنى المخرج V_S بدلالة جهد المكثفة V_C

❖ دائرة المكامل

يمكن إستعمال دائرة المكامل بتحقيق التركيب التالي :



الشكل (3- 23): تركيبية المكامل

البرهان الرياضي :

$$V_R = RI = V_e - V^- \quad (8.3)$$

$$V_C = (q/c) = V^- - V_s \quad (9.3)$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{dq}{dt} = \frac{V_e - V^-}{R} \quad (10.3)$$

$$\Rightarrow V^- = V^+ = 0 \quad (11.3)$$

$$V_R = V_e \text{ et } V_C = -V_s \quad (12.3)$$

$$V_R = RI = R \frac{dq}{dt} = V_e$$

$$\Rightarrow \frac{dq}{dt} = \frac{V_e}{R} \quad (13.3)$$

$$v = \frac{q}{c} \quad (14.3)$$

$$\Rightarrow \frac{dv_c}{dt} = \frac{1}{c} \frac{dq}{dt} = \frac{1}{c} \frac{V_e}{R} = \frac{1}{Rc} V_e$$

$$v_s = -v_c \Rightarrow \frac{dv_s}{dt} = -\frac{dv_c}{dt} = \left(-\frac{1}{Rc}\right) V_e$$

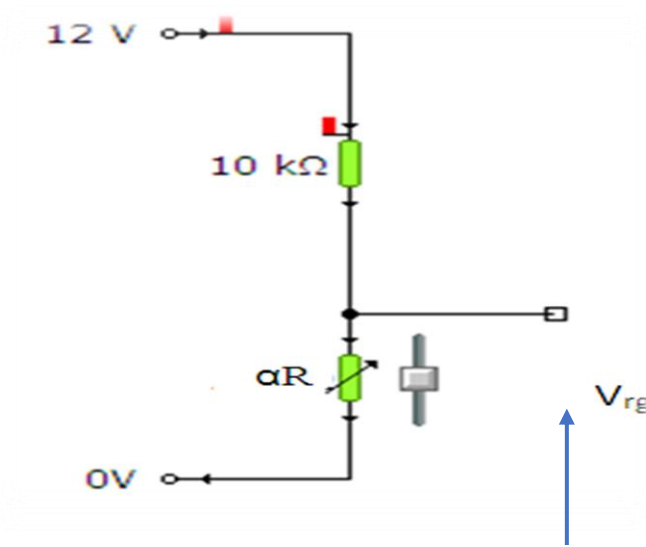
$$\Rightarrow dv_s = \left(-\frac{1}{Rc}\right) V_e dt$$

$$\Rightarrow \int_{v_s(0)}^{v_s(t)} dv_s = v_s(t) - v_s(0) = \left(-\frac{1}{Rc}\right) \int_0^t V_e \cdot dt$$

ومنه:

$$v_s(t) = \left(\frac{-1}{Rc}\right) \int_0^t v_e dt + v_s(0) \quad (15.3)$$

تعتمد تقنية PWM علي مقارنة إشارتين أحدهما ثابتة و الأخرى متغيرة ولتكن إشارة مثلثية. في هذا التركيب نشرح مبدأ تغيير القيمة المرجعية وهذا من أجل تغيير إشارة المخرج من نبضية إلى مستطيلة (تغيير النسبة الدورية).



الشكل (3- 24): تصميم كهربائي لتغيير القيمة المرجعية

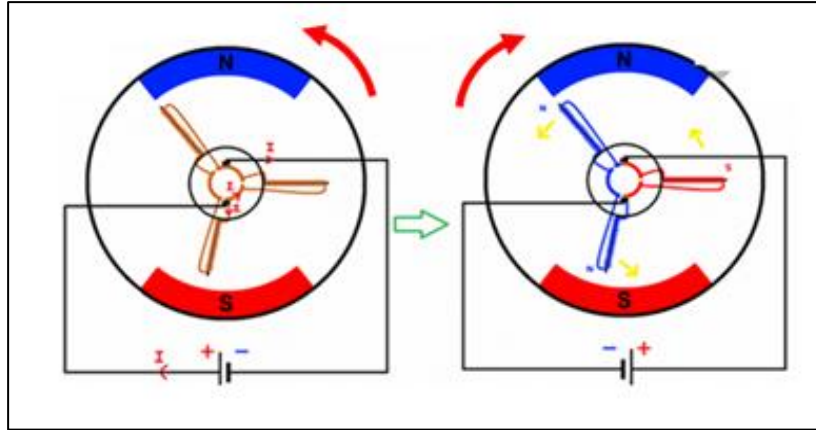
$$V_{ref} = \frac{\alpha R}{\alpha R + R} V_{CC} \quad (16.3) \quad \text{من التركيب نجد أن:}$$

وتكون هذه القيمة متغيرة حسب قيمة α .

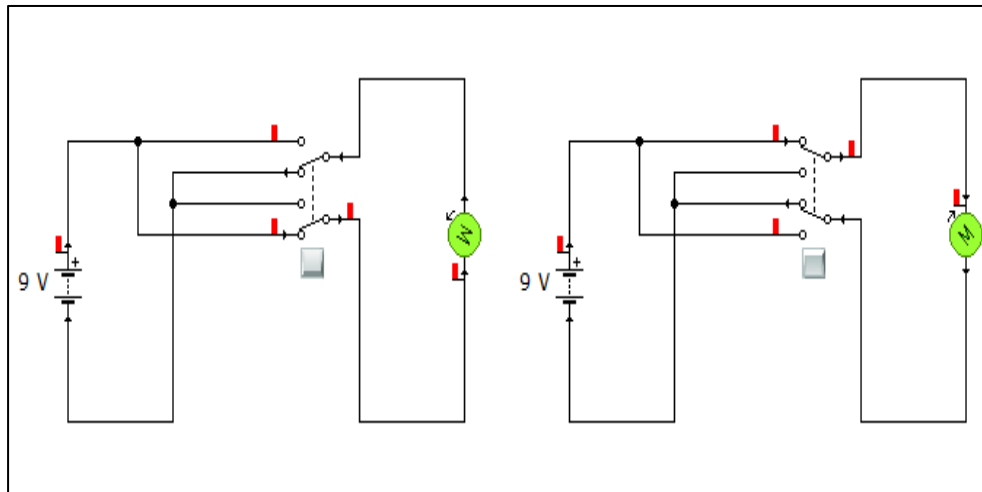
7.2.3 التحكم في إتجاه المحرك

تعتبر هذه المرحلة من أهم مراحل المشروع حيث يقوم هذا الطابق بالتحكم في تغيير اتجاه المحرك المسؤول عن تحريك البطاقة داخل وعاء المحلول خلال مختلف المراحل (NaOH / ماء / $FeCl_3$) يمينا ويسارًا بشكل دوري وذلك لتسريع التفاعل وعملية الحفر.

باعتبار أن المحرك يعمل على تحويل الطاقة الكهربائية إلى الطاقة الميكانيكية تتناسب مع الطاقة المقدمة (توتر الإستقطاب) أو تيار التغذية، هذا الأخير يُمكن من تغيير إتجاه الدوران وفق إتجاه التيار و هذا مبيّن في التركيب المقابل:



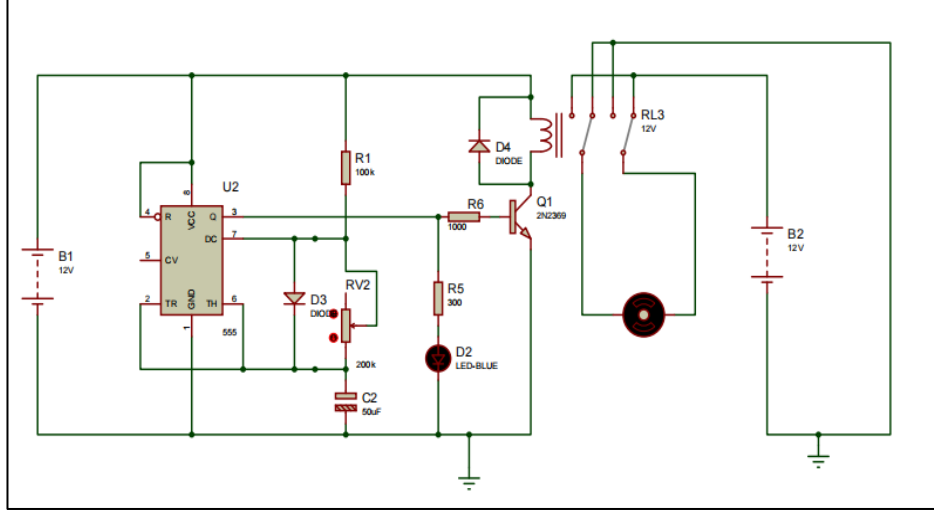
الشكل (3- 25): مبدأ إستقطاب المحرك MCC



الشكل (3- 26): قاطعة مزدوجة لإستقطاب المحرك

التركيب السابق يعمل على تغيير إتجاه المحرك بطريقة مبسطة وغير عملية، حيث يعتمد على وضعية القاطعة المزدوجة والتي تعمل على تغيير إستقطاب المحرك بتغيير قطبي المولد بشكل يدوي. أما التركيب المعتمد في هذه المذكرة يعمل عن طريق مرحل مزدوج (DPDT) يتم التحكم فيه اليا بدارة الكترونية (NE555) تعمل كقلاب لا مستقر، تقوم بإنتاج إشارة دورية تفعل المرحل بشكل دوري،

هذه الإشارة تغير حالة المرحل كل فترة زمنية محددة (قمنا بضبطها لمدة 3.5 ثانية) مما يؤدي إلى عكس قطبية التيار المار في المحرك وبالتالي يتغير اتجاه دوران المحرك بشكل أوتوماتيكي وهذا مايسمح بتحريك البطاقة داخل الوعاء بكفاءة وانتظام وهذا وفق التركيب التالي التركيب المقابل :



الشكل (3- 27): الرسم التخطيطي لدائرة التحكم في اتجاه تغيير دوران المحرك

يعد هذا الحل بسيطاً من حيث التركيب، ويتميز بكونه آلي التحكم، منخفض التكلفة، وقابل للتعديل حسب الحاجة من خلال تغيير عناصر الدارة المندمجة NE 555 لضبط زمن التردد.

8.2.3. المعالجة الكيميائية

بعد انتهاء مرحلة التعريض بالأشعة فوق البنفسجية، تمر البطاقة المطبوعة بسلسلة من المعالجات الكيميائية المتتابة، تهدف إلى إظهار المسارات الكهربائية المطلوبة، ثم إزالة النحاس الزائد للحصول على دارة نهائية جاهزة:

- **مرحلة الغسل بمحلول NaOH** : يتم غمر البطاقة في وعاء محلول هيدروكسيد الصوديوم وهذا لإزالة الأجزاء غير المتعرضة للأشعة على الطبقة الحساسة. وتتم العملية بعد انتهاء زمن التعريض يفعل

جرس الإنذار فيتم نزع البطاقة وغمرها يدويا في الوعاء الذي يحتوي على المحلول الذي يتم التحكم في اتجاه حركته بالمحرك. زمن هذا التفاعل يعتمد على تركيز المحلول ونوع المادة الحساسة.

• **مرحلة الغسل بالماء:** بمجرد الانتهاء من الغسل ب (NaOH)، يتم غسل البطاقة بالماء لإزالة

بقايا NaOH ومنع أي تفاعل لاحق غير مرغوب فيه

• **مرحلة الحفر النحاسي باستخدام محلول كلوريد الحديدك $FeCl_3$:** في هذه المرحلة تُغمر

البطاقة في محلول $FeCl_3$ الذي يعمل على إزالة النحاس غير المغطى بالطبقة المحمية (أي المسارات

الغير معرّضة للضوء والمحمية). لضمان دقة الحفر وجودته، زمن الغمر يعتمد على تركيز المحلول

ودرجة حرارته للحصول على نتائج جيدة. ولتسريع التفاعل وتحقيق توزيع أفضل، يتم تحريك الوعاء

باستخدام المحرك الذي يتم التحكم في اتجاه حركته، مما يُقلل من الزمن اللازم للحفر ويحسن جودة

المسارات.

الخاتمة

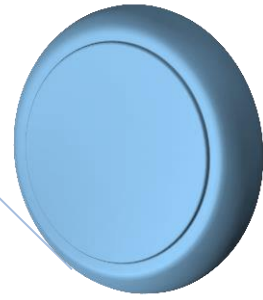
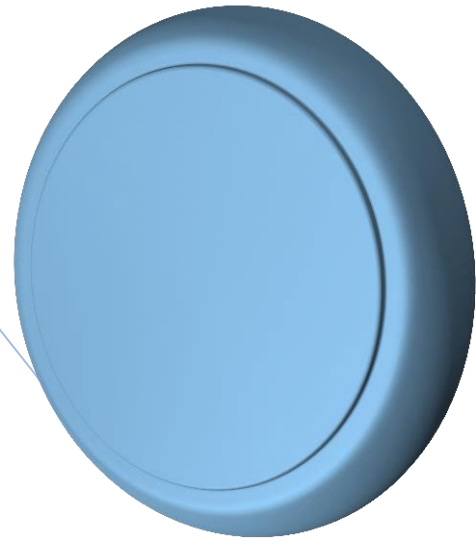
من خلال التصميم الصندوقي المقترح تم تحليل المشروع و شرح مبسط لمبدأ عمل كل طابق و

توصلنا إلى جميع النتائج المسطرة سلفا وهذا وفق مبادئ و نظريات التحليل الإلكتروني و كيفية التعامل

مع التحديات التقنية، وعليه يمكن الشروع في المرحلة الأخيرة وهي مراحل إنجاز البطاقة المطبوعة و

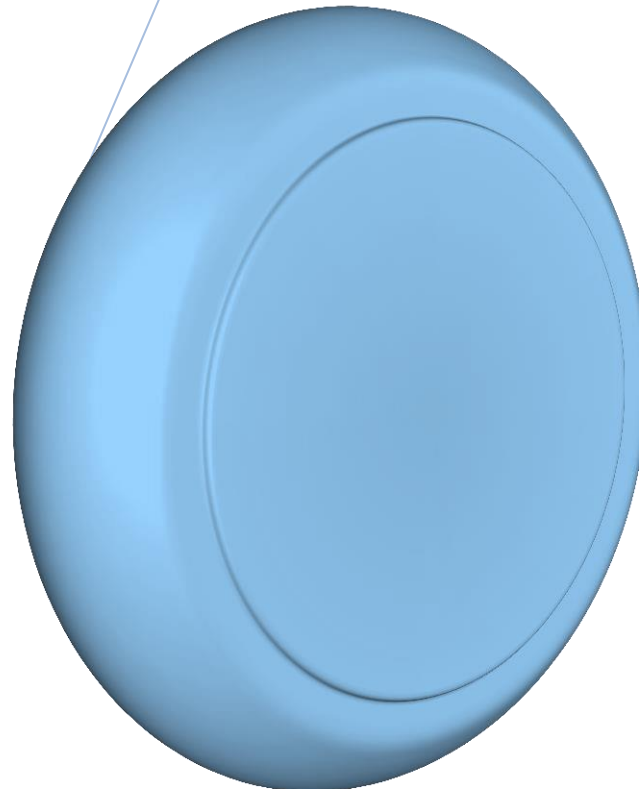
تلحيم العناصر و من ثم التحقق من مدى فعالية المشروع الموضح في دفتر الشروط سنتطرق في

الفصل الرابع إلى محاكاة مختلف التراكيب المستعملة في المشروع.



الفصل الرابع:

المحاكاة وإنجاز المشروع



مقدمة

بعد الدراسة النظرية التي تناولناها في الفصول السابقة، ننتقل في هذا الفصل إلى مرحلة المحاكاة الشاملة لجميع الدوائر الإلكترونية وطوابق المشروع باستخدام أحد البرامج المتطورة، حيث يجب أن تمتلك قاعدة بيانات متطورة تواكب متطلبات التكنولوجيا الحديثة التي تسمح بنمذجة التركيب بشكل دقيق كما لو أن التجارب تُنفذ على أرض الواقع. كما سيتم مقارنة النتائج المتحصل عليها من خلال المحاكاة مع النتائج التطبيقية، بهدف التأكد من صحة التصميم وكفاءة أداء كل جزء من النظام، ولربط الجانب النظري بالتطبيق العملي، وإبراز أهمية المحاكاة كأداة فعّالة في تقليل الأخطاء وتسهيل تنفيذ المشروع على أرض الواقع.

بعد التأكد من تطابق المحاكاة مع النتائج التطبيقية، ننتقل إلى مرحلة إنجاز المشروع النهائي، والتي تشمل تلحيم جميع العناصر الإلكترونية على اللوحة، وتركيب الجهاز بشكل كامل، واختبار عمله كما يتم خلال هذه المرحلة تشخيص الأعطال إن وجدت، وتحليل أسبابها واقتراح حلول مناسبة لها.

1.4. تعريف المحاكاة (Sumilation)

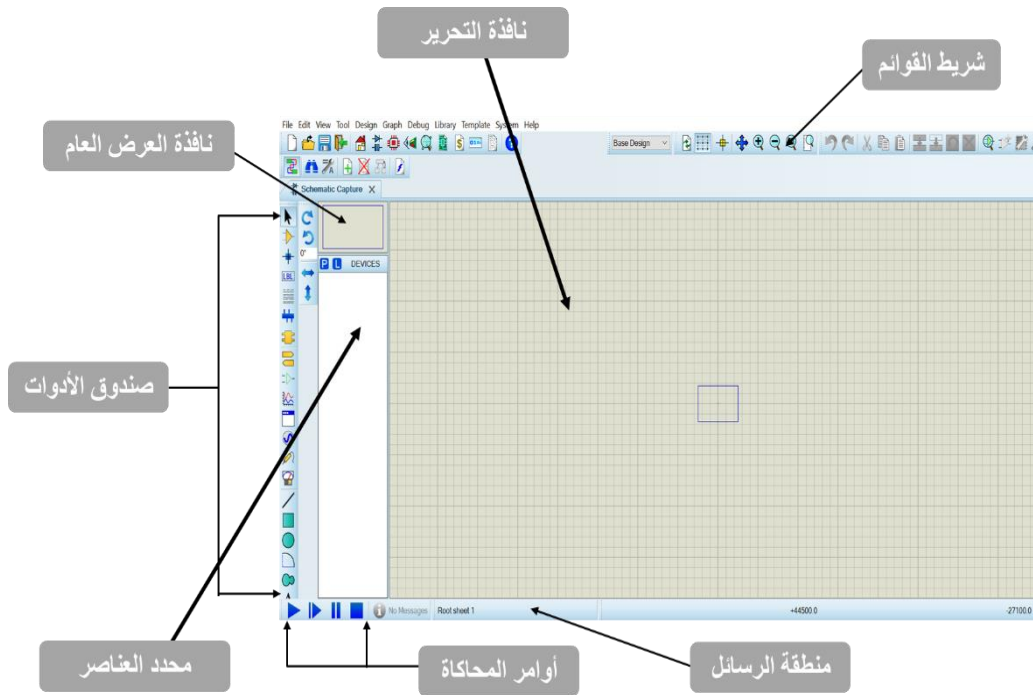
وهي عملية تقليد لأداة حقيقية أو عملية فيزيائية أو حيوية إذ تعتبر أفضل طريقة لاختصار الوقت و هذا لإنجاز أي مشروع حيث يمكننا برنامج المحاكاة من الحصول على نتائج كما لو أنها مجسمة تطبيقيا في المخابر، إذ تحتل أهمية عند الباحثين فهو يعمل على نمذجة كل عنصر الكتروني وإدخاله في برنامج خاص بالمحاكاة ويتعامل مع ربط العناصر بمعادلات رياضية عالية الدقة وبعد النتائج والحلول الرياضية والتي تكون ضمن البرنامج يستطيع هذا الأخير إعطاءنا النتائج من منحنيات أو تيارات أو توترات كما لو أنها دقيقة مع إمكانية اعتبار كل عنصر مثالي أو حقيقي قبل بداية المحاكاة.

2.4. البرامج المستعملة

وقد اختير لهذا الغرض برنامج Proteus 8 Professional وبرنامج Express PCB.

1.2.4. تعريف برنامج المحاكاة Proteus

برنامج Proteus هو برنامج محاكاة وتصميم التراكيب الإلكترونية قبل تنفيذها فعليًا على لوحة تجريبية قصد معرفة النتائج وتدوينها، يُستخدم على نطاق واسع من قبل المهندسين، التقنيين، والطلاب... لتمييزه بواجهة رسومية سهلة والقدرة على دمج تصميم الدوائر الإلكترونية مع البرمجة المدمجة في منصة واحدة كما يعمل أيضا على برمجة المعالجات الدقيقة وكذلك تخطيط تصاميم الدوائر المطبوعة.

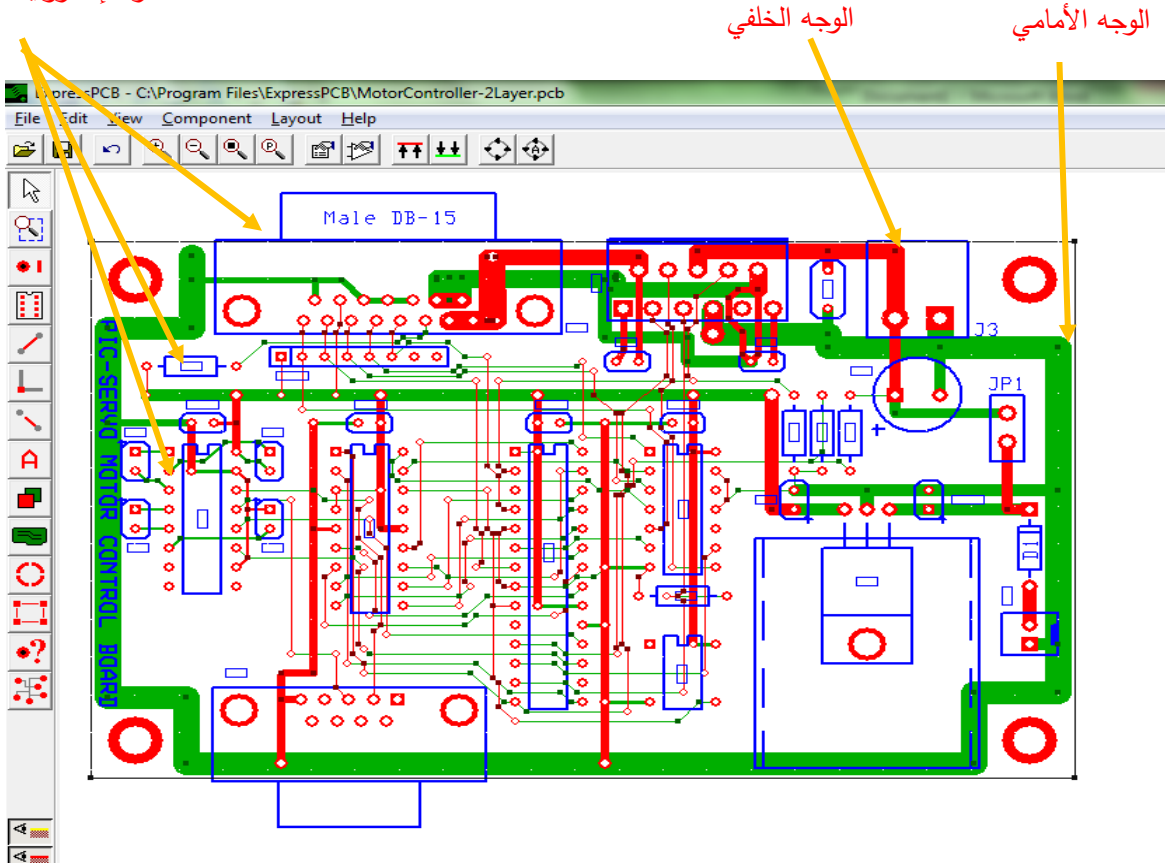


الشكل (4 - 1): واجهة برنامج المحاكاة Proteus 8 Professional

2.2.4. تعريف برنامج Express PCB

هو برنامج متخصص فقط في تصميم ورسم الدوائر الإلكترونية المطبوعة (PCB) ، يتميز بدقته العالية في تمثيل الأبعاد الفيزيائية الحقيقية للمكونات الإلكترونية، سواء التقليدية أو المُسطَّحة (CMS) كما يحتوي على قاعدة بيانات شاملة تشمل معظم العناصر الإلكترونية التماثلية والرقمية. ويُصنَّف على أنه أداة تصميم وليس برنامج محاكاة، حيث لا يدعم اختبار سلوك الدارة بشكل ديناميكي، بل يُركِّز على الجانب العملي في تخطيط اللوحة المطبوعة، مع إمكانية التصميم على طبقة واحدة أو طبقتين.

العناصر الإلكترونية



الشكل (4 - 2): الواجهة الرئيسية لبرنامج PCB Express

سنوضح طريقة العمل عليه في هذه الخطوات:

أ- الخطوة الأولى (اختيار العناصر)

بداية التركيب تكون باختيار العناصر من القائمة، Component Manager العديد من العناصر تكون مرفقة برقم لتسهيل معرفتها.

ب- الخطوة الثانية (وضع العناصر)

سحب كل عنصر إلى مكانه المطلوب في الدارة، وجود الشبكة يسهل عملية اصطافاف العناصر.

ت- الخطوة الثالثة (إضافة المسارات)

إضافة المسارات وذلك بالضغط على رجل العنصر المطلوب وسحبه إلى العنصر الآخر.

ث- الخطوة الرابعة (تحرير التركيب)

القيام بتعديلات على التركيب أمر سهل باستعمال أوامر قائمة الأدوات القياسية مثل نسخ قص ولصق، ويمكن كذلك إعادة ترتيب الأجزاء بسحبها بواسطة الفأرة دون الحاجة إلى إعادة إضافة المسارات لأنها تبقى متصلة، ويمكن أيضا وضع خصائص للعناصر فيكفي الضغط مرتين على العنصر لإضافة الخصائص

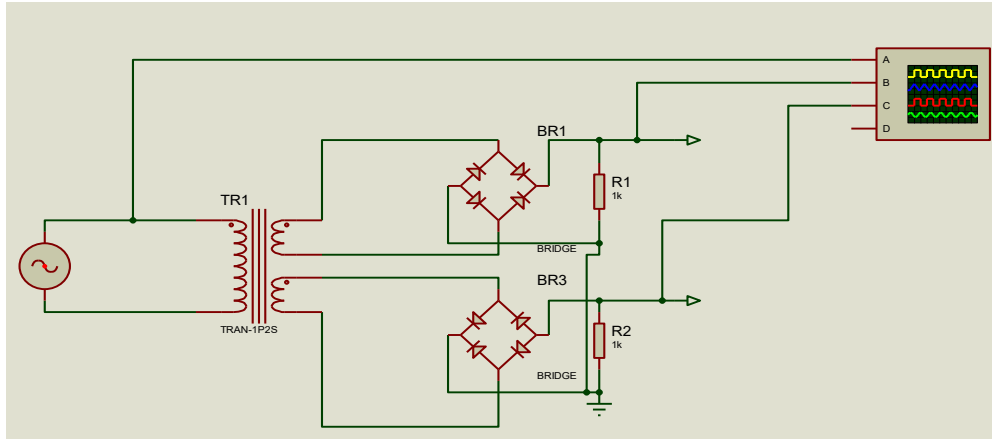
3.4. محاكاة الطوابق

1.3.4. طابق التغذية

نظرا لأن خصائص التيار الكهربائي الذي توفره المآخذ لا يتلاءم مع شروط التغذية للنظام الإلكتروني، فإننا قمنا بإنجاز دارة تغذية تسمح لنا بالحصول على الخصائص الكهربائية المناسبة لتشغيل مختلف طوابق مشروعنا، وذلك عن طريق التصميم المعمول به في الفصل الثالث حيث نمر على عدة مراحل للوصول الى التوتر مستمر وثابت.

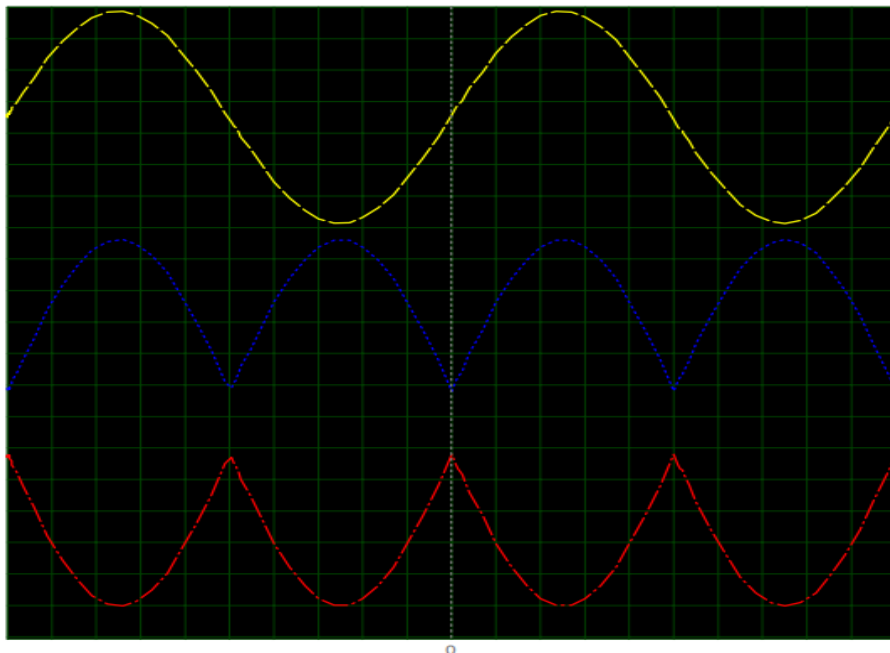
1.1.3.4. التقويم

بعد تخفيض الجهد باستخدام محول متعدد المخارج وذلك لتحقيق التغذية المتناظرة، يتمثل دور المقوم (جسر غريتس) في تحويل الإشارة ثنائية الإتجاه إلى إشارة أحادية الإتجاه.



الشكل (4 - 3): دائرة التقويم ثنائي النوبة

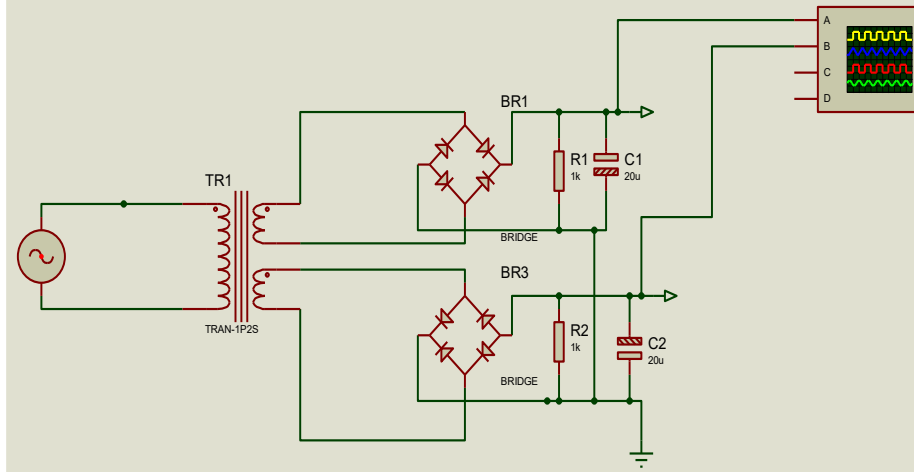
نتائج المحاكاة المتحصل عليها بواسطة برنامج Proteus 8 Professional:



الشكل (4 - 4): نتائج المحاكاة لإشارة المخرج بعد التقويم

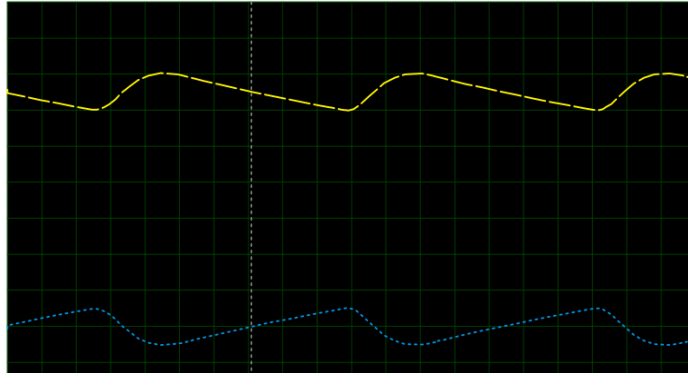
2.1.3.4. الترشيح

تحصلنا في مخرج دائرة التقويم على جهد موحد الإتجاه إلا أنه غير ثابت القيمة، حيث يتكون من نبضات تحتوي على تموجات ناتجة عن طبيعة الإشارة المتناوبة الأصلية، ولتقليل هذه التموجات وتحسين جودة الجهد المستمر، يتم تطبيق عملية الترشيح على المخرج، وذلك باستخدام مكثفات ترشيح.



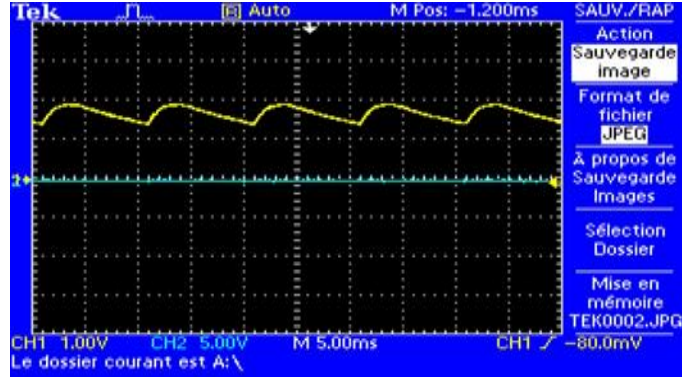
الشكل (4 - 5): دائرة الترشيح لمخرج المقوم

نتائج المحاكاة المتحصل عليها بواسطة برنامج Proteus 8 Professional:



الشكل (4 - 6): نتائج المحاكاة لإشارة المخرج بعد الترشيح

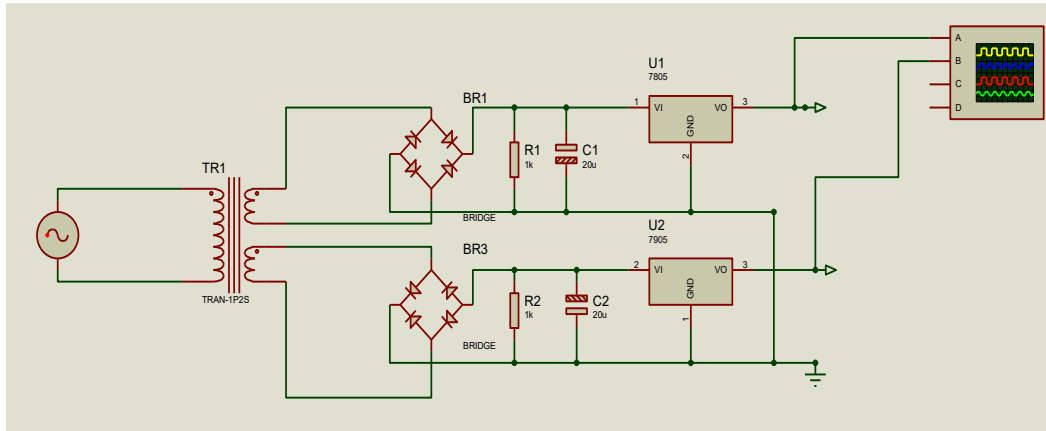
النتائج التطبيقية المتحصل عليها بواسطة جهاز راسم الإهتزاز المهبطي:



الشكل (4-7): النتائج التطبيقية لإشارة المخرج بعد الترشيح

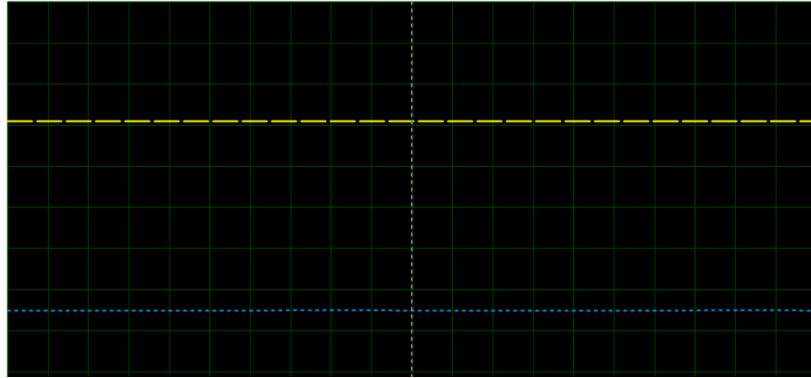
3.1.3.4. التثبيت

باستخدام المنظم، بحيث الدارة المندمجة 78XX تقوم بتثبيت التوترات الموجبة، و 79XX تقوم بتثبيت التوترات السالبة في هذه الدارة. حيث ترمز XX إلى مدى الجهد أي (5V,9V,12V,15V....) لنحصل على توتر المخرج ثابت.



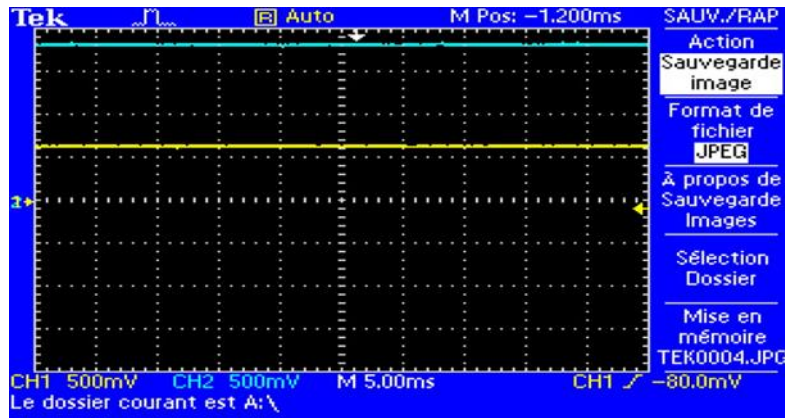
الشكل (4-8): الدارة النهائية للحصول على جهد ثابت القيمة

نتائج المحاكاة المتحصل عليها بواسطة برنامج Proteus 8 Professional:



الشكل (4 - 9): نتائج المحاكاة لإشارة مخرج دائرة التغذية بعد التثبيت

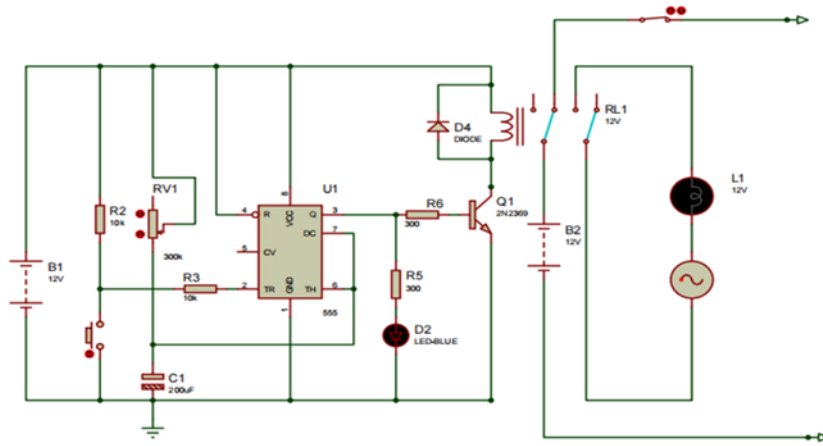
النتائج التطبيقية المتحصل عليها بواسطة جهاز راسم الإهتزاز المهبطي:



الشكل (4 - 10): النتائج التطبيقية لإشارة مخرج دائرة التغذية بعد الترشيح

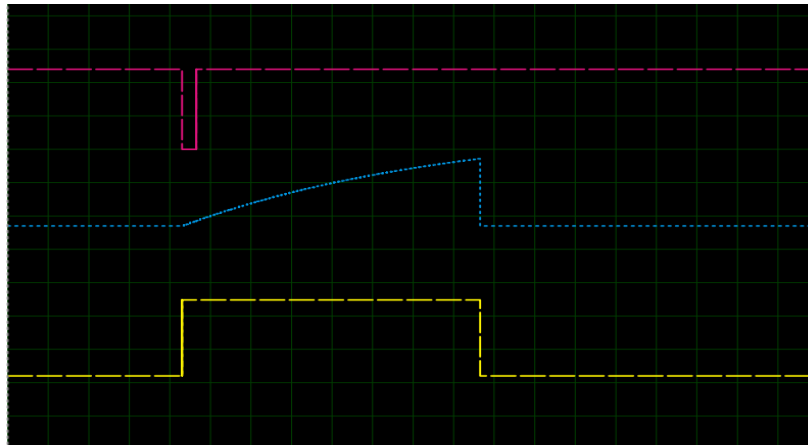
2.3.4. طابق التأجيل

المؤجلة باستخدام NE555 وذلك لضبط زمن تعريض البطاقة للأشعة فوق البنفسجية، حيث يتم التحكم فيه بواسطة مقاومة متغيرة. فبعد إنقضاء مدة التعريض يغير المرّحل ثنائي القطب (DPDT) وضعيته فيقطع التغذية على المصابيح كما في الشكل التالي، بينما يُستعمل القطب الآخر للإنذار الذي سنتناوله في محاكاة الطابق الموالي.



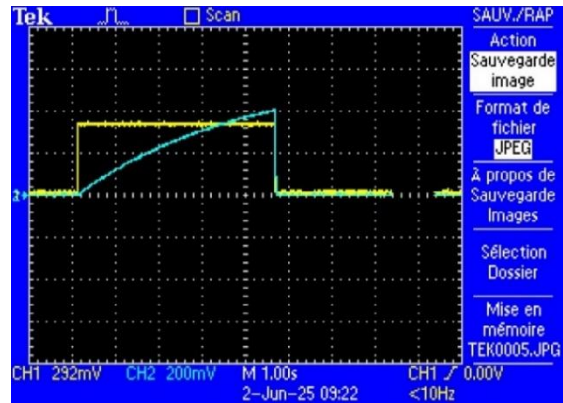
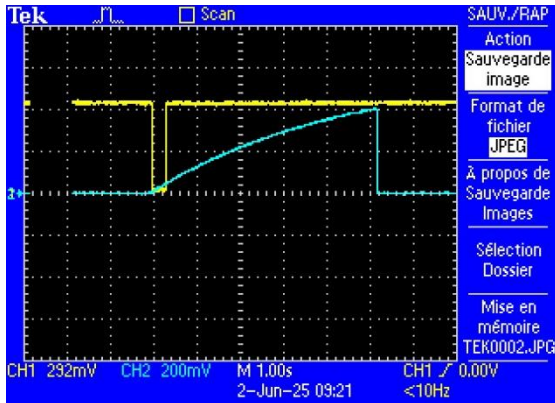
الشكل (4- 11): دائرة التأجيل

نتائج المحاكاة المتحصل عليها بواسطة برنامج Proteus 8 Professional:



الشكل (4- 2): نتائج المحاكاة لإشارات دائرة التأجيل

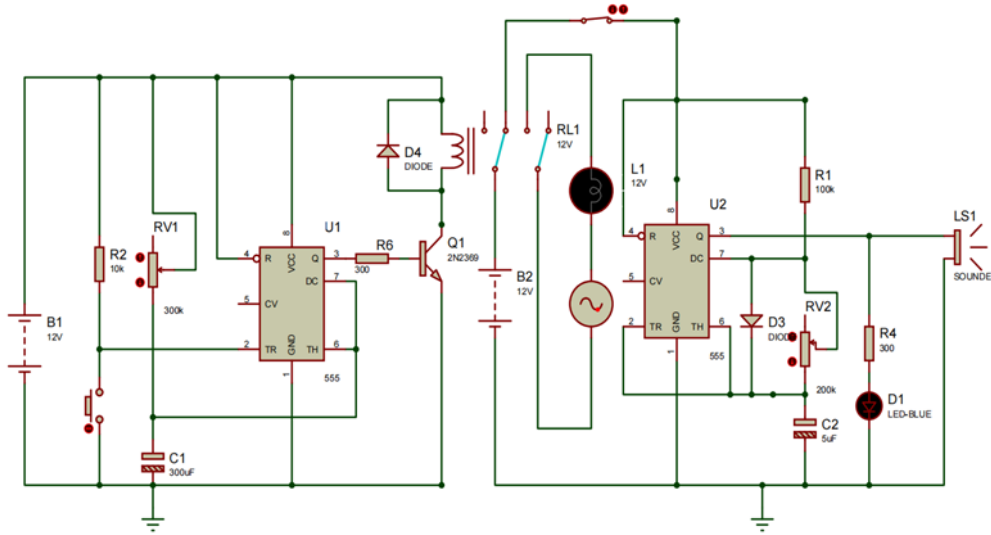
النتائج التطبيقية المتحصل عليها بواسطة جهاز راسم الإهتزاز المهبطي:



الشكل (4- 13): النتائج التطبيقية لإشارات دائرة التأجيل

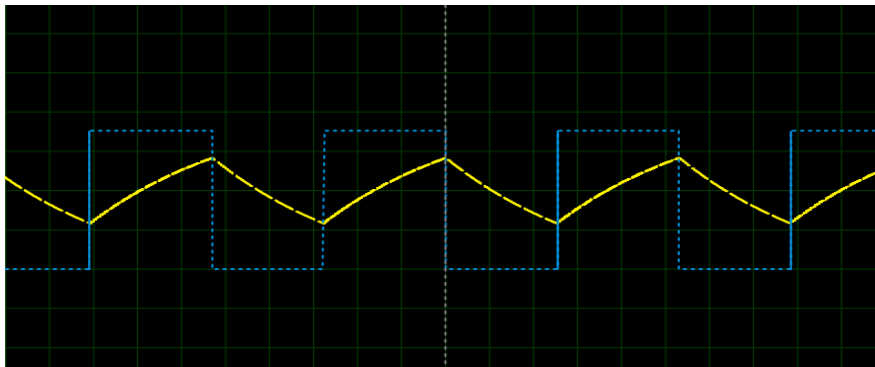
3.3.4. طابق الإنذار

بعد إنقضاء مدة تعريض البطاقة من الضروري إصدار تنبيه لفت انتباه المستخدم، ولذلك استعملنا قلاب لا مستقر باستخدام NE555، حيث تم توصيله بجرس كهربائي وثنائيات ضوئية كما في الشكل الموالي، فعندما يغير المرّحل ثنائي القطب وضعيته يُفَعَّل القطب المسؤول بتغذية دارة القلاب اللامستقر وذلك لإصدار إنذار بأصوات وأضواء متقطعة (تشغيل/إيقاف) بهدف لفت الانتباه، حيث هذا التذبذب يجعل الإنذار أكثر وضوحًا وفعالية. ولتوقيف الإنذار يكفي فقط فتح القاطعة اليدوية لفصل التغذية.



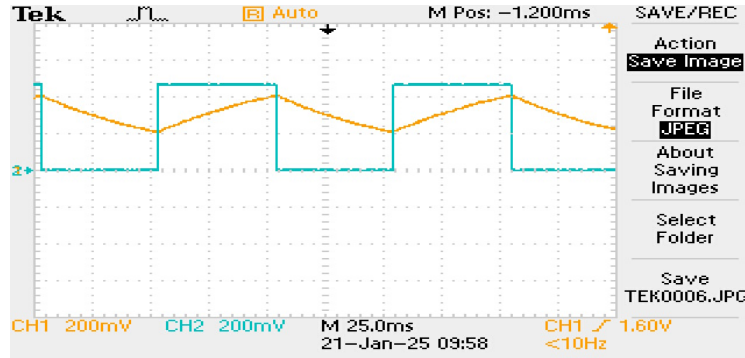
الشكل (4-14): دارة الإنذار بعد التأجيل

نتائج المحاكاة المتحصل عليها بواسطة برنامج Proteus 8 Professional:



الشكل (4-15): نتائج المحاكاة لإشارات دارة القلاب اللامستقر

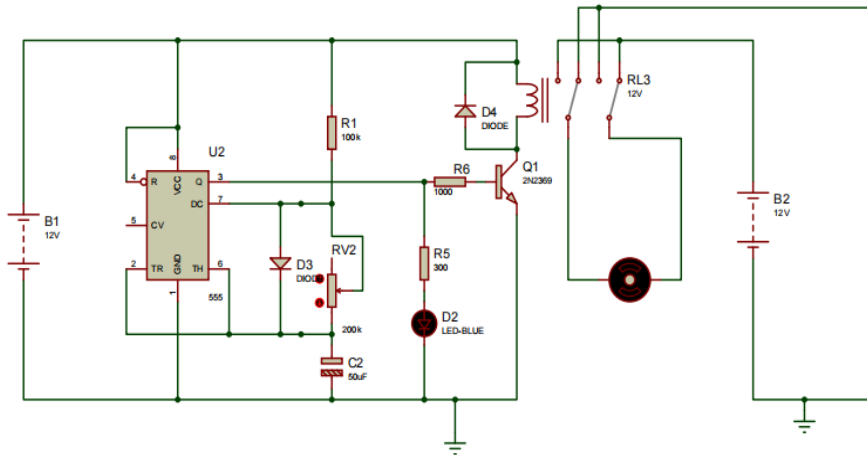
النتائج التطبيقية المتحصل عليها بواسطة جهاز راسم الإهتزاز المهبطي:



الشكل (4-16): النتائج التطبيقية لإشارات القلاب اللامستقر

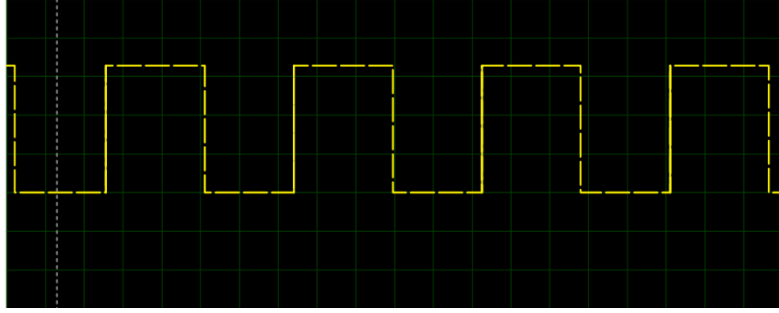
4.3.4. طابق التحكم في اتجاه دوران المحرك

يحتوي هذا الطابق على قلاب لامستقر باستخدام NE555 بحيث تُضبط النسبة الدورية (α) لإشارة المخرج من خلال مقاومة متغيرة، هذا التعديل يسمح بالتحكم في مدة اتجاه دوران المحرك قبل أن تنعكس القطبية عبر مرحل ثنائي القطب (DPDT) ويغير المحرك إتجاه دورانه، مما يُمكن المحرك من الدوران في اتجاهين متعاكسين بزمن يمكن التحكم فيه.



الشكل (4-17): دائرة التحكم في اتجاه دوران المحرك

نتائج المحاكاة المتحصل عليها بواسطة برنامج Proteus 8 Professional:



الشكل (4- 18): نتائج المحاكاة لإشارة المخرج المتحكم في وضعية المرحّل

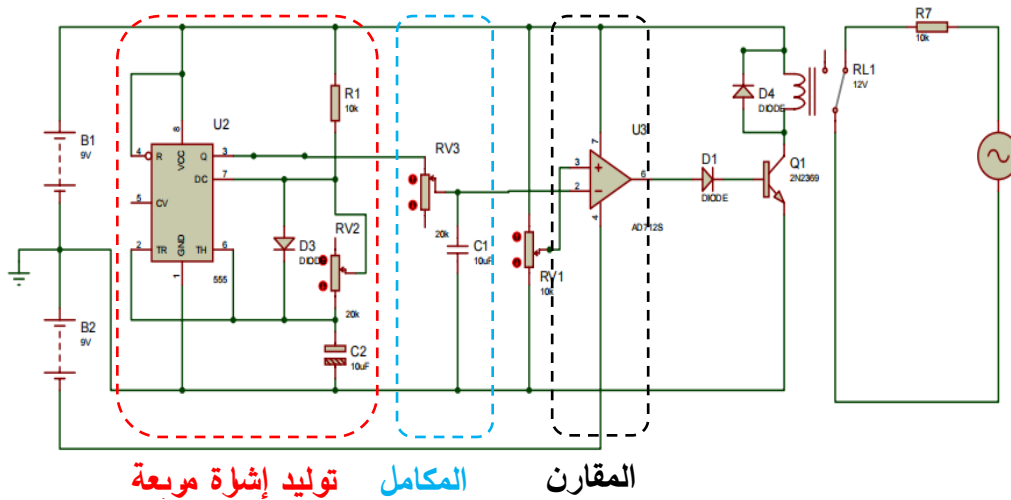
حيث تتناسب مدة بقاء المرحّل في كل وضعية مع مدة الحالة المنطقية لإشارة المخرج الناتجة عن القلاب اللامستقر في المستوى المرتفع (HIGH)، أو المنخفض (LOW).

5.3.4. طابق التسخين

يتكون هذا الطابق من ثلاث مراحل رئيسية تُمكن من توليد إشارة PWM لضبط النسبة الدورية (α) لإشارة المخرج من خلال مقاومة متغيرة. وذلك للتحكم في متوسط الطاقة الموجهة إلى عنصر التسخين، وبالتالي التحكم في درجة الحرارة عن طريق تغيير مدة تغذية مقاومة المسخن بالطاقة:

- يتم توليد إشارة مربعة باستخدام الدارة المدمجة NE555 في نمط غير مستقر، حيث توفر تردداً ثابتاً يُستخدم كبداية لسلسلة التحكم.
- المكامل بواسطة الدارة RC، حيث يعمل الدارة على تكامل الإشارة المربعة وتحويلها إلى إشارة مثلثية، للمقارنة مع جهد مرجعي.

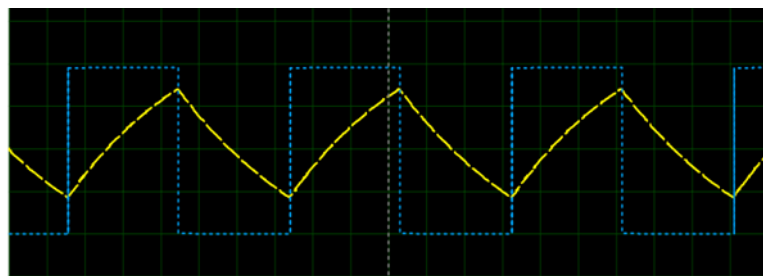
- باستخدام مضخم عملي يعمل كمقارن، تُقارن الإشارة المثلثية بإشارة مرجعية يمكن التحكم في مستواها عبر مقاومة متغيرة، والتي من أجلها يمكن تحديد النسبة الدورية، وذلك ما يؤدي إلى توليد إشارة PWM تُستعمل للتحكم في عنصر التسخين.



الشكل (4-19): دائرة توليد إشارة PWM

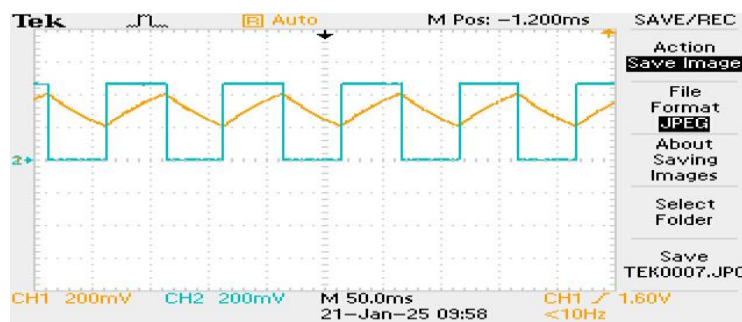
توليد الإشارة المربعة

نتائج المحاكاة لمخرج القلاب الغير مستقر مع شحن وتفريغ المكثفة المتحصل عليها بواسطة برنامج Proteus 8 Professional:



الشكل (4-20): نتائج المحاكاة لمخرج الإشارة المربعة

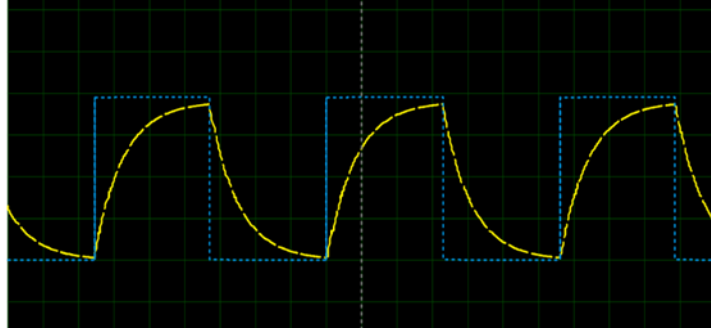
النتائج التطبيقية المتحصل عليها بواسطة جهاز راسم الإهتزاز المهبطي:



الشكل (4-21): النتائج التطبيقية لمخرج الإشارة المربعة

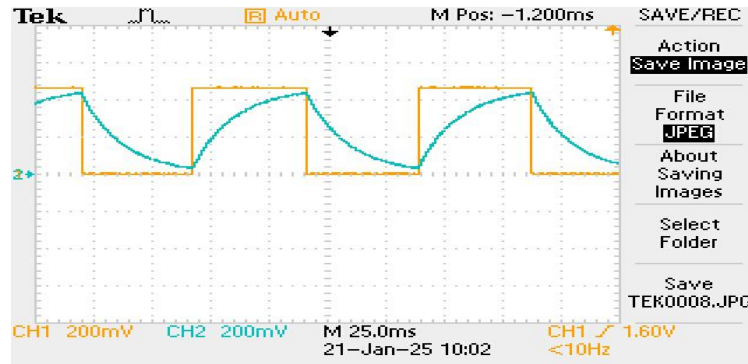
المكامل

بعد محاكاة دارة المكامل تحصلنا على إشارة مثلثية ذات شحن أسي، ولضمان تغيّر الإشارة من أقل قيمة إلى أكبر قيمة بشكل منتظم، قمنا باستخدام مقاومة متغيرة لكي تتناسب مع الإشارة المربعة. ونتائج المحاكاة لمخرج المكامل المتحصل عليها بواسطة برنامج Proteus 8 Professional موضحة في الشكل الموالي.



الشكل (4- 22): نتائج المحاكاة لمخرج إشارة المكامل

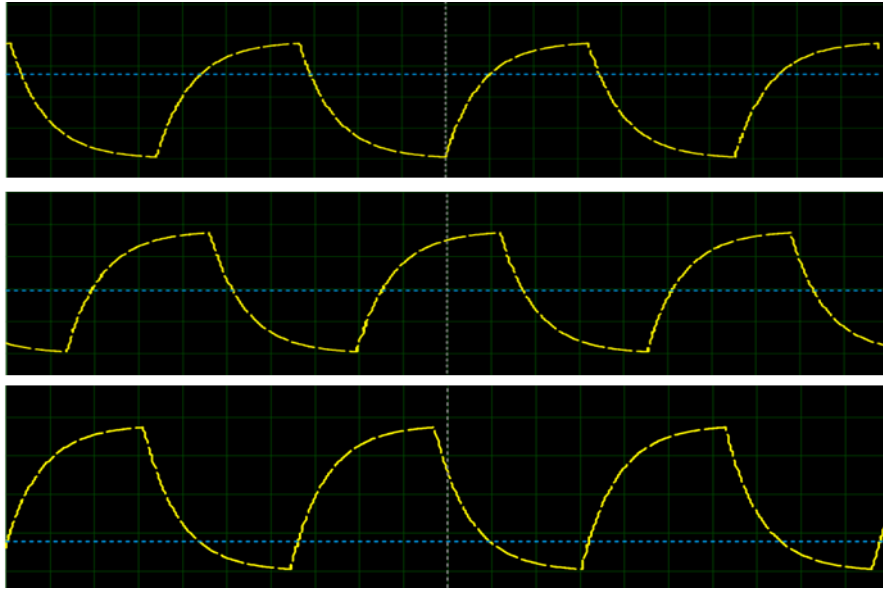
النتائج التجريبية المتحصل عليها بواسطة راسم الإهتزاز:



الشكل (4- 23): النتائج التجريبية لمخرج إشارة المكامل

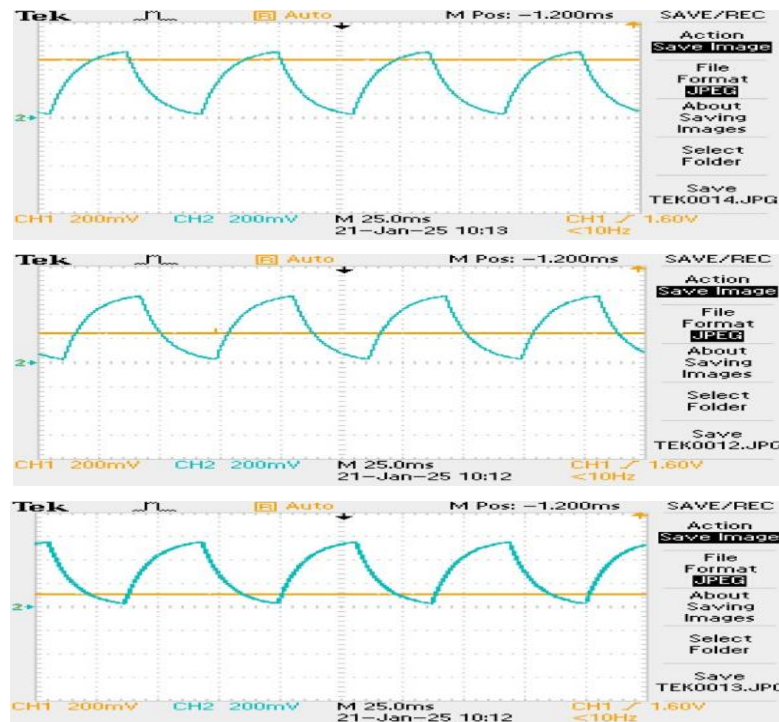
المقارن

يعمل على المقارنة بين التوتر المرجعي و الإشارة المثلثية الناتجة في مخرج المكامل، ونتائج المحاكاة لمخرج المقارن المتحصل عليها بواسطة برنامج Proteus 8 Professional موضحة في الشكل الموالي:



الشكل (4 - 24): نتائج المحاكاة لإشارات مدخلي المقارن

النتائج التطبيقية المتحصل عليها بواسطة جهاز راسم الإهتزاز المهبطي:

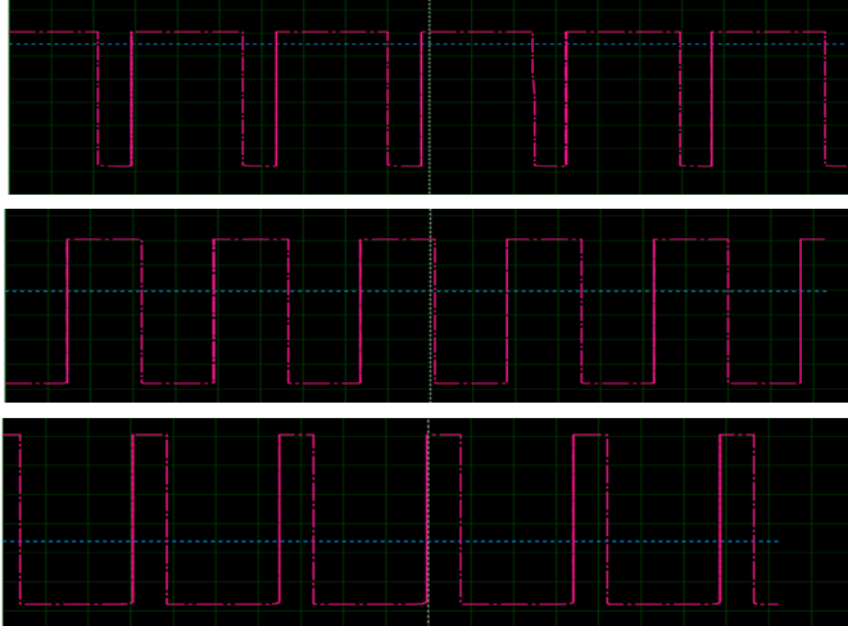


الشكل (4 - 25): النتائج التطبيقية لإشارات مدخلي المقارن

▪ مخرج PWM

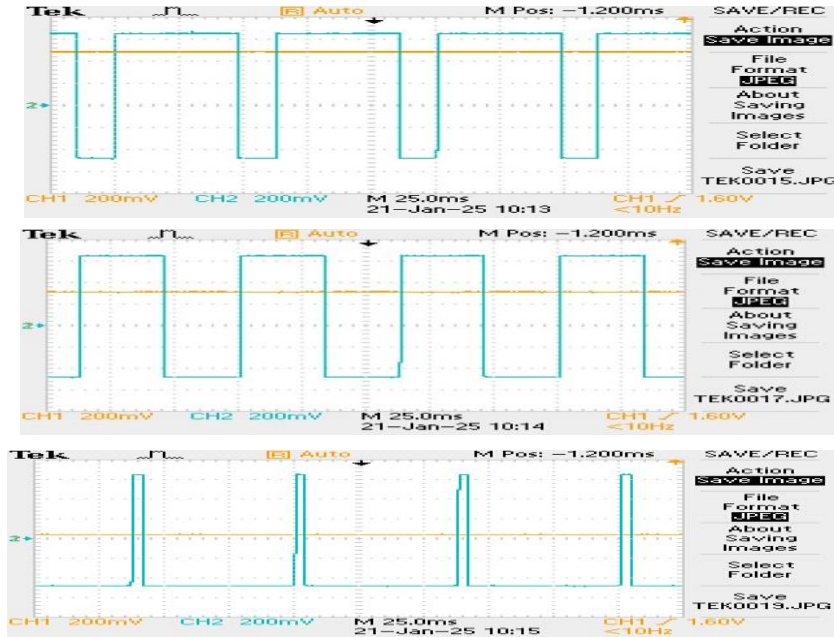
نتائج المحاكاة للإشارة النهائية المتحصل عليها مع قيم مختلفة للتوتر المرجعي بواسطة برنامج

:Proteus 8 Professional



الشكل (4 - 26): نتائج المحاكاة لمخرج إشارة PWM بقيم مختلفة للتوتر المرجعي

النتائج التطبيقية المتحصل عليها بواسطة جهاز راسم الإهتزاز المهبطي:



الشكل (4 - 27): نتائج المحاكاة لمخرج إشارة PWM

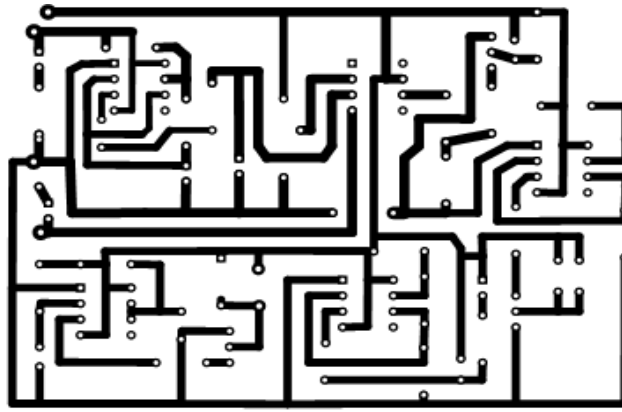
4.4. إنجاز الدارة المطبوعة للجهاز

استعملنا الطريقة التقليدية باستخدام النقل الحراري بواسطة الحدّاد وتتم وفق المراحل التالية:

1.4.4. تصميم مسارات الدارة الإلكترونية

وذلك باستعمال برنامج التصميم (Express PCB)، حيث نقوم برسم المسارات و تحديد أماكن

الثقب لربط العناصر الإلكترونية.



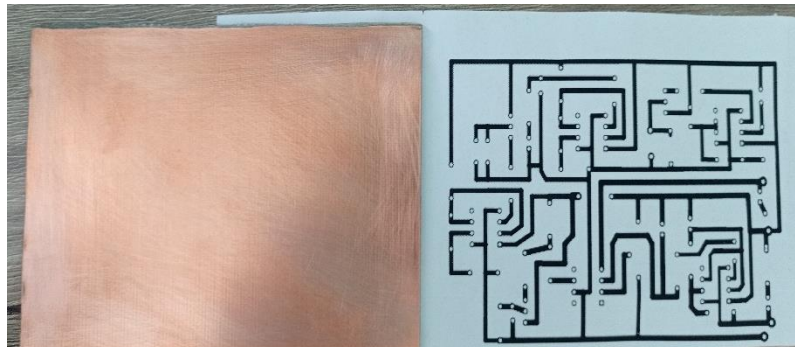
الشكل (4-28): مسارات الدارة الإلكترونية المستعملة

2.4.4. نزع الطبقة الحساسة

تتم بواسطة ورق خشن وذلك بعد تقطيع الجزء الكافي للدارة الإلكترونية لنزع الطبقة الحساسة من

البطاقة وتكون عملية الحك في الإتجاه الرأسي والأفقي معا، ثم يتم تنظيفه من البرادة بواسطة قطعة قطن

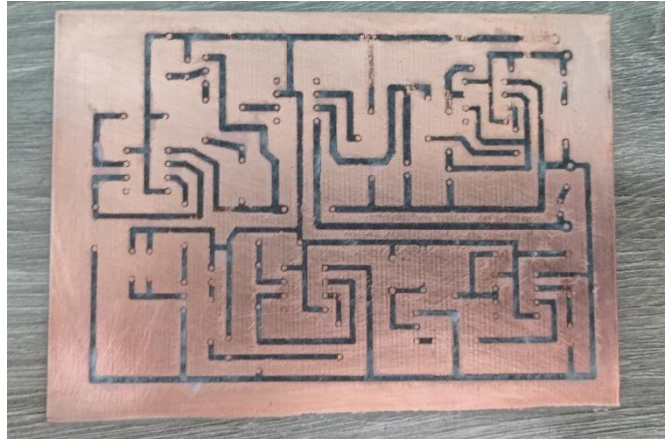
جافة حتى يبقى السطح النحاسي فقط.



الشكل (4-29): السطح النحاسي

3.4.4. إصاق المسارات على النحاس

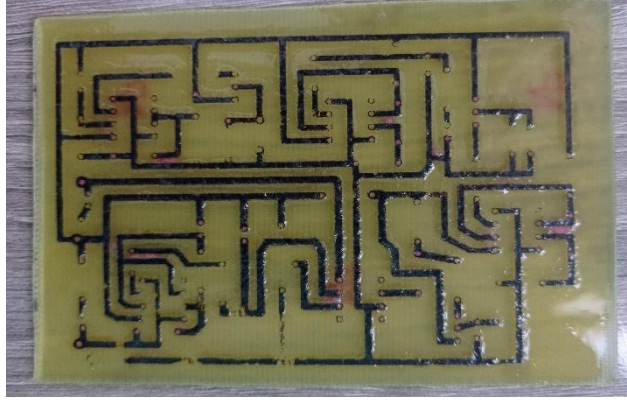
نقطع الجزء الذي يحتوي على المسار النهائي المطبوع على ورقة لا تمتص الحبر، ثم نضعها على السطح النحاسي، ونضعها تحت المكواة التي قمنا بضبط درجة حرارتها على درجة حرارة معينة، ثم نضغط على الورق، ونحرك المكواة أثناء الضغط، ونترك الحرارة تنتشر بالتساوي على جميع أجزاء الورقة لمدة 10 أو 15 دقائق.



الشكل (4-30): البطاقة مرسومة عليها المسارات

4.4.4. إظهار المسارات

نغمس اللوحة مع الورقة في ماء بارد حتى تفقد درجة حرارتها العالية ثم نخرجها من الماء و نقوم بنزع الورقة من أحد أطرافها برفق لتظهر المسارات على السطح النحاسي، ثم نغمسها في حمض محلول ثنائي كلور الحديد المسخن ونقوم بالرج لتسهيل عملية تآكل النحاس الغير مرغوب فيه، حتى تبقى فقط المسارات المغطاة بالحبر، وبعد ذلك نقوم بعملية تنظيف اللوح لتحصل على المسارات المطلوبة.



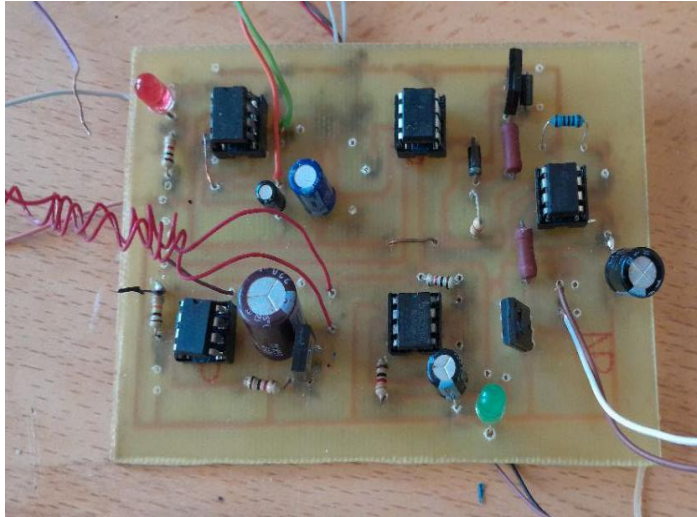
الشكل (4- 31): صورة البطاقة بعد عملية الحفر ونزع النحاس غير المرغوب فيه

5.4.4. الثقب

نقوم بثقب الأماكن التي يتم فيها وضع العناصر الإلكترونية، وذلك من خلال تثبيت اللوحة على السطح ثم ثقبها بواسطة أداة التنقيب ذات قطر مناسب ومقاييس مناسبة.

6.4.4. تلحيم العناصر

وهي آخر مرحلة حيث يتم فيها تلحيم جميع العناصر الإلكترونية بواسطة كاوية اللحام الكهربائية (Fer à souder).

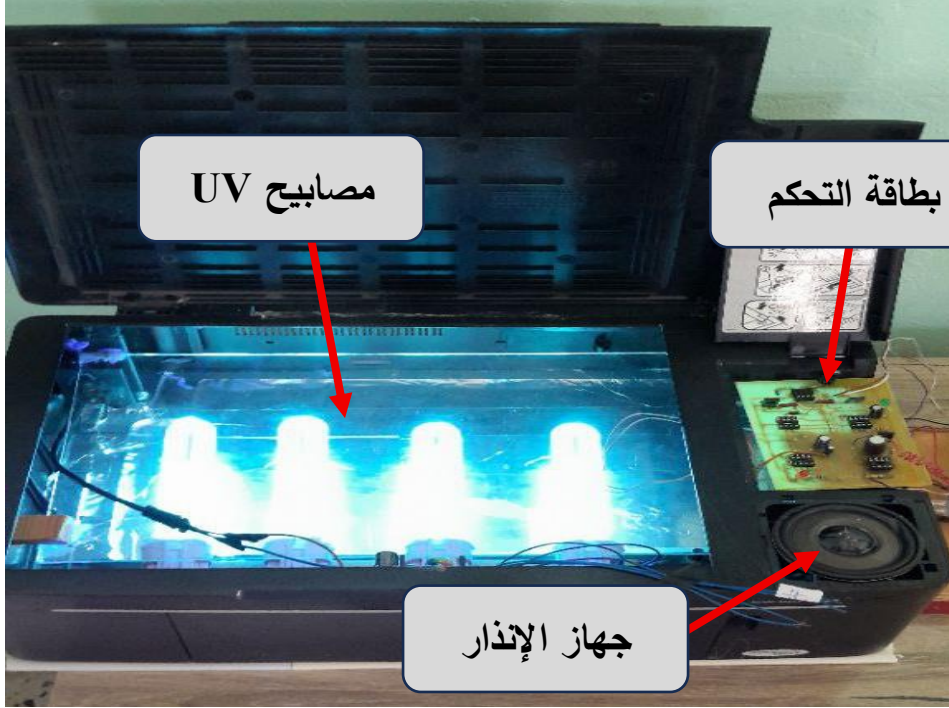


الشكل (4- 32): الصورة النهائية لبطاقة التحكم مع تلحيم العناصر

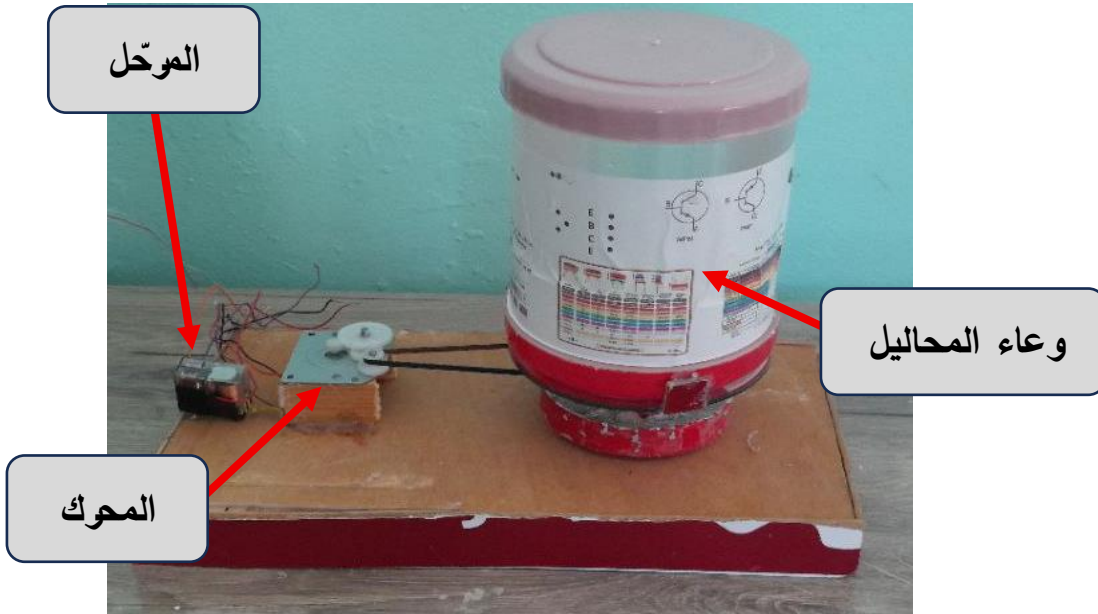
5.4. تركيب الجهاز

بعد تجهيز الدارة المطبوعة للتحكم في مختلف عناصر الجهاز، تم تركيب التصميم الإجمالي

النهائي للجهاز كما يلي:



الشكل (4-33): وحدة التعريض للأشعة فوق البنفسجية مع الإنذار



الشكل (4-3): وحدة خلط المحاليل



الشكل (4-35): وحدة التسخين

وبعد جمع كل الوحدات :

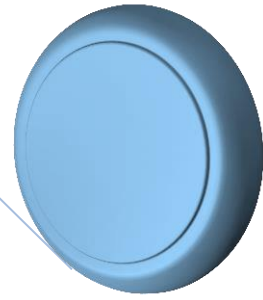
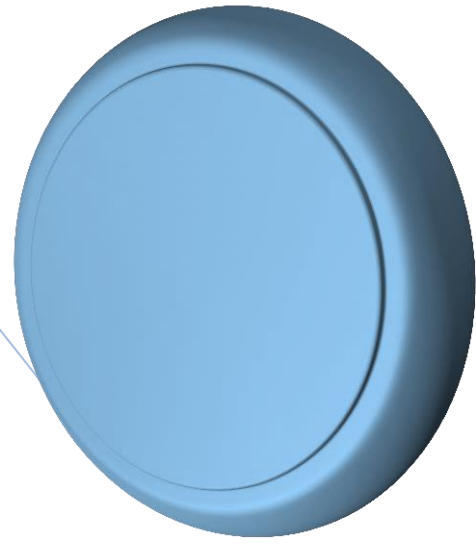


الشكل (4-4): التصميم النهائي للجهاز

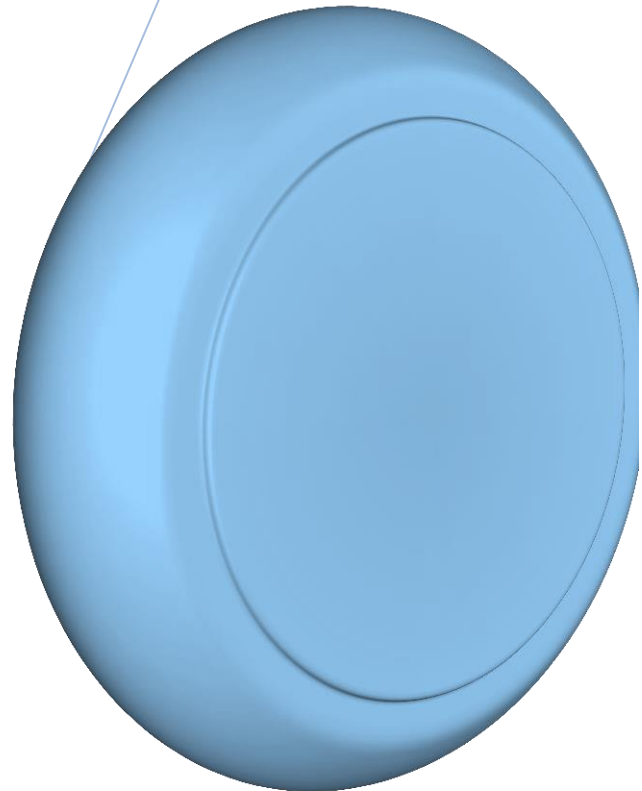
الخاتمة

في هذا الفصل تم التطرق إلى محاكاة جميع الدوائر المستخدمة في المشروع، وذلك بالاعتماد على البرنامج الذي ذكرناه سابقاً. من خلال هذه المحاكاة تم تحليل النتائج ومقارنتها بالجانب النظري والتطبيقي. وقد لاحظنا أن النتائج المحصل عليها من خلال المحاكاة كانت جد متقاربة مع تلك التي تم تسجيلها عملياً باستخدام راسم الاهتزاز المهبطي الذي مكّنا من تعقب الإشارات بدقة زمنية عالية.

رغم بعض الفروقات الطفيفة بين نتائج المحاكاة والواقع، تبقى المحاكاة أداة فعالة تسهّل كثيراً من فهم وتحليل الدوائر الإلكترونية، كما توفر الوقت والجهد. وكخلاصة يمكن القول أنّ دمج الجانب النظري مع المحاكاة يمثّل وسيلة تعليمية قوية، سواء في الأوساط الأكاديمية أو في مخابر تطوير الأجهزة الإلكترونية، مما يساهم في تبسيط المفاهيم وتسريع وتيرة التعليم والتطوير.



خاتمة عامة



الخاتمة

بعد رحلة بحثية امتدت على مدار أشهر، تمكنا من خلال هذه المذكرة من الجمع بين الجانب النظري والتطبيقي حول موضوع بالغ الأهمية في ميدان الإلكترونيات، والمتمثل في دراسة وإنجاز جهاز يعتمد على الأشعة فوق البنفسجية لتصنيع الدارات المطبوعة. هذا العمل سمح لنا بفهم معمق للخصائص الفيزيائية والتقنية للأشعة فوق البنفسجية، وآلية تفاعلها مع المواد الحساسة للضوء، بالإضافة إلى دورها المحوري في عمليات التصوير الضوئي للطباعة الإلكترونية، والذي يعتبر أحد المراحل الأساسية في صناعة الدارات المطبوعة الدقيقة.

على المستوى التطبيقي، قمنا بتصميم جهاز متكامل يعمل على تنظيم مراحل متعددة تشمل التعريض، الغسل، الحفر، والتنبيه، باستخدام دوائر إلكترونية بسيطة وفعالة، تراعي الجانب العملي من حيث التكلفة وسهولة الإنجاز. كما سمحت لنا المحاكاة الإلكترونية بالتحقق من الأداء الوظيفي لبعض الأجزاء قبل تنفيذها، مما قلل من الأخطاء عند التجريب الفعلي. وقد أظهرت النتائج توافقًا مقبولًا مع التوقعات النظرية، رغم بعض التباينات الناتجة عن الفوارق بين العناصر المثالية في البرامج والعناصر الواقعية في التطبيق. و يبقى المشروع مفتوحًا على عدة تحسينات مستقبلية، مثل تطوير التحكم الرقمي باستخدام المتحكمات الدقيقة، أو تحسين واجهة الاستخدام لتكون أكثر دقة وسرعة. كما يمكن استغلال نفس المبدأ في تطبيقات أخرى مشابهة في مجال الطباعة ثلاثية الأبعاد أو المعالجة الضوئية للمواد.

في الأخير، تم بحمد الله ما أردناه وقد مكنتنا هذه التجربة من صقل معارفنا التقنية وتنمية مهارتنا في التصميم والبحث والعمل الجماعي، ونأمل أن يشكّل هذا العمل لبنة أولى لمشاريع بحثية وتطبيقية أوسع في المستقبل

قائمة المراجع

الرقم	عنوان المرجع
[1]	M. A. Ekka, ""Electromagnetic Spectrum", Dr. Shyama Prasad Mukherjee University, Ranchi," [Online]. Available: https://dspmuranchi.ac.in
[2]	G. Butcher, "Tour of the Electromagnetic Spectrum", 3rd ed, Washington, DC, USA:National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2016.
[3]	S. L. Ministry of Education, H. Mendis "Physics: Waves and Their Applications", Colombo, Sri Lanka: NIE Publications.
[4]	ب. س. صالح، "جامعة الإخوة منتوري قسنطينة - 1"، "بنية المادة دروس وتمارين محلولة" الفصل الرابع، [متصل].
[5]	«موضوع. https://mawdoo3.com . [En ligne]. Available: https://mawdoo3.com »
[6]	N. O. a. A. A. (NOAA), "Teacher Background: Electromagnetic Radiation", Boulder, CO, USA: NOAA.
[7]	O. Grover, . A. Adorcille, T. Patrick and M. Vijay, Medical Applications of the Electromagnetic Spectrum, presentation, University College London, 2013.
[8]	ش. ص. العزاوي، "فرن المايكرويف ما له وما عليه"، علوم وتكنولوجيا، جامعة فيلادلفيا، 2013 .
[9]	"Flipped Around Physics, "Uses of Electromagnetic Waves", " 2016. [Online]. Available: https://www.flippedaroundphysics.com
[10]	"جامعة سوهاج"الأشعة تحت الحمراء"، [متصل]. Available: https://staffsites.sohag-univ.edu.eg .
[11]	خ. س. شواهين، "قولة بوك، "الطيف الكهرومغناطيسي"، [متصل]. Available: https://foulabook.com/ .
[12]	ب. ع. الرفاعي، الأشعة فوق البنفسجية، الكيمياء العربي. https://arabian-chemistry.com/ .
[13]	[En ligne]. Available: https://www.iso.org/fr/home.html .
[14]	م. نصر الدين، "الأشعة السينية وبعض تطبيقاتها"، تونس: الهيئة العربية للطاقة الذرية، 2008 .
[15]	مجلة الفيصل_ العدد 52 ، 1981 .
[16]	A. Rathaseeli and T. Ashwanya, "IRJMETS"APPLICATIONS OF RAYS-GAMMA RAYS, RADIOWAVES, UV RAYS", " 11 11 2022. [Online]. Available: https://www.irjmets.com/ .
[17]	P. E. Hockberger, «A History of Ultraviolet Photobiology for Humans, Animals and Microorganisms,» Photochemistry and photobiology , vol. 76, n° %16, pp. 561-569, 2002.
[18]	G. Butcher, «Tour of the Electromagnetic Spectrum,» NASA, 2016. [En ligne]. Available: https://science.nasa.gov/ems/ .
[19]	Aktinovolia, «Aktinovolia,» Ultraviolet Radiation Measurements, [En ligne]. Available: Aktinovolia.com.
[20]	D. R. Lide, chapter Optical Properties and Ultraviolet Spectra, CRC Press, 2003.

S. I. Ahmad, Ultraviolet Light in Human Health; Diseases and Environement, vol. 996, Springer, Éd., Cham, 2017.	[21]
W. Kowalski, Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection, Springer, 2009.	[22]
J. J. N. S. B. Stuart H. James, Forensic Science: An Introduction to Scientific and Investigative Techniques, FL, USA: CRC Press, 2021.	[23]
H. N. & W. B. M. Chia, «Recent advances in 3D printing of biomaterials,» biological engineering , vol. 9(1), pp. 1-14, 2015.	[24]
B. K. (Ed.), Annals of DAAAM for 2012 & Proceedings of the 23rd International DAAAM Symposium, Vienna: DAAAM International, 2012.	[25]
N. I. f. O. s. a. Health, «Criteria for a Recommended Standard : occupational Exposure to Ultraviolet Radiation,» U.S. Dept. of Health Education and Welfare, Washington, D.C, 1972.	[26]
م. ع. الخفاجي، المحولات الكهربائية، https://www.noor-book.com/ .	[27]
م. م. هارون، إلكترونيات صناعية وتجكم _ العناصر الإلكترونية _، 19 يوليو 2004. Available: https://www.noor-book.com/ ، [متصل].	[28]
أساسيات الالكترونيات/ بناء واختبار دوائر التغذية/مكتبة البخاري. Available: https://www.makktaba.com . [متصل].	[29]
D. ourida, "Technologie des composants électroniques 1.TCE1", Université de Tizi_ Ouzou, 2021.	[30]
ق. سامي، "الفريد في الفيزياء" العناصر الالكترونية فاندتها طريقة عملها رموزها واختبارها"، [متصل] . Available: https://www.alfred-ph.com/ .	[31]
S. P and M. S, Practical Electronics for Inventors, 3rd ed, New York, NY, USA: McGraw Hill Professional, 2013.	[32]
"مكتبة الفريد الإلكترونية" آلات التيار المستمر والمحولات"، [متصل] . Available: https://www.alfred-library.com/ .	[33]