



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

ر. الترتيب:

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

ر. التسلسل:

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات و علوم المادة

قسم: الفيزياء

مذكرة تخرج تدخل ضمن متطلبات نيل شهادة الماستر أكاديمي في الفيزياء

تخصص: فيزياء الاشعاعات

إعداد الطالبين: شبوب محمد بشير و شرفاوي فاطمة

بعنوان:

دراسة تحويل إشارة كهربائية ناجمة عن إضاءة متقطعة للوح شمسي
باستخدام محوّل حث كهرومغناطيسي

نوقشت يوم: 2020\09\28 أمام لجنة المناقشة المكوّنة من:

الصفة	الجامعة	الرتبة	الأستاذ
رئيساً	ورقلة	أستاذ تعليم عالٍ	بشكي جمال
مناقشاً	ورقلة	أستاذ تعليم عالٍ	خلفاوي فتحي
مناقشاً	ورقلة	أستاذ محاضر أ	بولصباغ محمد
مقرراً	ورقلة	أستاذ تعليم عالٍ	شيحي إسماعيل

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

إهداء

نهدي ثمرة جهدنا المتواضع هذا

إلى عائلتنا الكريمة

إلى كل عين سهرت على راحتنا

إلى كل الأصدقاء والأحبة

إلى كل قلب نبض دعاءً لنجاحنا

إلى كل أساتذتنا الذين رافقونا

إلى من نستهم مدكرتنا و لم تنسهم ذاكرتنا

تشكرات

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف المرسلين سيدنا محمد وعلى آله وصحبه ومن تبعهم بإحسان إلى يوم الدين .. وبعد

فإننا نشكر الله تعالى الذي بفضله تتم الصالحات، فله الحمد أولاً و آخرًا.

نجزل شكرنا و نخصه لأستاذنا شيحي إسماعيل الذي أكرمنا بجهده و وقّر من وقته الكثير و سعى جاهدا لمساندتنا و نصحننا، فله منا كل التقدير والثناء.

كما نتقدم بأخلص معاني الشكر والامتنان لكل من زرع الحرف في عقولنا، وسقى ورعى بذرة العلم في أذهاننا. إلى كل أساتذتنا في مختلف الأطوار عموما، وفي كلية الرياضيات وعلوم المادة بجامعة ورقلة خصوصا.

نشكر أيضا أعضاء لجنة المناقشة على قبولها مناقشة هذا العمل، وعلى رأسهم الأستاذ بشكي جمال، ثم الأستاذ خلفاوي فتحي، و كذا الأستاذ بولصباغ محمد.

نشكر كذلك جميع القائمين على مخبر فيزياء الإشعاع و البلازما و فيزياء السطوح (LRPPS) بجامعة ورقلة، خاصة التقني المحترم حوتي أحمد لما قدّمه لنا من تسهيلات مخبرية في كل الأوقات.

كما نقدم شكرنا لزميلاتنا في فوج الفيزياء الإشعاعية على العون و المساندة.

قائمة الأشكال

الفصل الأول: عموميات عن المحولات الكهربائية

- الشكل (1.1) محول كهربائي حثي 4
- الشكل (2.1) توصيل أقطاب المحول الكهربائي بالمولد والحمولة 4
- الشكل (3.1) تسرب الفيض المغناطيسي بين الملفين الابتدائي والثانوي 6
- الشكل (4.1) التيارات الدوامية الناشئة عن قطعة الحديد 7
- الشكل (5.1) منحنى استجابة النواة الحديدية للمغطة الخارجية 8
- الشكل (6.1) مخطط لمختلف أنواع المحولات العاكسة 9
- الشكل (7.1) الرمز النظامي للمقوم الكهربائي 10
- الشكل (8.1 أ) شكل الإشارة بعد تصحيح التناوب البسيط 11
- الشكل (8.1 ب) شكل الإشارة بعد التصحيح الكامل للتناوب 11
- الشكل (8.1 ج) شكل الإشارة بعد تنعيمها 11
- الشكل (8.1 د) شكل الإشارة بعد التثبيث (إشارة مستمرة) 12
- الشكل (9.1) مخطط لمختلف مراحل تقويم الإشارة المتناوبة في المقوم 12
- الشكل (10.1) الرمز النظامي للعاكس الكهربائي 13
- الشكل (11.1) الدارة الرئيسية لعاكس أحادي الطور متصل بمقاومة R 14
- الشكل (12.1) موجات نبضات المفناتحين وجهد الخروج لعاكس أحادي الطور دون تنعيم 14
- الشكل (13.1) موجات جهد مخرج العاكس بعد التنعيم 15

الفصل الثاني: الدراسة النظرية لإشارة خلية شمسية

- الشكل (1.2) حزمة أشعة ضوئية واردة إلى لوح دائري الشكل.....16
- الشكل (2.2) حزمة أشعة ضوئية واردة إلى لوح دائري الشكل بوجود قرص مُعتم.....16
- الشكل (3.2) رسم يوضح المساحة المظللة بالقرص.....17
- الشكل (4.2) شكل إشارة الدخول.....18
- الشكل (5.2) شبكة كهربائية ذات جهد مستمر.....20
- الشكل (6.2) منحنى التيار في الدارة نتيجة الجهد المستمر الثابت.....21
- الشكل (7.2) مخطط لدارة الجهد $V(t) = V_o \cos(\omega t)$21
- الشكل (8.2) التيار في الدارة نتيجة الجهد الجيبي.....23
- الشكل (9.2) الجهد الناشئ في الوشيعنة نتيجة التحريض الجيبي.....23
- الشكل (10.2) الجهد (الخط المنقطع) والتيار (الخط المستمر) للوشيعنة على اعتبار المقاومة الداخلية لها منفصلة عنها.....24
- الشكل (11.2) مخطط لدارة ذات جهد $V(t) = V_o(1 - |\cos(\omega t)|)$24
- الشكل (12.2) التيار في الدارة نتيجة الجهد $V(t) = V_o(1 - |\cos(\omega t)|)$25
- الشكل (13.2) مخطط للمحول المقترح.....27
- الشكل (14.2) التيار في الدارة الأولى للمحول نتيجة الجهد $V(t) = V_o(1 - |\cos(\omega t)|)$29
- الشكل (15.2) جهد الخروج بين طرفي الوشيعنة الثانوية.....31
- الشكل (16.2) الشبكة الكهربائية المكافئة للخلية الشمسية.....31
- الشكل (17.2) تغيرات شدة التيار الكهربائي بدلالة الجهد لشدات إضاءة مختلفة.....32

الفصل الثالث: إنجاز التركيبية ومناقشة النتائج

- الشكل (1.3) صورة جانبية و أخرى علوية للوشتيعتين المستخدمتين.....33
- الشكل (2.3) صورة للمحوّل الحثي المنجز.....33
- الشكل (3.3) صورة لمصدر التيار المستمر.....34
- الشكل (4.3) صورة للمصدر الضوئي المستخدم.....34
- الشكل (5.3) صورة لمغّير الجهد (variateur).....35
- الشكل (6.3) محرك اللوح الدوّار.....35
- الشكل (7.3) صورة داخلية للّوح الدوّار داخل الغرفة المعتمة.....36
- الشكل (8.3) صورة خارجية للغرفة المعتمة.....36
- الشكل (9.3) صورة للخلية الشمسية المستخدمة.....37
- الشكل (10.3) صورة إحدى المقاومتين الكهربائيتين المستخدمتين.....37
- الشكل (11.3) راسم الاهتزاز المهبطي المستعمل في رصد الإشارات الكهربائية.....38
- الشكل (12.3) الفولطمتر.....38
- الشكل (13.3) متعدد القياسات.....39
- الشكل (14.3) مخطط للتركيب المقترح.....40
- الشكل (15.3) صورة للتركيبية المنجزة، و تظهر فيها الوشيعة الأولية على اليمين،والوشيعة الثانوية إلى اليسار منها.. 40
- الشكل (16.3) صورة الإشارة الكهربائية بين طرفي الخلية عند إضاءتها بمصباح مغذّي بتيار متناوب.. 42
- الشكل (17.3) صورة الإشارة الكهربائية بين طرفي الخلية الشمسية عند إضاءتها بمصباح مغذّي بتيار مستمر.. 43
- الشكل (18.3) صورة الإشارة الكهربائية بين طرفي الخلية الشمسية عند إضاءتها بضوء مستمر مع تدوير اللوح الدوّار بسرعة زاوية ثابتة.....44
- الشكل (19.3) مقارنة بين شكلي بياني جيب تمام زاوية اللوح الدوّار و الإشارة الكهربائية للخلية الشمسية..... 45

- الشكل (20.3) مقارنة بين مقترحنا النظري و الشكل التجريبي للإشارة الكهربائية للخلية الشمسية..... 46
- الشكل (21.3) الإشارة بين الطرفين المشتركين للوشية الأولى و الخلية الشمسية..... 47
- الشكل (22.3) مخطط الدارة المؤلفة من الخلية الشمسية و الوشية..... 48
- الشكل (23.3) مقارنة بين الإشارة بين طرفي الوشية و المشتقة الزمنية للإشارة الصادرة عن الخلية الشمسية.. 49
- الشكل (24.3) الإشارة بين طرفي الوشية الثانية..... 50
- الشكل (25.3) الإشارتان المتزامنتان بين طرفي كل وشية..... 52

فهرس المحتويات

i	إهداء
ii	تشكر
iii	قائمة الأشكال

1	المقدمة
---	---------

الفصل الأول : عموميات عن المحولات الكهربائية

3	1 - المفهوم العام للمحول الكهربائي
3	2 - المحول الحثي
3	2 - 1 تعريف المحول الحثي
3	2 - 2 المكونات الأساسية للمحول الحثي
4	2 - 3 المبدأ الحاكم لعمل المحولات الحثية (محولات الجهد)
5	2 - 4 المحولات الحثية الحقيقية
5	2 - 4 - 1 مقاومة الملفات
6	2 - 4 - 2 الفيض المغناطيسي المتسرب
6	2 - 4 - 3 التيارات الدوامية
7	2 - 4 - 4 الاستجابة الحثية
8	2 - 5 مزايا المحولات الحثية و نقائصها
9	3 - محولات الإشارة
10	4 - المقوم الكهربائي
10	4 - 1 تعريف المقوم الكهربائي
10	4 - 2 مبدأ عمل المقوم
10	أ - تصحيح التناوب البسيط
11	ب - تصحيح كامل التناوب

- 11 ج - تنعيم الإشارة
- 12 د - تثبيت الإشارة
- 12 5 - العاكس الكهربائي
- 12 5 - 1 تعريف العاكس الكهربائي
- 13 5 - 2 مبدأ عمله
- 15 6 - إيجابيات محولات الإشارة

الفصل الثاني : الدراسة النظرية لإشارة الخلية الشمسية

- 16 1- الدراسة النظرية للإضاءة الواردة إلى لوح
- 16 1-1 مقدار الإضاءة الواردة إلى لوح شمسي بشكل قرص
- 17 1 2- تحديد النسبة بين مقدار المساحة المضاءة و المظلمة I/I_0
- 18 1 3- الجهد الأولي بين قطبي الخلية الشمسية (إشارة الدخول)
- 19 1-4 الجهد الثانوي بين طرفي الوشيعية الثانوية و استنباط إشارة الخروج
- 19 2- الدراسة النظرية باستعمال قوانين الشبكات
- 20 1-2 دراسة دارة مؤلفة من وشيعة و مقاومة على التسلسل و مغذاة بجهد مستمر
- 21 2-2 دراسة دارة مؤلفة من وشيعة و مقاومة على التسلسل و مغذاة بجهد متناوب
- 24 2-3 دراسة دارة مغذاة بجهد $V_0 |\cos(\omega t)|$
- 26 2-4 دراسة مسألة المحول المقترح و تحليلها
- 31 3 - تغيرات الإشارة بدلالة شدة الإضاءة.

الفصل الثالث : إنجاز التركيبة و مناقشة النتائج

- 33 1 - الأدوات المستعملة لإنجاز المحول المقترح
- 39 2 - مخطط وصفي للتركيبة المنجزة
- 41 3- مجريات التجارب و القياسات و نتائجها
- 41 3 - 1 - مصباح مغذى بمصدر متناوب
- 42 3 - 2 - مصباح مغذى بمصدر مستمر
- 44 3 - 3 - إشارة الخلية الشمسية عند تشغيل اللوح الدوار

3 - 4 - الإشارة بين الطرفين المشتركين للوشيجة الأولى و الخلية الشمسية عند تشغيل اللوح الدوار..... 47

3 - 5 - الإشارة بين طرفي الوشيجة الثانوية 50

الخلاصة 53

قائمة المراجع 54

المقّدمّة

المقدمة

إن الكهرباء الناتجة عن الخلايا الشمسية مستمرة لا متناوبة، وهي متعلقة بوقت سطوع الشمس و شدة أشعتها، و كذا بكفاءة الخلايا الشمسية نفسها في تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية.

يمكن لهذه الخلايا الشمسية إعطاء مئات الفولطات من التيار الكهربائي المستمر (DC) إذا ما وصلت على التسلسل.

يمكن تخزين هذه الطاقة في بطاريات، إلا أن هذا التيار المستمر لا يمكن استعماله مباشرة في الشبكة الكهربائية المنزلية أو الصناعية، لذلك يستوجب تحويل التيار المستمر إلى متناوب (AC). يتم ذلك بواسطة محولات كهربائية خاصة تُدعى محولات الإشارة العاكسة (onduleurs) ، ومن ثمة تحويلها بواسطة محول حثي مناسب.

تعمل كلُ محولات التيار المستمر إلى تيار متناوب بالاعتماد على جملة معقدة من العناصر الكهربائية، وذلك حتى تجعل التيار المستمر متناوبًا جيبيًا، ومع ذلك فإن الإشارة الخارجة قد تكون مشوشةً.

إن جوهرَ ظاهرة التحريض الكهرومغناطيسي يقتضي نشوء قوة دافعة كهربائية مع كل تغير في الفيض المغناطيسي مع الزمن، و الأكثر من ذلك فإن هذه القوة الدافعة تتناسب مع قيمة المعدل الزمني لهذا التغير، كما أنها تكون في الاتجاه الذي يعمل على ممانعة السبب الذي أدى إلى نشوئها (قاعدة لنز).

سنسعى في هذا المشروع إلى استغلال هذه الظاهرة، و ذلك بجعل التغير في الفيض المغناطيسي ناشئاً عن التغير الدوري لشدة الإضاءة المسلطة على لوح شمسي (ضوء-ظلام-ضوء).

سنسعى إلى تجسيد هذه الفكرة نظرياً و عملياً، و ذلك من خلال وضع نموذج نظري لإشارة كهربائية ناجمة عن إضاءة خلية شمسية إضاءةً متقطعةً، تُجرى على أساسه الحسابات النظرية المبنية على قوانين الكهرومغناطيسية و الشبكات الكهربائية، و من ثمة إنجاز تركيبية تجريبية لرصد هذه الإشارات و دراستها و مقارنتها.

إن كانت النتائج التجريبية موافقةً للتصورات النظرية فسنتقننها وفق القواعد المعروفة، وسندرس خصائص هذه التركيبية، فإن كانت خلاف ذلك فسنبهررها وفق المكتسبات النظرية التي تعلمناها، و نكون في الحالتين قد قدمنا جديداً مفيداً.

في سبيل ذلك جعلنا مذكرتنا هذه مؤلفةً من مقدمة و ثلاثة فصول، متبوعةً بملخص شاملة.

الفصل الأول: عموميات عن المحولات الكهربائية، يُقدّم فيه مفهوم عام عن المحولات الكهربائية وتطبيقاتها، وكذا التطرق إلى أنواع هذه المحولات الكهربائية، و التي منها الحثية بمزاياها و عيوبها، و محولات الإشارة بأنواعها بمزاياها و عيوبها أيضا.

الفصل الثاني: الدراسة النظرية لإشارة الخلية الشمسية، و ذلك من خلال تحديد مقدار الإضاءة الواردة إلى الخلية الشمسية و إيجاد عبارة له، ثم استنباط شكل إشارة جهد الدخول، و التي على ضوءها سندرس تحويل هذه الإشارة بمحول حثي حسب قوانين الشبكات الكهربائية، ثم استنباط معادلتني جهدي الدخول والخروج ومعادلتني تياري الدخول والخروج ورسم البيانات الموافقة، والتي تمثل شكل الإشارة المتوقعة نظريا، كما سنتحدث باختصار عن تغيرات هذه الإشارة تبعا لتغير شدة الإضاءة الواردة إلى الخلية الشمسية.

أما الفصل الثالث: إنجاز التركيبية و مناقشة النتائج المتحصل عليها، فلقد حاولنا فيه إظهار التركيبية التي أنجزناها، و كذا عمليا ترصد مختلف الإشارات بواسطة راسم الاهتزازات المهبطي، ثم مناقشة النتائج التجريبية و محاولة مقارنتها بتلك المتحصل عليها نظريا.

في الخلاصة سنحوصل أهم الخطوات النظرية و التجريبية التي أجريناها، و سنتعرض لمدى تطابق النتائج النظرية و التجريبية، و نقد ذلك، كما سنعرض آفاقاً مستقبلية لتحسين شكل الإشارة و استغلالها أحسن استغلال.

الفصل الأول

عموميات عن المحوِّلات

الكهربائية

تمهيد:

تُعتبر المحولات من أكثر عناصر الشبكات الكهربائية انتشاراً و تنوعاً في الوظائف، مما يجعل دراستها ذات أهمية كبيرة من بين عناصر منظومات القوى الكهربائية، خاصة في مجال الطاقات المتجددة.

1. المفهوم العام للمحول الكهربائي:

هو آلة كهربائية و وسيلة لتحويل الجهد أو التيار الكهربائي من حالة إلى أخرى تلائم حملاً معيناً أو استخداماً ما، فالمفهوم العام للمحول لكهربائي يشمل كل عنصر يحول الطاقة الكهربائية التي يكتسبها من مكوّن داخل الدارة إلى مكوّن آخر [1، 3، 6، 8]، و يمكن تلخيص دور المحولات في [1، 6]:

- تعديل المقادير الكهربائية المتوفرة في شكل مناسب لتغذية حمولة معينة، كخفض مقدار الجهد أو رفعه، أو تغيير نوع الإشارة، مستمرة كانت أو متناوبة.
- ضبط قوة النظام والتحكم بطاقة المقادير الكهربائية، كالتحكم في سرعة تدوير محرك يشتغل بتيار مستمر مثلاً.

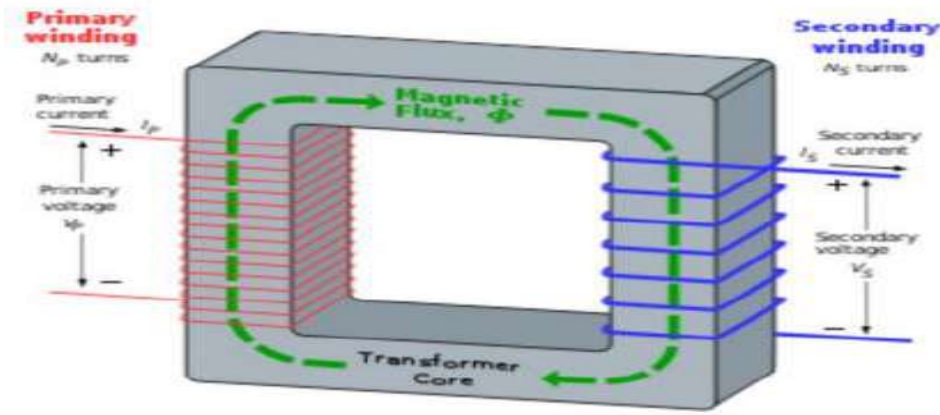
2. المحول الحثّي:

1.2 تعريف المحول الحثّي:

هو جهاز كهرومغناطيسي ساكن (لا يحوي أجزاءً متحركةً كالمحركات مثلاً)، و هو يستخدم في تحويل مقدار كهربائي (جهد أو تيار) من مصدر معين إلى مستقبّل في دوائر التيار المتناوب [1].

2.2 المكونات الأساسية للمحول الحثّي:

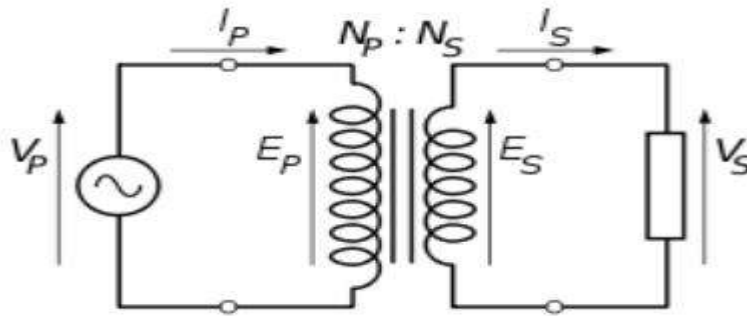
يتألّف المحول من دائرة كهربائية بوشيعتين ذاتيّ عدد لفات مختلف و متوازيّتي المحورو ملفوفتين حول قلب حديدي بحيث تفصلهما مسافة صغيرة لتشكل نواة مغناطيسية [5] كما يوضح الشكل (1.1).



الشكل (1.1): محول كهربائي حثي

3.2 المبدأ الحاكم لعمل المحولات الحثية (محولات الجهد):

إن فكرة عمل المحولات الحثية تعتمد على قانون فاراداي للكهرومغناطيسية؛ فعند مرور تيار كهربائي متناوب في الملف الابتدائي فإن مجالاً مغناطيسياً متردداً سينشأ في هذا الملف، و تتدفق خطوطه في القلب الحديدي للمحول، فينشأ جهداً كهربائياً في الملف الثانوي. يحرك الجهد الناشئ شحنات هذا الملف فيسري تيار كهربائي [1] كما يوضحه الشكل (2.1).



الشكل (2.1): توصيل أقطاب المحول الكهربائي بالمولد و الحمولة

تكون الاستطاعة في الوشيعه الأولى p_p مساوية للاستطاعة في الوشيعه الثانويه p_s ؛ أي:

$$p_p = p_s \dots \dots \dots (1.1)$$

وحيث أن الاستطاعة تُعطى بالقانون $P = VI$ فإن:

$$V_p I_p = V_s I_s \dots \dots \dots (2.1)$$

حيث:

V_p هو الجهد بين طرفي الوشيعية الأولية.

I_p هو التيار الناشئ في الوشيعية الأولية.

V_s هو الجهد بين طرفي الوشيعية الثانوية.

I_s التيار الناشئ في الوشيعية الثانوية.

باعتبار المحول مثالياً (تساوي التدفق في الملفين) فإنه يمكننا القول أن:

$$V_p = E_p \dots \dots \dots (3.1)$$

و

$$V_s = E_s \dots \dots \dots (4.1)$$

الرمزان E_p و E_s هما الجهدان الناشئان بالحث داخل الوشيعية الأولية و الوشيعية الثانوية على الترتيب.

و حيث ينص قانون فاراداي على أن $E = N \frac{d\phi}{dt}$ (E الجهد الناشئ داخل الملف، و N عدد لفات الوشيعية

و ϕ تدفق الحقل المغناطيسي في الملف) فإنه بالتعويض في المعادلتين (3.1) و (4.1) نجد:

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s} \dots \dots \dots (5.1)$$

و تسمى علاقة التحويل للمحول الحثي.

4.2 المحولات الحثية الحقيقية:

إن العلاقة (5.1) تُعتبر المحوّل مثالياً، و لكن الحقائق التجريبية تختلف، فهناك عدة ظواهر ترافق عمل المحولات الحثية الحقيقية و تؤثر على نسبتها المحوّلة. من ذلك امتلاك الوشيعيتين الابتدائية و الثانوية مقاومةً داخليةً تتوقف قيمتهما على نوع الناقل و مساحة مقطعه، و عند أخذ قيمتيهما في الحسبان فهذا يعني أن التوتر بين طرفي الوشيعية الابتدائية لا يساوي جهد المولد بسبب هبوط الجهد، كما أن التوتر بين طرفي الوشيعية الثانوية لا يساوي بالضرورة الجهد الناشئ بالحث داخل الملفات، إضافة إلى تبديدهما للطاقة بفعل جول الحراري [1] .

1.4.2 مقاومة الملفات:

للملفين الابتدائي و الثانوي مقاومتان كهربائيتان R_1 و R_2 ، تتعلق قيمتهما بنوع مادة الناقل ومساحة مقطعه، ويتجلى تأثير المقاومة في:

- انخفاض القدرة الخارجة عن القدرة الداخلة، و ذلك لوجود ضياع داخل الملفات بسبب مقاومتها للتيار المار فيها.
- انخفاض الجهد على الأطراف V_p و V_s عن الجهد الناشئ بالحث داخل الملفات E_p و E_s ، وذلك بسبب

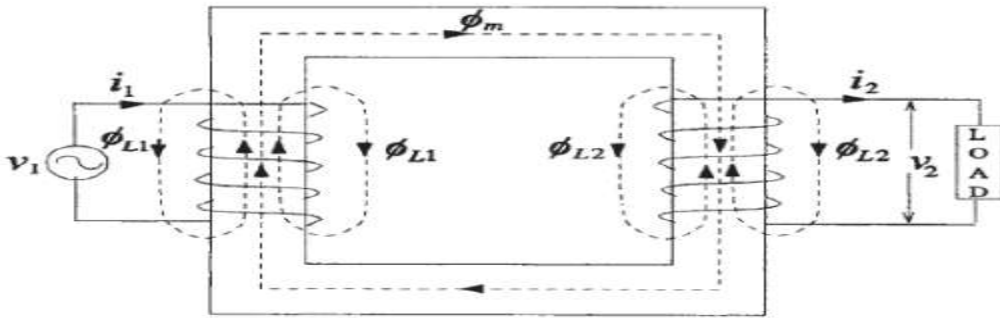
هبوط الجهد، و يمكن ترجمة ذلك رياضيا [1] بـ:

$$V_p \neq E_p$$

$$V_s \neq E_s$$

2.4.2 الفيض المغناطيسي المتسرب:

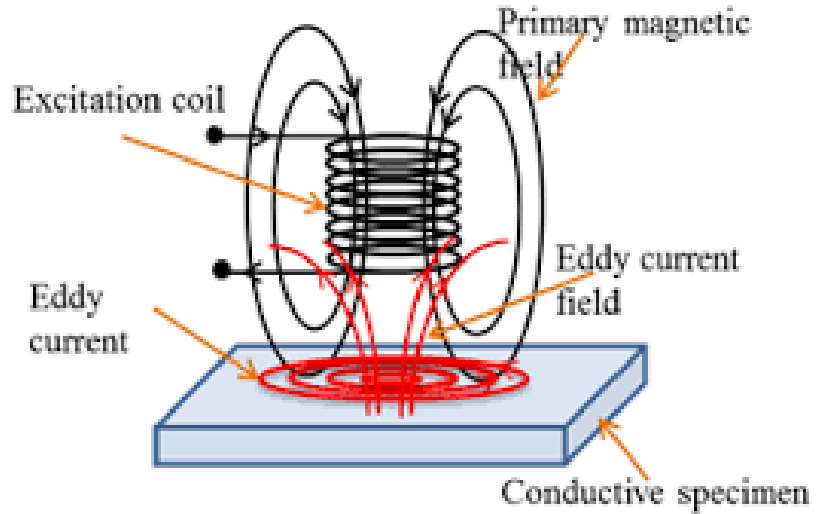
في المحول المثالي يتم افتراض أن الفيض المغناطيسي الناشئ يتدفق كله عبر الملف الثانوي دون تشتت، و هذا مُنَافٍ للواقع؛ إذ أن هناك فيضا متسربا من كلا الملفين كما يُظهره الشكل (3.1)، و هو متناسب طردا مع المسافة الفاصلة بين الملفين، لذلك نجد عمليا أن الملفات الابتدائية توضع متشابكة مع الملفات الثانوية، كما يمكن استعمال نواة حديدية تتفاعل مع الحقول المغناطيسية المتولدة، بحيث تعمل على جمعها و توجيهها داخل الملف الثانوي [5].



الشكل (3.1): تسرب الفيض المغناطيسي في الملفين الابتدائي و الثانوي

3.4.2 التيارات الدوامية:

طبقاً لقانون فاراداي فإن الفيض المغناطيسي المتولد حين يتدفق عبر جسم ناقل فإنه يولد فيه تياراً كهربائياً. ينطبق هذا القانون على الوشيعتين الابتدائية والثانوية، كما ينطبق على النواة الحديدية؛ فالتدفق المغناطيسي عبرها يولد تيارات دوامية غير مرغوب فيها، كما يُظهرها الشكل (4.1)، و هي تبدد جزءاً من الطاقة المختزنة في الحقول المغناطيسية على شكل حرارة، لذلك تُجعل النواة الحديدية ذات مقاومة كهربائية كبيرة، و ذلك بصنعها من شرائح معدنية رقيقة و مضغوطة معاً و معزولة عن بعضها بشرائح عازلة [5].

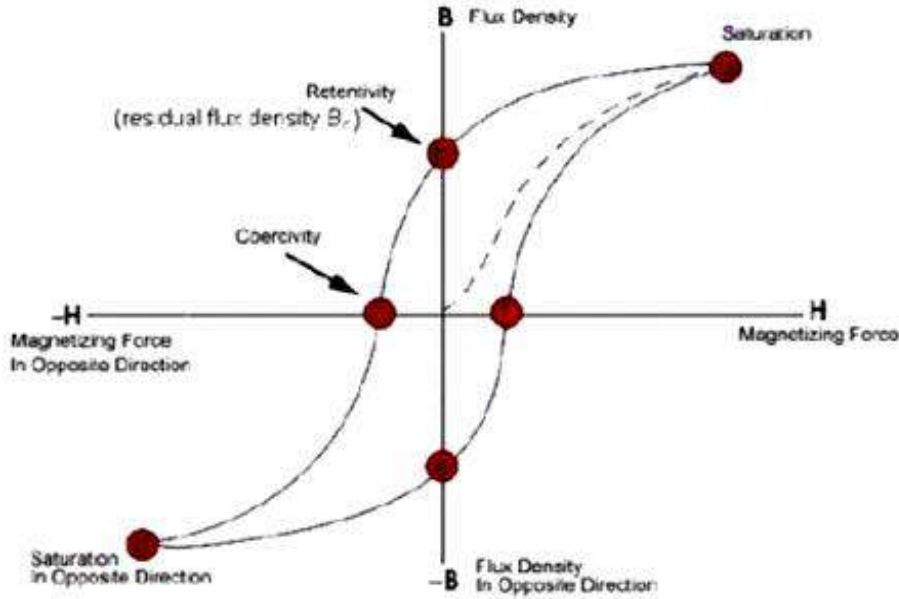


الشكل (4.1): التيارات الدوامية الناشئة في قطعة حديد

4.4.2 الاستجابة الحثية:

عند مرور الفيض المغناطيسي في النواة الحديدية فإن جزيئات الحديد تستجيب له بدرجة ما، فتترتب بانتظام في اتجاه الحقول المغناطيسية المؤثرة عليها، و عند تناقص شدة الحقول المغناطيسية فإنه من المفترض أن يختفي هذا التأثير على الجزيئات، ولكن هذا لا يحصل إلا في المحول المثالي؛ إذ يبقى جزء من الحقول

المغناطيسية في النواة الحديدية يسمى الفيض المتبقي، الشكل (5.1)، أي أننا نفقد بذلك جزءاً من الطاقة المختزنة في الحقل المغناطيسية بفعل هذه الظاهرة، والتي تدعى التخلف أو البقاء المغناطيسي [5].



الشكل (5.1): منحنى استجابة النواة الحديدية للمغطة الخارجية

5.2 مزايا المحولات الحثية و نقائصها:

● تمتلك المحولات الحثية عدة مزايا أهمها [5]:

- خفض شدة التيار و رفع قيمة الجهد مع المحافظة على الطاقة المحولة، و بالتالي تقليل الطاقة المتبددة بفعل جول أثناء نقل الطاقة الكهربائية عبر أسلاك النقل لمسافات بعيدة.
- التحكم في رفع و خفض قيمتي الجهد والتيار فقط من خلال التغيير في عدد اللفات.
- كما أنها تعاني العديد من النقائص من بينها [5]:
- المحولات الحثية ذات حجم كبير نظرا لبنيتها المكونة من وشائع ذات عدد كبير من اللفات.

- إرتفاع درجة حرارتها؛ إذ تتسبب المقاومات الداخلية و التيارات الدوامية في رفع درجة حرارة هذه المحولات كثيراً، و هو ما يجعلها دوماً بحاجة إلى نظام تبريد تستعمل فيه المراوح و الزيوت.

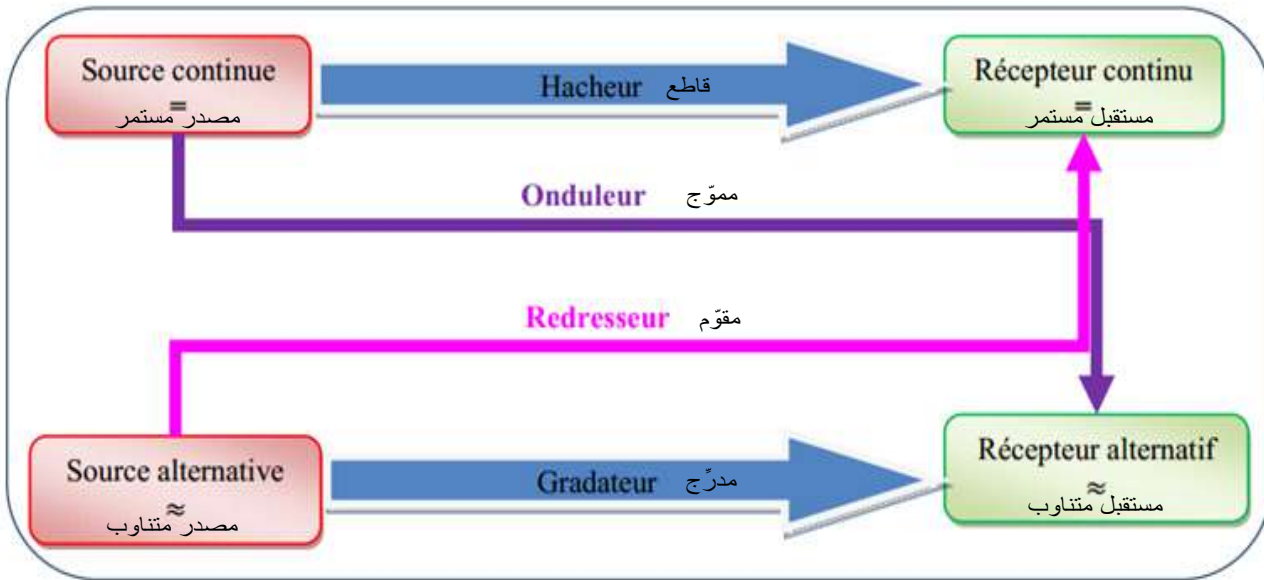
- الضوضاء: تنبعث أصوات مزعجة من المحولات الحثية، و اهتزاز النواة الحديدية هو المصدر الأساسي لهذه الضوضاء؛ فعندما تتمغنط شريحة من الصلب فإنها تنكمش أو تتمدد بنسبة صغيرة تصل إلى حوالي $10 \mu\text{m}$ لكل متر، مما يتسبب بهذا الصوت.

هذا و يوجد صنف آخر من المحولات يُسمى المحولات العاكسة، تقوم بتغيير نوع الإشارة الواردة إليها من مصدر آخر (مستمرة أو متناوبة)، أو تعديلها وتحسينها.

3. محولات الإشارة:

هي عبارة عن جهاز ساكن يحول إشارة مصدر كهربائي ما (مستمرة أو متناوبة) إلى إشارة مختلفة تناسب وظيفيا مع نوع المستقبل الكهربائي [10، 14].

تختلف أنواع هذه المحولات حسب نوع الإشارة المستقبلة والمرسلة، و يمكن تلخيصها في الشكل (6.1).

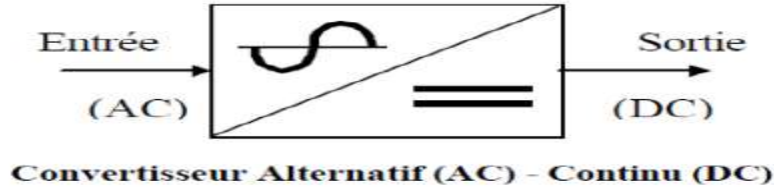


الشكل (6.1): مخطط لمختلف أنواع المحولات العاكسة

4. المقوم الكهربائي (Redresseur):

1.4 تعريف المقوم الكهربائي:

هو جهاز يحول إشارة مصدر متناوبة الشكل إلى إشارة مستقبل مستمرة. يتكون هذا المحول في معظم الحالات من مجموعة من الصمامات الثنائية أو من محول وصمامات ثنائية، و هو شائع الاستخدام في الكثير من التطبيقات الكهربائية و الأجهزة الإلكترونية مثل الشاحن الكهربائي ومجسات إشارة الراديو [9، 13، 14]. . . و يُرمز له كما بالشكل (7.1).

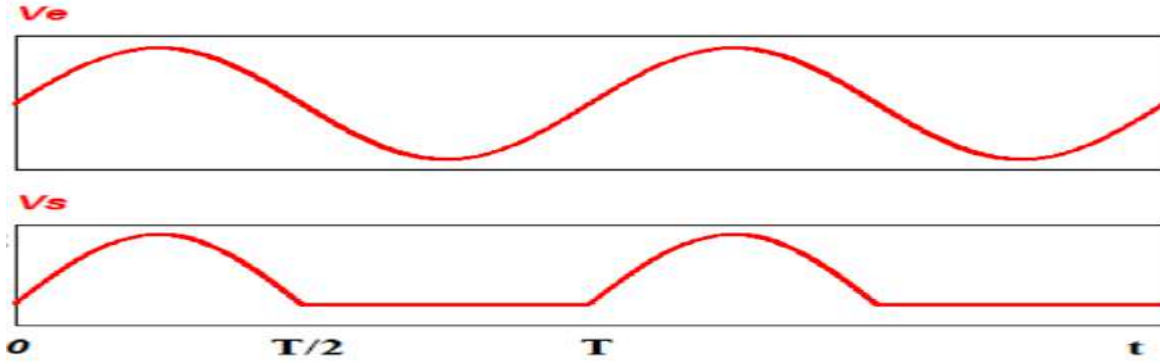


الشكل (7.1): الرمز النظامي للمقوم الكهربائي

2.4 مبدأ عمل المقوم:

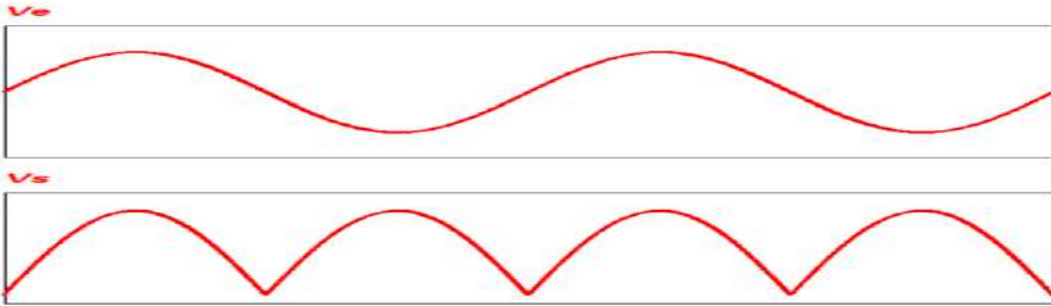
يستند مبدأ تصحيح الإشارة المتناوبة إلى خصائص بعض العناصر الإلكترونية و الكهربائية، ويمكن أن نميز عدة مراحل [12]:

(أ) **تصحيح التناوب البسيط:** و يعتمد أساسا على خصائص الصمام الثنائي (تمرير التيار الكهربائي من جهة واحدة فقط)، و بالتالي يقطع الصمام التيار الكهربائي عندما يكون الجهد بين طرفيه سالبا، فيزيل نصف موجه إشارة الدخول، في حين يتصرف الصمام مع النصف الثاني لموجة الدخول كدائرة قصيرة كما يوضحه الشكل (8.1.أ).



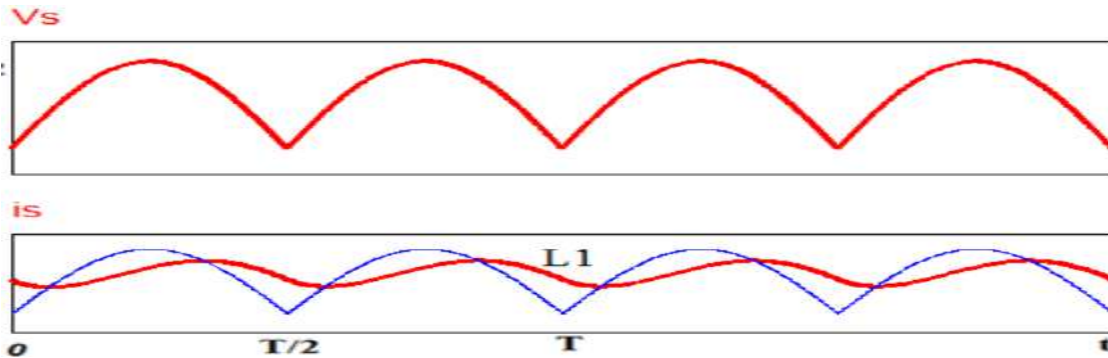
الشكل (أ.8.1): شكل الإشارة بعد تصحيح التناوب البسيط

ب) تصحيح كامل للتناوب: تنعكس قطبية جهد المصدر، ويعمل الصمام المقابل في الدارة نفس عمل الصمام الأول، لكن هذه المرة باعتبار الموجة السالبة سابقا موجبة، و بالتالي يتم تقويمه، الشكل (ب.8.1).



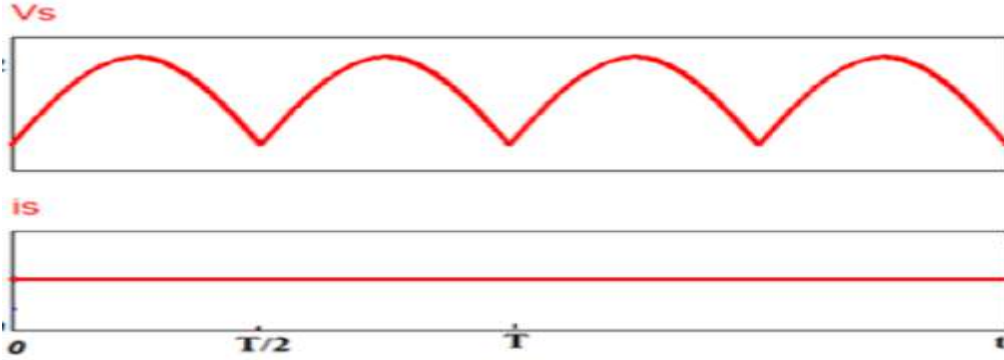
الشكل (ب.8.1): شكل الإشارة بعد التصحيح الكامل للتناوب

ج) تنعيم الإشارة: تتم هذه العملية بعد مرور التيار الكهربائي في مكثفة بخاصية معينة (سريعة الشحن و بطيئة التفريغ و ذات سعة كبيرة) لنتحصل على إشارة جهد كما في الشكل (ج.8.1).



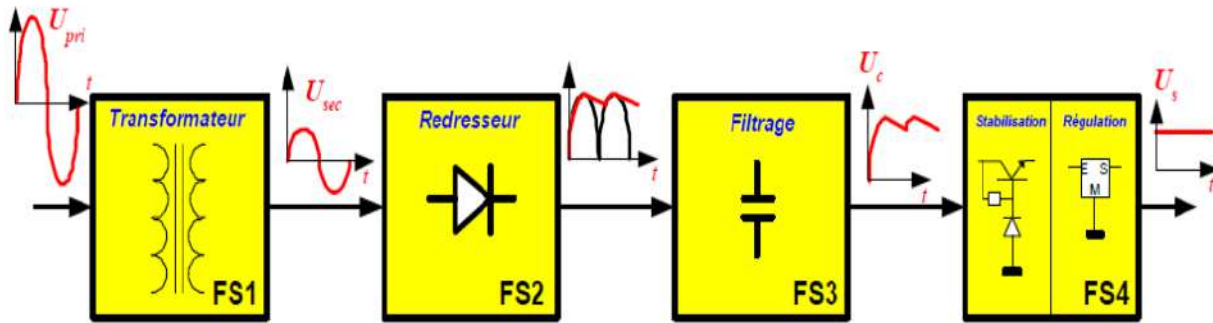
الشكل (ج.8.1): شكل الإشارة بعد تنعيمها

(د) تثبيت الإشارة: تتم هذه المرحلة بواسطة صمام ثنائي للحصول على جهد مستمر ثابت ومستقل نهائياً عن الاضطرابات (إختلافات شدة التيار أو الحمل) لتكون الإشارة النهائية كما بالشكل (د.8.1).



الشكل (د.8.1): شكل الإشارة بعد التثبيت (إشارة مستمرة)

الشكل (9.1) يلخص كل ذلك.



الشكل (9.1): مخطط لمختلف مراحل تقويم الإشارة المتناوبة في المقوم

بينما تتم العملية العكسية بواسطة جهاز آخر يدعى بالمحول العاكس (العاكس الكهربائي).

5. العاكس الكهربائي (Onduleur):

1.5 تعريف العاكس الكهربائي:

هو جهاز كهربائي ساكن يحول إشارة مصدر مستمرة الشكل إلى إشارة مستقبل متناوبة، و يحتوي على دارات ساكنة تحول استطاعة مصدر مستمرة إلى استطاعة مصدر متناوب بالجهد والتردد المطلوبين [7، 8]،

و يمكن التحكم في جهد وتردد مخرج العاكس عن طريق التحكم في المفاتيح الإلكترونية الخاصة بهذه العواكس، و عادة ما تكون هذه المفاتيح نبضاتٍ و عناصر ذات فصل أو غلق محكم، مثل الثايرستور . . . ، حيث يعتمد أساسا على تكنولوجيا أشباه الموصلات [7]، و يتكون من تركيبات لصمامات ثنائية مختلفة، يمكن استخدامها في عدة تطبيقات صناعية منها [7، 10]:

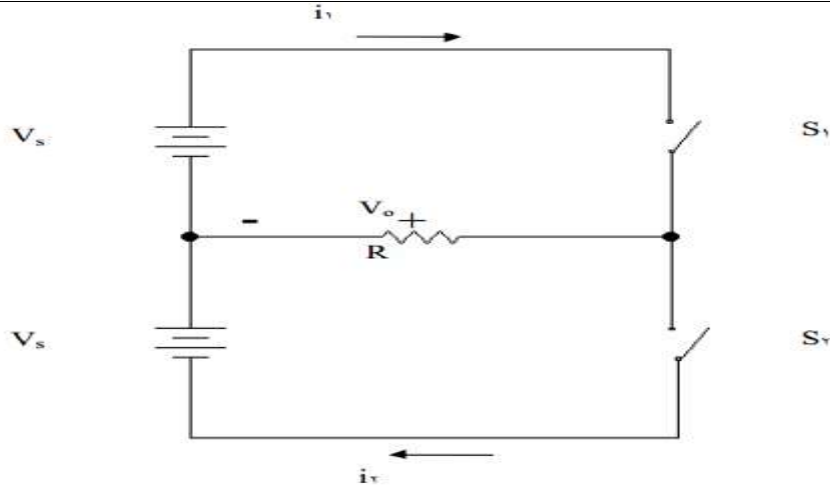
- التحكم في سرعة المحركات الحثية.
- تعتبر مصادر احتياطية للتغذية في حالة انقطاع التيار الكهربائي.
- يُرمز للعاكس الكهربائي كما بالشكل (10.1).



الشكل (10.1): الرمز النظامي للعاكس الكهربائي

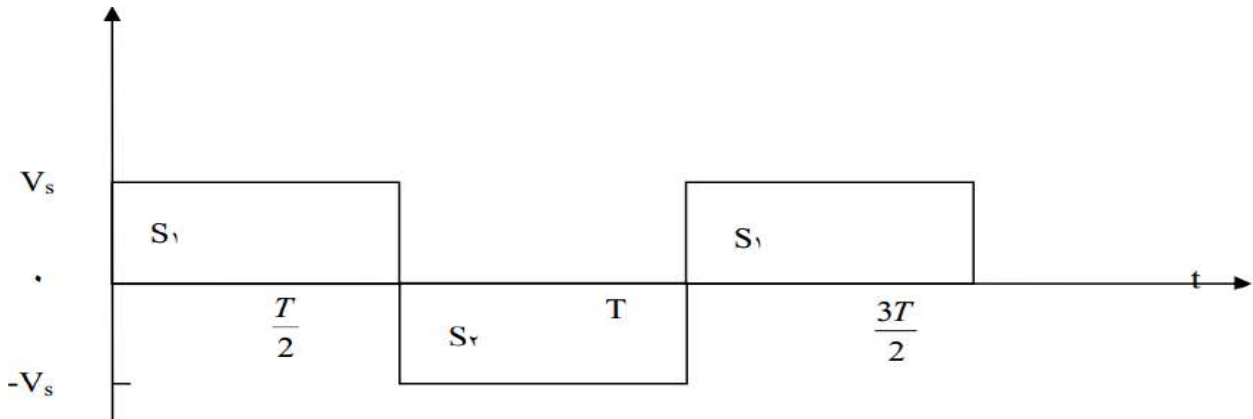
2.5 مبدأ عمله:

- يتكون العاكس من دوائر إلكترونية حيث تتكون أبسطها من مفتاحين (قاطعتين) S_1 و S_2 ، و يمكننا تلخيصه في النقاط التالية [7]:
- يتم التحكم بالمفتاحين S_1 و S_2 بواسطة النبضات الخاصة بهما، و عادة ما يتم فتح إحدى القاطعتين و غلق الأخرى بالتناوب، و ذلك عند ربطهما بمصدر الجهد الثابت و المستمر V_s .
 - ينتج جهدان لنبضتين، إحداهما لها قيمة عالية، بينما للأخرى قيمة منخفضة في الفترة الزمنية نفسها، و العكس صحيح.
 - نشوء جهدين مستمرين ثابتين، أحدهما سالب و الآخر موجب، وبالتالي الحصول على موجة جهد متناوب على هيئة شكل مستطيل، زمنها الدوري T ، و يمكن تحديد تردد موجة مخرج العاكس f عن طريق الزمن الدوري $(f = \frac{1}{T})$ ، كما بالشكل (11.1).



الشكل (11.1): الدارة الرئيسية لعاكس أحادي الطور متصل بمقاومة R

و تكون إشارة الخروج كما بالشكل (12.1).



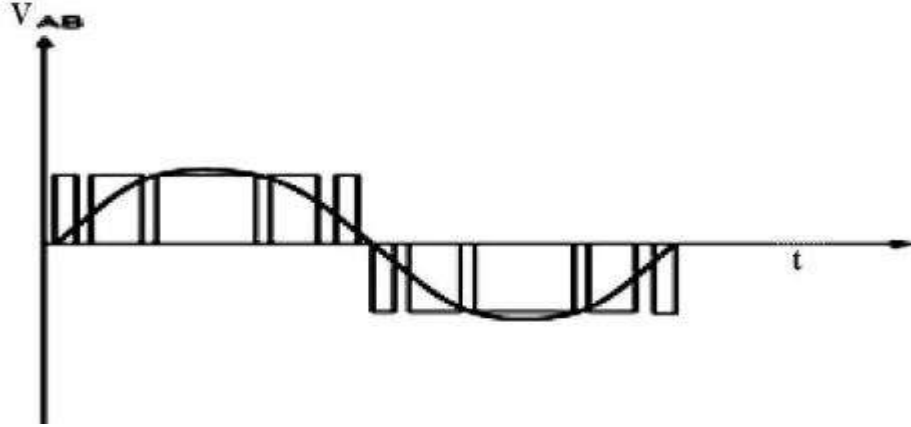
الشكل (12.1): موجات نبضات المفتاحين و جهد الخروج للعاكس أحادي الطور دون تنعيم

ملاحظة:

يمكن التحكم في تردد جهد الخروج عن طريق التحكم في زمن فتح و غلق المفاتيح الإلكترونية، وعادة ما تكون موجة مخرج الجهد المستطيلة للعاكس مناسبة لبعض التطبيقات غير المهمة، بينما تكون موجة الخروج الجيبية هي الموجة المثالية المطلوبة في العديد من التطبيقات.

ولجعل موجة الخروج موجةً جيبيةً أو قريبةً منها يمكن استخدام عدة طرق، أبسطها وضع مرشح عند نهاية العاكس، وغالبا ما يُراعى عند تصميم هذا المرشح قدرة تحمّله للقدرة الصادرة عن العاكس؛ إذ عند القدرة العالية

يُضطر إلى استعمال مرشح ذي وزن و تكلفة كبيرة إلى حد ما لتقل كفاءته [7]، و تكون إشارة المخرج كما بالشكل (13.1).



الشكل (13.1): موجات جهد مخرج عاكس بعد التنعيم

6. إيجابيات محولات الإشارة:

لمحولات الإشارة عدة إيجابيات منها [15] :

- كفاءة عالية نتيجة نقص الطاقة الضائعة.
- ذات موثوقية عالية.
- معدل حياة طويل و سهولة الصيانة.
- إستجابة ديناميكية سريعة.
- صغيرة الحجم و قليلة الكتلة.

كما أن لها بعض السلبيات، نذكر منها [15]:

- إنخفاض جودته كثيرا، و يكون غير اقتصادي أثناء تشغيله في الجهود العالية.
- قدرة تحمل منخفضة.
- قد تشكل خطراً في حالة استخدام دوائر الجهد العالي.
- تحتاج نظام تبريد.

الفصل الثاني

الدراسة النظرية لإشارة الخلية الشمسية

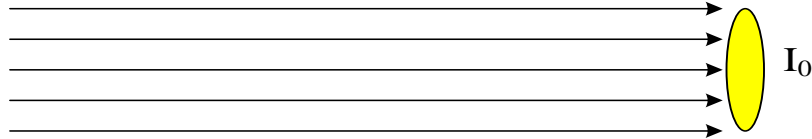
تمهيد

بعد تعرّفنا على مختلف أنواع المحولات تبادر إلى أذهاننا إنجاز تركيبية تمكننا من دراسة الإشارة الناجمة عن إضاءة الخلية الشمسية إضاءةً متقطعةً، عبر تحويلها بواسطة محول حث كهرومغناطيسي، و من ثمّ دراسة خصائص هذه الإشارة، و إمكانية استغلالها عملياً للحصول على تيار متناوب، فما هي هذه التركيبية؟ و ما الأسس النظرية التي تستند عليها؟ هذا ما سنعرفه في هذا الفصل.

1 الدراسة النظرية للإضاءة الواردة إلى خلية شمسية:

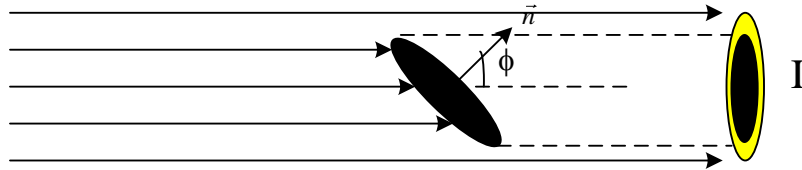
1-1- مقدار الإضاءة الواردة إلى خلية شمسية بشكل قرص:

إن دراسة مقدار الإضاءة الواردة إلى الخلية الشمسية تستوجب معرفة مقدار مساحة مقطع الأشعة الضوئية الواردة إلى اللوح الشمسي، و ذلك باعتبار التناسب بينهما مباشرةً. يُظهر الشكل (1.2) حزمة أشعة ضوئية ترد إلى شاشة بشكل قرص فيكون مقدار الإضاءة I_0 .



الشكل (1.2): حزمة أشعة ضوئية واردة إلى لوح دائري الشكل

لنضع الآن قرصاً معتماً أبعاده كأبعاد الشاشة في طريق هذه الحزمة. إذا كان القرصان متوازيين فإن الإضاءة على الشاشة ستكون منعدمةً، فإذا أديرته بزواوية Φ فإن الشاشة ستكون مضاءةً بالمقدار I ، الشكل (2.2).



الشكل (2.2): حزمة أشعة ضوئية واردة إلى لوح دائري الشكل بوجود قرص مُعتم

2-1- تحديد النسبة بين مقدار المساحة المضاءة والمظللة I/I_0 :

في الحقيقة فإن ظل القرص على الشاشة سيكون بشكل قطع ناقص ذي قطرين، أحدهما كبير و الآخر صغير. $2R$ هي قطر القرص الدوّار، و $2R'$ هي القطر الصغير لظله على الشاشة، أما قطره الكبير فهو نفسه قطر القرص الدوّار؛ أي $2R$. من الواضح أن:

$$2R' = 2R \cos \phi \Rightarrow R' = R \cos \phi \dots\dots\dots(1.2)$$



الشكل (3.2): رسم يوضح المساحة المظللة بالقرص

إذاً ستكون مساحة الظل هي مساحة القطع الناقص:

$$S' = \pi R R' = \pi R (R \cos \phi) = \pi R^2 \cos \phi = S \cos \phi \dots\dots\dots(2.2)$$

حيث مساحة القرص الدوّار: $S = \pi R^2 \dots\dots\dots(3.2)$

و تكون مساحة الجزء المضاء عندما نقتطع منه الظل:

$$S'' = S - S' = S - S \cos \phi = S (1 - \cos \phi) \dots\dots\dots(4.2)$$

إذا ما اعتبرنا مقدار الإضاءة متناسبًا مع مساحة الجزء المضاء من اللوح الشمسي فإن:

$$I(\phi) = I_0 (1 - \cos \phi) \dots\dots\dots(5.2) \text{ فإن } 0 \leq \phi \leq \frac{\pi}{2}$$

و عندما يكون $\frac{\pi}{2} \leq \phi \leq \pi$ فإن: $I(\phi) = I_0 (1 + \cos \phi) \dots\dots\dots(6.2)$

ذلك أن $\cos \phi < 0$ في المجال $\frac{\pi}{2} \leq \phi \leq \pi$ ، و عليه يمكن كتابة صيغة الإضاءة على النحو التالي:

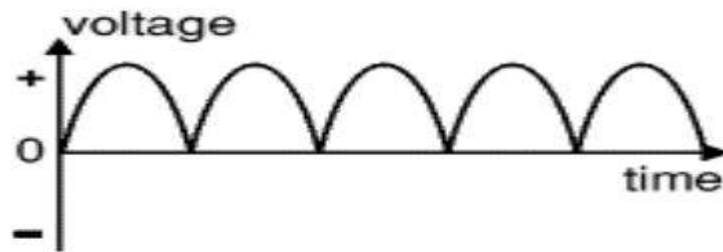
$$I(t) = I_0 (1 - | \cos(\omega t) |) \dots\dots\dots(7.2)$$

3-1 الجهد الأولي بين قطبي الخلية الشمسية (إشارة الدخول):

لتبسيط معالجة المسألة سنعتبر الجهد بين قطبي الخلية الشمسية متناسبًا طرديًا مع شدة الإضاءة الواردة إلى اللوح^(*)، و باعتبار استجابة الخلية الشمسية للضوء أسرع بكثير من الزمن الدوري لانقطاع الضوء فإن الجهد الكهربائي الأولي الخارج من اللوح سيكون له السلوك ذاته:

$$V(t) = V_0(1 - |\cos(\omega t)|) \dots\dots\dots(8.2)$$

حيث V_0 الجهد الأعظمي، ω تردد انقطاع الضوء الوارد، وهو نفسه الجهد الداخل بين طرفي الوشيعية الابتدائية، و شكل إشارته سيكون كما بالشكل (4.2).



الشكل (4.2): شكل إشارة الدخول

^(*)في الحقيقة فإن علاقة الجهد بين طرفي الخلية الشمسية أعقد من هذا؛ إذ كلما زادت شدة الإضاءة ازدادت استطاعة الخلية و ظلَّ الجهد ثابتاً تقريباً. سنفصل بعض الشيء في نهاية هذا الفصل.

1-3- الجهد الثانوي بين طرفي الوشيعة الثانوية واستنباط إشارة الخروج:

إن فكرة عمل هذا المحوّل مبنية على أساس معادلة ماكسويل الثالثة في الكهرومغناطيسية، و التي تمثل التعبير الرياضي لقانون فاراداي-هنري التجريبي:

$$\varepsilon = -\frac{d\varphi}{dt} \Rightarrow \overrightarrow{rot E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \dots\dots\dots(9.2)$$

عند تطبيق فرق الكمون الصادر عن اللوح الشمسي المعادلة (8.2) بين طرفي الوشيعة الأولى يسري فيها تيار كهربائي متغير مع الزمن وفقاً للمعادلة نفسها، و ينشأ داخل نواة هذه الوشيعة حقل مغناطيسي ذو فيض مغناطيسي Φ متغير مع الزمن أيضاً بالكيفية ذاتها.

تلتفّ خطوط الحقل المغناطيسي حول نفسها، فتشكّل عرى مغلقة، تخترق الوشيعة الثانية، فتحرّض فيها قوة دافعة كهربائية ε ، و تسعى هذه القوة المتحرّضة بأفعالها إلى ممانعة السبب الذي أدّى إلى نشوئها، و هو تغيّر الفيض المغناطيسي مع الزمن.

في الحقيقة تحدث كل هذه الأفعال متزامنة؛ فكل واحدة من الوشيعتين تؤثر في الأخرى، و تؤثر في نفسها؛ ذلك أن التحريض الكهرومغناطيسي يحدث في كل موضع ذي فيض مغناطيسي متغير مع الزمن بأيّة كيفية (في حالتنا هذه يتغير الفيض المغناطيسي نتيجة تغيّر الحقل المغناطيسي بسبب التيار المتغير مع الزمن، فالوشيعتان ثابتتان موضعاً و شكلاً). يمكن تمثيل ذلك رياضياً بمعاملين معروفين هما معامل التحريض الذاتي L و معامل التحريض المتبادل M .

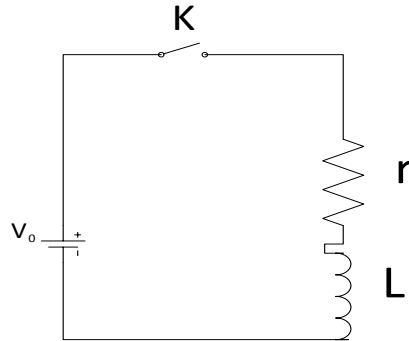
حيث أن جملتنا تتألف من وشيعتين فإنه سيكون لدينا ثلاثة معاملات حثّ: L_1 معامل الحث الذاتي للوشيعة الأولى، L_2 معامل الحث الذاتي للوشيعة الثانية، M معامل الحث المتبادل بين الوشيعتين. بالنظر إلى ما سبق فإن المسألة ستؤول إلى شبكة كهربائية، تتم دراستها وفقاً لقوانين الشبكات.

2- الدراسة النظرية باستعمال قوانين الشبكات:

تعتمد قوانين الشبكات الكهربائية على قوانين أوم (Ohm) و كيرشوف (Kirchhoff) للعقد و العروات. سنطبق هذه القوانين أولاً لدراسة أجزاء شبكتنا منفصلةً عن بعضها، و ذلك لمعرفة سلوك إشارتنا فيها، ثم نمذج المحول المقترح لإيجاد التيارات الكهربائية في كل فرع من فروع الشبكة، و من ثمّ استنباط جهد المخرج. قبل ذلك سنرى سلوك بعض الإشارات الكهربائية في دارة بسيطة مؤلفة من وشيعة و مقاومة كهربائية.

1-2 دراسة دارة مؤلفة من وشيعة و مقاومة على التسلسل و مغذاة بجهد مستمر:

يمثل الشكل (5.2) شبكة كهربائية بسيطة ذات منبع جهد مستمر.



الشكل (5.2): شبكة كهربائية ذات جهد مستمر

تُغلقُ القاطعة عند اللحظة $t = 0$ فيسري تيار $I(t)$ ، و يكون حسب قانون جمع التوترات:

$$L \frac{dI}{dt} + rI = V_0 \dots\dots\dots(10.2)$$

حل هذه المعادلة التفاضلية هو:

$$I(t) = \frac{V_0}{r} + Ce^{-\frac{r}{L}t} \dots\dots\dots(11.2)$$

يحدّد الثابت C من شرط انعدام التيار عند اللحظة الابتدائية $I(t=0) = 0$:

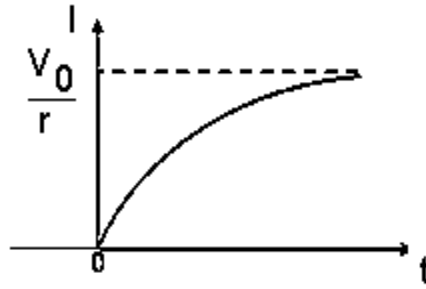
$$I(0) = \frac{V_0}{r} + C = 0 \dots\dots\dots(12.2)$$

فيكون:

$$I(t) = \frac{V_0}{r} (1 - e^{-\frac{r}{L}t}) \dots\dots\dots(13.2)$$

حيث r المقاومة الداخلية للوشيعة، و L معامل حثّها الذاتي.

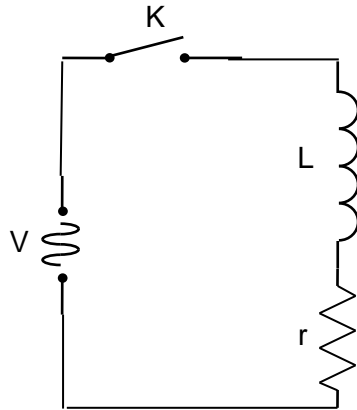
أي أن التيار ينمو أسياً مع الزمن حتى يستقر عند القيمة V_0/r ، الشكل (6.2)، ويكون مستقلاً تماماً عن L ؛ فمعامل الحث الذاتي (الوشيعة) لا تؤثر إلا عند المرحلة العابرة التي تسبق استقرار التيار.



الشكل (6.2): منحنى التيار في الدارة نتيجة الجهد المستمر الثابت

2-2-دراسة دارة مؤلفة من وشيعة و مقاومة على التسلسل و مغذاة بجهد متناوب:

ماذا لو كان جهد المصدر متغيرا جيبيا مع الزمن $V(t) = V_0 \cos(\omega t)$ ؟



الشكل (7.2): مخطط لدارة الجهد $V(t) = V_0 \cos(\omega t)$

المعادلة التفاضلية المعبرة عن هذه الدارة هي: (14.2) $L \frac{dI}{dt} + rI = V_0 \cos(\omega t)$

كما يمكن أن تكتب بالصيغة المركبة كالتالي: (15.2) $L \frac{dI}{dt} + rI = V_0 e^{i\omega t}$

و يكون حلها بالصيغة الحقيقية:

$$I(t) = \frac{V_0}{L^2\omega^2 + r^2} (L\omega \sin(\omega t) + r \cos(\omega t)) + Ce^{-\frac{r}{L}t} \dots\dots\dots(16.2)$$

و بالصيغة المركبة: (17.2)
$$I(t) = \frac{V_0}{r + iL\omega} e^{i\omega t} + Ce^{-\frac{r}{L}t}$$

باستخدام الشرط $I(0) = 0$ يكون $C = -\frac{V_0}{r + iL\omega}$ ومنه: $0 = \frac{V_0}{r + iL\omega} + C$

و تكون صيغة التيار على النحو: (18.2)
$$I(t) = \frac{V_0}{r + iL\omega} (e^{i\omega t} - e^{-\frac{r}{L}t})$$

التيار الفعلي هو الجزء الحقيقي لهذه العبارة:

$$I(t) = \frac{V_0}{L^2\omega^2 + r^2} (L\omega \sin(\omega t) + r \cos(\omega t) - re^{-\frac{r}{L}t}) \dots\dots\dots(19.2)$$

التطبيق العددي من أجل: $V_0 = 1V$, $\omega = 100\pi s^{-1}$, $L = 0.002H$, $r = 0.8\Omega$ يكون:

$$\frac{V_0}{L^2\omega^2 + r^2} = \frac{10^2}{16 + 4\pi^2} = \frac{25}{4 + \pi^2}$$

$$L\omega = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 10^2 \pi = 0.2\pi \Omega, \quad \frac{r}{L} = 400$$

$$I(t) = \frac{25}{4 + \pi^2} (0.2\pi \sin(100\pi t) + 0.8 \cos(100\pi t) - 0.8e^{-400t}) \dots\dots(20.2)$$

و هو ممثّل بالشكل (8.2).

ومن جهة أخرى فإن الجهد الناشئ عن التحريض يُعطى بـ: (21.2)
$$V(t) = L \frac{dI}{dt}$$

وباعتبار المقاومة الداخلية للوشية منفصلة عنها فإن:

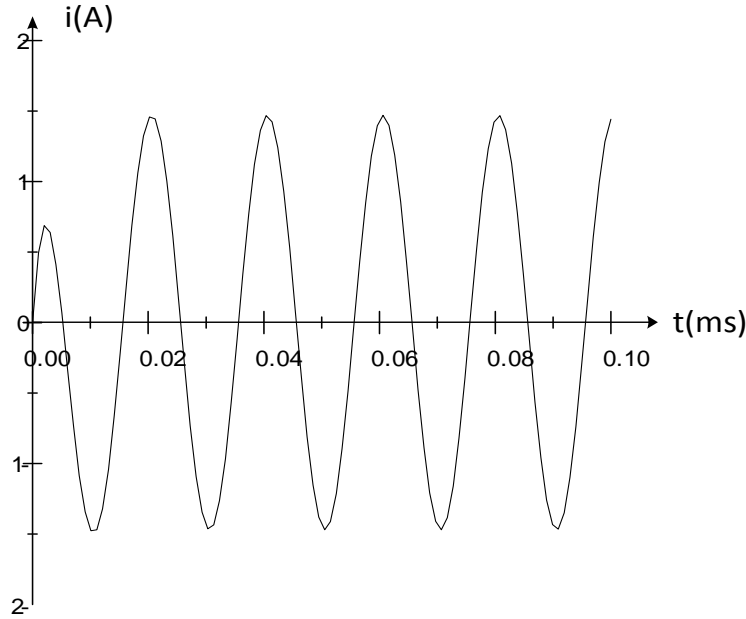
$$V(t) = \frac{2 \cdot 10^{-3} \times 25}{4 + \pi^2} (-80\pi \sin(100\pi t) + 20\pi^2 \cos(100\pi t) + 320e^{-400t}) \dots\dots\dots(22.2)$$

و هو ممثلٌ بالشكل (9.2).

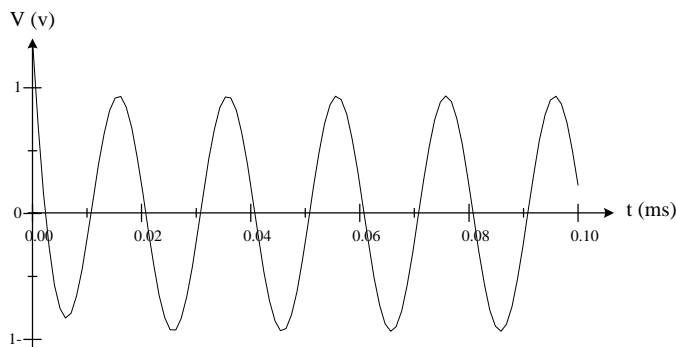
نلاحظ أن ممانعة الوشيعة، و هي ناشئةٌ عن معامل الحث الذاتي و المقاومة الداخلية، هي:

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{V_0 e^{i\omega t}}{V_0 e^{i\omega t} / r + iL\omega} = r + iL\omega \dots\dots(23.2)$$

المعامل الأسّي سرعان ما يضمحل مع الزمن، لذا استبعد عن الحُسبان.

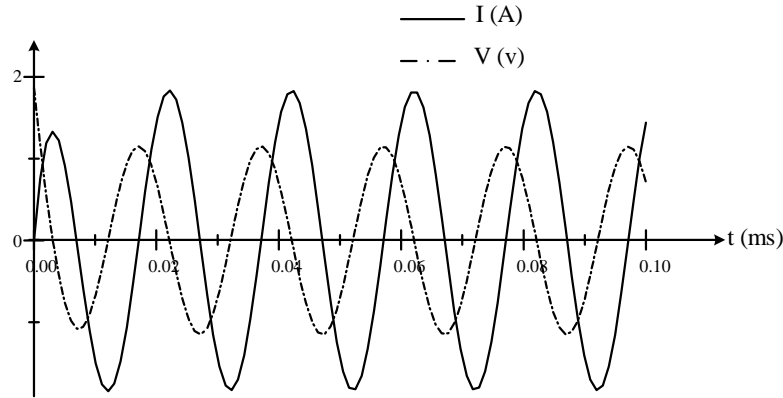


الشكل (8.2): التيار في الدارة نتيجة الجهد الجيبي



الشكل (9.2): الجهد الناشيء في الوشيعة نتيجة التحريض الجيبي

يبين الشكل (10.2) الاختلاف الطوري بين التيار و الجهد.

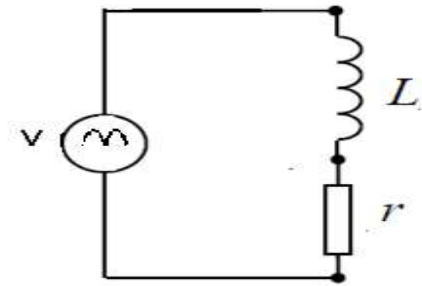


الشكل (10.2): الجهد (الخط المتقطع) والتيار (الخط المستمر) للوشية

على اعتبار المقاومة الداخلية لها منفصلة عنها

3-2- دراسة دارة مغذاة بجهد $V(t) = V_0(1 - |\cos(\omega t)|)$

نقترح تسمية هذا الجهد بالجهد الجيبي ذي الاتجاه الواحد.



الشكل (11.2): مخطط لدارة ذات جهد $V(t) = V_0(1 - |\cos(\omega t)|)$

تكتب المعادلة التفاضلية على النحو: (24.2)..... $L \frac{dI}{dt} + rI = V_0(1 - \text{sgn}(\cos(\omega t))e^{i\omega t})$

الرمز $\text{sgn}(\dots)$ يعني إشارة المقدار الذي أمامه.

حل المعادلة التفاضلية (24.2) هو: (*)

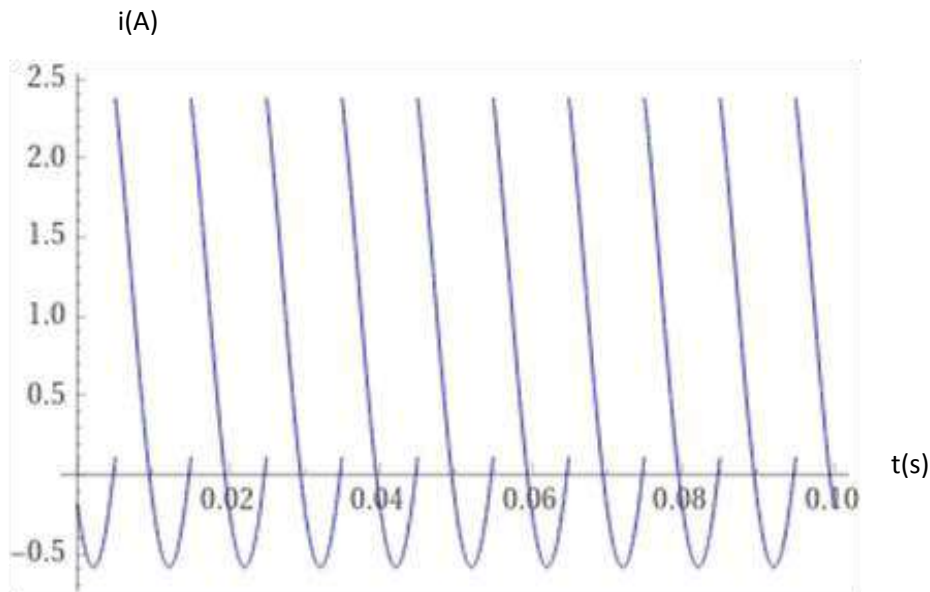
$$I(t) = \frac{V_0}{r + iL\omega} (-\text{sgn}(\cos(\omega t))e^{i\omega t} + \frac{iL\omega}{r} + 1) \dots\dots\dots(25.2)$$

أهمل الجزء الأسّي $e^{\frac{r}{L}t}$ لأنه يضمحل سريعاً.

للتطبيق العددي من أجل: $V_0 = 1V$, $\omega = 100\pi s^{-1}$, $L = 0.002H$, $r = 0.8\Omega$ يكون:

$$\frac{V_0}{L^2\omega^2 + r^2} = \frac{10^2}{16 + 4\pi^2} = \frac{25}{4 + \pi^2}$$

$$I(t) = -\frac{25}{4 + \pi^2} \text{sgn}(\cos(100\pi t)) [0.2\pi \sin(100\pi t) + 0.8 \cos(100\pi t)] + \frac{1}{0.8} \dots\dots\dots(26.2)$$



الشكل (12.2): التيار في الدارة نتيجة الجهد $V(t) = V_0(1 - |\cos(\omega t)|)$

(*) لقد استخدمنا لحلول المعادلات التفاضلية الموقع <https://www.wolframalpha.com>

لاحظ أن هذا التيار تراكب لتيارين:

$$I(t) = \frac{V_0}{r} - \text{sgn}(\cos(100\pi t)) \frac{V_0(r \cos(\omega t) + L\omega \sin(\omega t))}{r^2 + L^2 \omega^2} \dots\dots\dots(27.2)$$

أي يمكننا دراسة الإشارةين V_0 و $-V_0 |\cos(\omega t)|$ منفصلتين عن بعضهما، ومن ثمَّ ضمهما إلى بعضهما.

ممانعة الوشيعة للإشارة $:V_0 |\cos(\omega t)|$

باعتقاد الدارة الكهربائية السابقة، الشكل (11.2)، سنحسب ممانعة الوشيعة للإشارة $V_0 |\cos(\omega t)|$ ، لذا

سنحل المعادلة التفاضلية التالية:

$$L \frac{dI}{dt} + rI = V_0 |\cos(\omega t)| \dots\dots\dots(28.2)$$

والتي تكتب بالصيغة المركبة كالتالي:

$$L \frac{dI}{dt} + rI = \text{sgn}(\cos(\omega t)) V_0 e^{i\omega t} \dots\dots\dots(29.2)$$

حل هذه المعادلة التفاضلية هو:

$$I(t) = \text{sgn}(\cos(\omega t)) \frac{V_0}{r + iL\omega} e^{i\omega t} \dots\dots\dots(30.2)$$

باستبعاد الحد الأسّي $e^{-\frac{r}{L}t}$ تصبح ممانعة هذه الوشيعة:

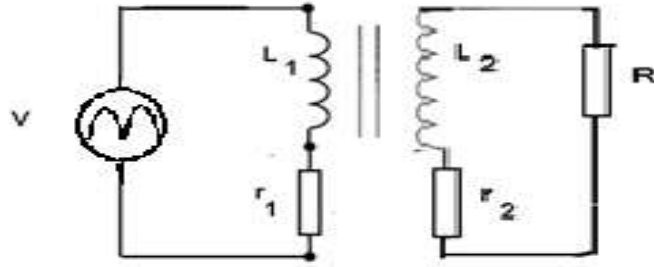
$$Z = \frac{V}{I} = \frac{V_0 \text{sgn}(\cos(\omega t)) e^{i\omega t}}{V_0 \text{sgn}(\cos(\omega t)) e^{i\omega t} / r + iL\omega} = r + iL\omega \dots\dots\dots(31.2)$$

وهي تماثل تماما ممانعة الوشيعة للتيار الجيبي المعتاد.

4-2- دراسة مسألة المحوّل المقترح وتحليلها:

بعد دراستنا لسلوك دارة الوشيعة و المقاومة عند جهد مستمر و جهد جيبي سندرس الآن المحوّل المقترح،

و هو ممثّل بالشبكة الكهربائية كما في الشكل (13.2).



الشكل (13.2): مخطط للمحول المقترح

حسب قانون جمع التوترات (قانون كيرشوف للجهود) يمكن كتابة معادلتين العروتين كما يلي:

$$r_1 I_1 + L_1 \frac{dI_1}{dt} + M \frac{dI_2}{dt} = V_1 \dots\dots\dots(32.2)$$

$$L_2 \frac{dI_2}{dt} + (R + r_2) I_2 + M \frac{dI_1}{dt} = 0 \dots\dots\dots(33.2)$$

حيث V_1 الجهد الأولي، I_1 التيار الداخل، r_1 المقاومة الداخلية للوشيعة الأولى، L_1 معامل الحث الذاتي للوشيعة الأولى، r_2 المقاومة الداخلية للوشيعة الثانية، L_2 معامل الحث الذاتي للوشيعة الثانية، R مقاومة الحمل الخارجي على الدارة الثانوية، M معامل الحث المتبادل بين الوشيعتين، I_2 التيار الخارج.

إن الجزء V_0 من الإشارة الكهربائية المقترحة يولد تياراً مستمراً في الدارة الأولى، ولا يؤدي إلى ظهور تيار متحرّض، لا في الدارة الأولى ولا في الدارة الثانية. الجزء $V_0 |\cos(\omega t)|$ هو الذي سيؤدي ذلك الدور، لذا سنعتبر $V_1 = V_0 |\cos(\omega t)|$

$$r_1 I_1 + L_1 \frac{dI_1}{dt} + M \frac{dI_2}{dt} = V_0 |\cos(\omega t)| \dots\dots\dots(34.2)$$

وبالصيغة المركبة تكتب كالتالي:

$$r_1 I_1 + L_1 \frac{dI_1}{dt} + M \frac{dI_2}{dt} = \text{sgn}(\cos(\omega t)) V_0 e^{i\omega t} \dots\dots\dots(35.2)$$

$$\dots\dots\dots(36.2)$$

$$L_2 \frac{dI_2}{dt} + R_2 I_2 + M \frac{dI_1}{dt} = 0$$

بوضع $R_2 = R + r_2$ و التعويض عن dI_2/dt من (36.2) في (35.2) يكون:

$$\frac{dI_2}{dt} = -\frac{R_2}{L_2} I_2 - \frac{M}{L_2} \frac{dI_1}{dt} \dots\dots\dots(37.2)$$

$$r_1 I_1 + L_1 \frac{dI_1}{dt} + M \left(-\frac{R_2}{L_2} I_2 - \frac{M}{L_2} \frac{dI_1}{dt} \right) = \text{sgn}(\cos(\omega t)) V_0 e^{i\omega t} \dots\dots\dots(38.2)$$

$$r_1 I_1 + L_1 \frac{dI_1}{dt} - \frac{MR_2}{L_2} I_2 - \frac{M^2}{L_2} \frac{dI_1}{dt} = \text{sgn}(\cos(\omega t)) V_0 e^{i\omega t} \dots\dots\dots(39.2)$$

بتعويض $M^2 = L_1 L_2$ و الاختزال نجد:

$$r_1 I_1 - \frac{MR_2}{L_2} I_2 = \text{sgn}(\cos(\omega t)) V_0 e^{i\omega t} \dots\dots\dots(40.2)$$

$$I_2 = \frac{r_1 L_2}{MR_2} I_1 + \text{sgn}(\cos(\omega t)) \frac{V_0 L_2}{MR_2} e^{i\omega t} \dots\dots\dots(41.2) \quad \text{ومنه:}$$

$$\frac{dI_2}{dt} = \frac{r_1 L_2}{MR_2} \frac{dI_1}{dt} + \text{sgn}(\cos(\omega t)) \frac{i\omega V_0 L_2}{MR_2} e^{i\omega t} \dots\dots\dots(42.2)$$

نعوض عن I_2 و $\frac{dI_2}{dt}$ في المعادلة (36.2) فيكون:

$$L_2 \left(\frac{r_1 L_2}{MR_2} \frac{dI_1}{dt} + \text{sgn}(\cos(\omega t)) \frac{i\omega V_0 L_2}{MR_2} e^{i\omega t} \right) + R_2 \left(\frac{r_1 L_2}{MR_2} I_1 + \text{sgn}(\cos(\omega t)) \frac{V_0 L_2}{MR_2} e^{i\omega t} \right) + M \frac{dI_1}{dt} = 0 \dots\dots\dots(43.2)$$

$$\left(\frac{r_1 L_2^2}{MR_2} + M \right) \frac{dI_1}{dt} + \frac{r_1 L_2}{M} I_1 = \text{sgn}(\cos(\omega t)) \frac{V_0 L_2}{M} \left(1 + \frac{i\omega L_2}{R_2} e^{i\omega t} \right) \dots\dots\dots(44.2) \quad \text{ومنه:}$$

بوضع $A = \frac{r_1 L_2^2}{MR_2} + M$ و $B = \frac{r_1 L_2}{M}$ و $C = \text{sgn}(\cos(\omega t)) \frac{V_0 L_2}{M}$ و $D = \frac{L_2}{R_2}$ يمكن إعادة

$$A \frac{dI_1}{dt} + B I_1 = C (1 + i\omega D) e^{i\omega t} \dots\dots\dots(45.2) \quad \text{كتابة المعادلة (44.2) على نحو أبسط كما يلي:}$$

وهي معادلة تفاضلية حلها:

$$I_1(t) = C_1 e^{-\frac{B}{A}t} + \frac{C(1+i\omega D)e^{i\omega t}}{B+i\omega A} \dots\dots\dots(46.2)$$

باعتبار $I_1(0) = 0$ فإن: $C_1 = -\frac{C(1+i\omega D)}{B+i\omega A}$ ، ومنه فإن: $I_1(t) = \frac{C(1+i\omega D)}{B+i\omega A} (e^{i\omega t} - e^{-\frac{B}{A}t})$ حيث:

$$\frac{B}{A} = \frac{r_1 R_2}{L_2 r_1 + L_1 R_2}, \quad D = \frac{L_2}{R_2}, \quad C = \text{sgn}(\cos(\omega t)) V_0 \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}, \quad B = r_1 \sqrt{\frac{L_2}{L_1}}, \quad A = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \frac{(L_2 r_1 + L_1 R_2)}{R_2}$$

التيار الفعلي الذي يسري في الدارة الأولى ينبغي أن يضاف إليه التيار الناتج عن الجزء الثابت من إشارة

المصدر V_0 ؛ أي $\frac{V_0}{r_1}$ ، إذًا (46.2) تصبح:

$$I_1(t) = \frac{V_0}{r_1} + \frac{C(1+i\omega D)}{B+i\omega A} (e^{i\omega t} - e^{-\frac{B}{A}t}) \dots\dots(47.2)$$

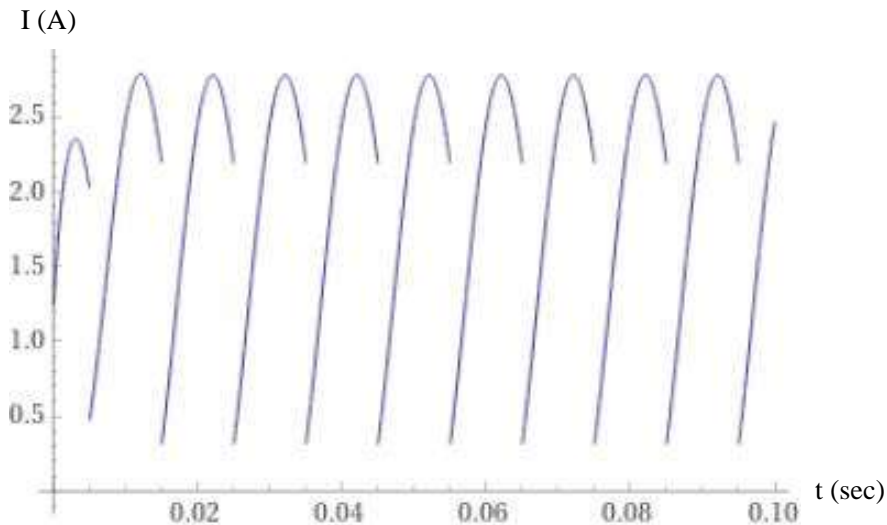
التيار الفعلي هو الجزء الحقيقي من العبارة (47.2):

$$I_1(t) = V_0 \left\{ \frac{1}{r_1} + \frac{\text{sgn}(\cos(\omega t))}{r_2 + \frac{(L_2 r_1 + L_1 R_2)\omega^2}{R_2^2}} \left[\left(r_1 + \frac{L_2(L_2 r_1 + L_1 R_2)\omega^2}{R_2^2} \right) (\cos(\omega t) - e^{-\frac{r_1 R_2}{L_2 r_1 + L_1 R_2}t}) + \omega L_1 \sin(\omega t) \right] \right\} \dots\dots(48.2)$$

التطبيق العددي $V_0 = 1V$, $\omega = 100\pi s^{-1}$, $r_1 = 0.8\Omega$, $L_1 = 0.002H$, $L_2 = 0.3H$, $R_2 = 6750\Omega$

$$I_1(t) = 1.25 + \frac{\text{sgn}(\cos(100\pi t))}{66.92484 \times 10^{-2}} \times \left[0.80893(\cos(100\pi t) - e^{-393.0131t}) + 0.2\pi \sin(100\pi t) \right] \dots\dots(49.2)$$

و هو ممثل بالشكل (14.2).



الشكل (14.2): التيار في الدارة الأولى للمحول نتيجة الجهد $V(t) = V_0(1 - |\cos(\omega t)|)$

من المعادلة (41.2) نحدد التيار في الدارة الثانية، وذلك باعتبار I_1 دون الجزء الناتج عن الجهد الثابت V_0 :

$$I_2 = \frac{L_2 r_1}{\sqrt{L_1 L_2 R_2}} \left[\frac{C(1+i\omega D)}{B+i\omega A} (e^{i\omega t} - e^{-\frac{B}{A}t}) \right] - \text{sgn}(\cos(\omega t)) \frac{L_2 V_0}{\sqrt{L_1 L_2 R_2}} e^{i\omega t} \dots\dots (50.2)$$

$$I_2 = \frac{V_0}{R_2} \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \left\{ -\text{sgn}(\cos(\omega t)) \left[r_1 \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \frac{(1+i\omega D)}{B+i\omega A} (e^{i\omega t} - e^{-\frac{B}{A}t}) - e^{i\omega t} \right] \right\} \dots\dots (51.2)$$

$$I_2 = \frac{V_0}{R_2} \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \left\{ -\text{sgn}(\cos(\omega t)) \left[\frac{B(1+i\omega D)}{B+i\omega A} (e^{i\omega t} - e^{-\frac{B}{A}t}) - e^{i\omega t} \right] \right\} \dots\dots (52.2)$$

و منه: أما التيار الفعلي فهو الجزء الحقيقي للعبارة (52.2):

$$I_2 = \frac{V_0}{R_2} \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \left\{ \frac{-\text{sgn}(\cos(\omega t))}{B^2 + \omega^2 A^2} \left[A(DB - A)\omega^2 \cos(\omega t) - B(A + DB)\omega \sin(\omega t) - B(B + DA\omega^2)e^{-\frac{B}{A}t} \right] \right\} \dots\dots (53.2)$$

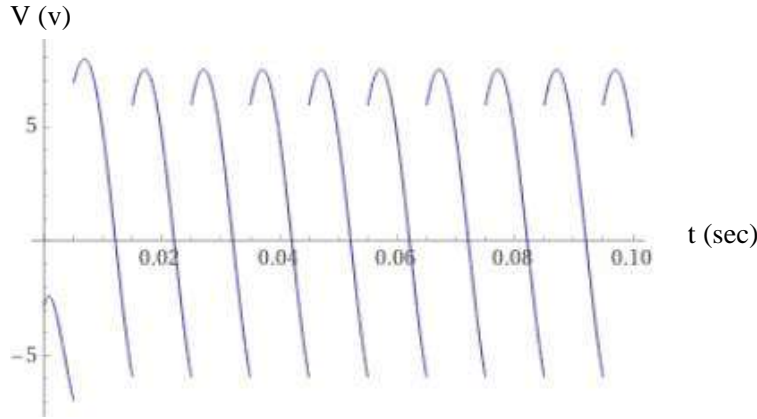
بتعويض قيم الثوابت D, C, B, A نجد:

$$I_2 = \frac{V_0}{R_2} \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} \left\{ \frac{-\text{sgn}(\cos(\omega t))}{\frac{L_2}{L_1} \left[r_1^2 + (L_1 + L_2 \frac{r_1}{R_2})^2 \omega^2 \right]} \times \left[\frac{L_2(L_2 r_1 + L_1 R_2)\omega^2}{R_2} \cos(\omega t) - \frac{L_2 r_1}{L_1 R_2} (2L_2 r_1 + L_1 R_2)\omega \sin(\omega t) - \frac{L_2 r_1}{L_1} (r_1 + \frac{L_2}{R_2} (L_2 r_1 + L_1 R_2)\omega^2) e^{-\frac{r_1 R_2}{L_2 r_1 + L_1 R_2} t} \right] \right\} \dots\dots (54.2)$$

التطبيق العددي: من قانون أوم $V_2 = RI_2$ يمكن كتابة جهد الخروج كما يلي:

$$V_2(t) = \frac{6600}{675} \sqrt{\frac{3}{2}} \left\{ \frac{-\text{sgn}(\cos(100\pi t))}{157.34185} \times \left[60.2704 \cos(100\pi t) - 78.07905 \sin(100\pi t) - 97.07147 e^{-393.013t} \right] \right\} \dots\dots (55.2)$$

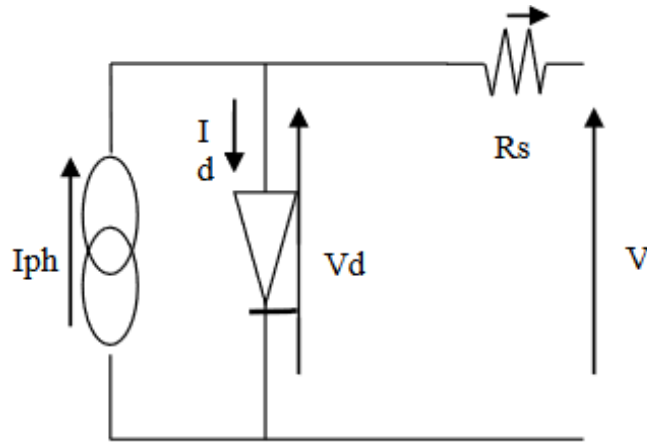
و هو ممثل بالشكل (15.2).



الشكل (15.2): جهد الخروج بين طرفي الوشيعه الثانوية

3- تغيرات الإشارة بدلالة شدة الإضاءة:

تتعلق الخلية الضوئية التي سنقوم بدراستها أساسا بعوامل عدة، من بينها مقدار شدة الإضاءة الواردة ناظميًا على مساحة مقطع اللوح الشمسي، والتي تؤثر بطريقة مباشرة على مقدار التيار الكهربائي الصادر عن اللوح الشمسي، و يمكن توضيح ذلك في ما يلي [16]:



الشكل(16.2): الشبكة الكهربائية المكافئة للخلية الشمسية

حسب قانون كيرشوف يمكن كتابة العلاقة التالية:

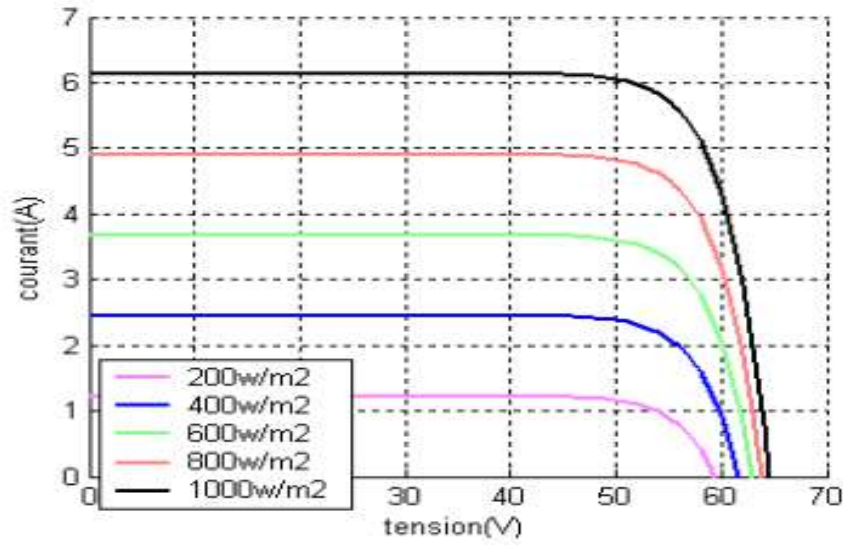
$$I = I_{ph} - I_D \dots\dots\dots(56.2)$$

حيث I التيار الكلي الذي توفره الخلية الشمسية، I_D التيار الناتج عن استقطاب الصمام الثنائي، I_{ph} التيار الضوئي، و هو متعلق بشدة الإضاءة ψ الواردة إلى الخلية على النحو التالي:

$$I_{ph} = I_{cc} \left(\frac{\psi}{\psi_{ref}} \right) \dots\dots\dots(57.2)$$

حيث I_{cc} تيار الدارة القصيرة، ψ_{ref} شدة الإضاءة المرجعية.

الشكل (17.2) يُظهر تغيرات التيار الكهربائي بدلالة الجهد عند مقادير مختلفة لشدة الإضاءة.



الشكل (17.2): تغيرات شدة التيار الكهربائي بدلالة الجهد لشدات إضاءة مختلفة

الفصل الثالث

إنجاز التركيبة

و مناقشة النتائج

تمهيد:

خلال هذا الفصل سنولي اهتماما بالجانب التطبيقي، و كذا بالنتائج المتحصل عليها، كما سنقوم بمناقشة هذه النتائج من حيث مدى مطابقتها للنتائج النظرية، و بالتالي التأكد من صحة النموذج المقترح.

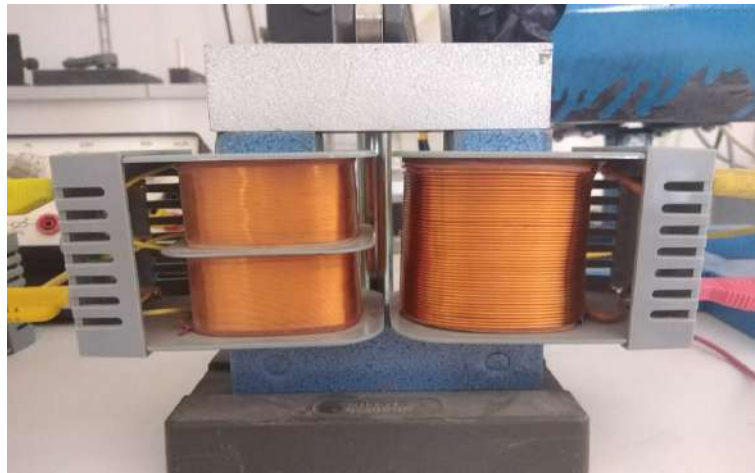
1- الأدوات المستعملة لإنجاز المحول المقترح:

تتألف الدارة المنجزة من:

(أ) محول حثي: متكوّن من وشيعتين داخل قلب حديدي كما يوضحه الشكلان (1.3) و(2.3).

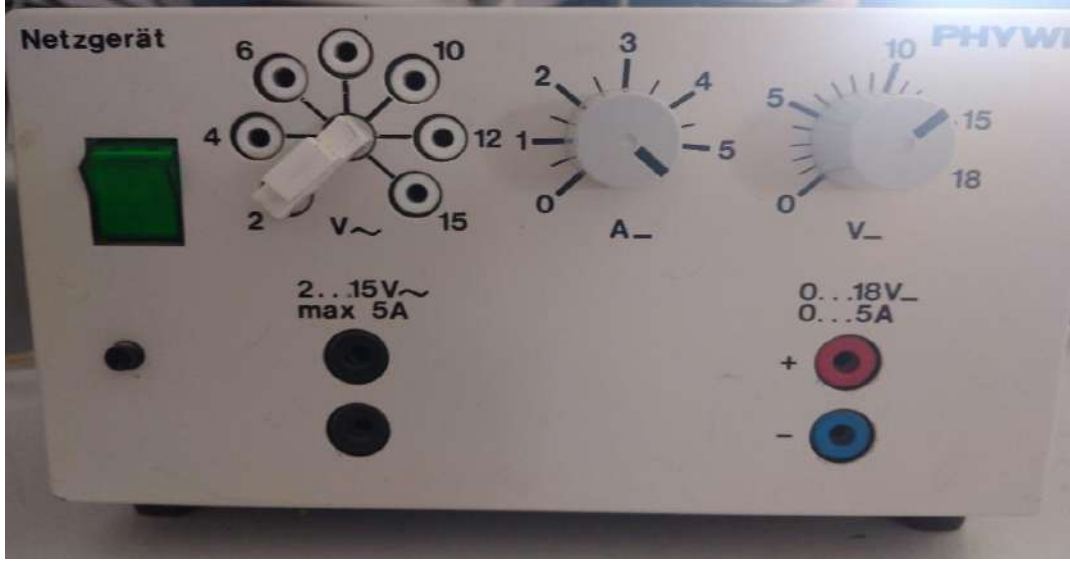


الشكل (1.3): صورة جانبية و أخرى علوية للوشيعتين المستخدمتين



الشكل (2.3): صورة للمحوّل الحثي المنجز

(ب) مصدر تيار مستمر و تيار متناوب: و هو مولد جهد مستمر، كما في الشكل (3.3)، يُستخدم لتغذية المصباح.



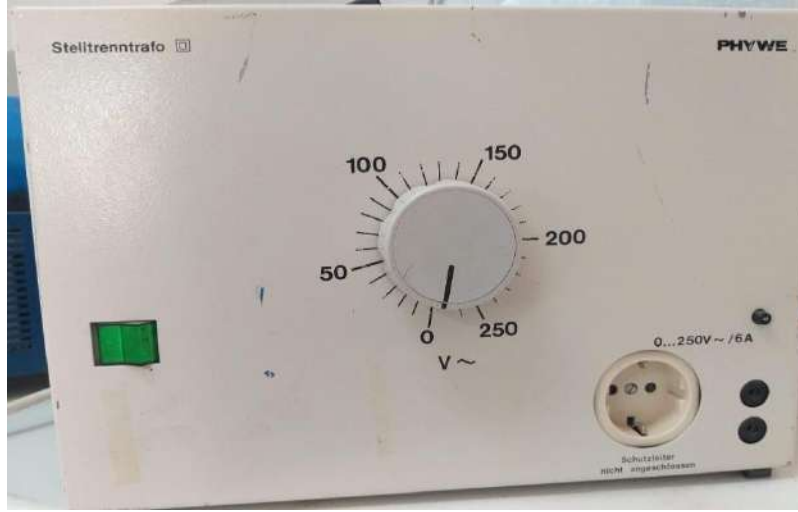
الشكل (3.3): صورة لمصدر التيار المستمر المستخدم

(ج) مصدر ضوئي: و هو مصباح ثنائي باعث للضوء (LED) تجاري، الشكل (4.3)، ذو استطاعة 12w عندما يُغذى بجهد مستمر 12v، و ذلك لضمان شدة إضاءة مستمرة تحاكي ضوء الشمس.



الشكل (4.3): صورة للمصدر الضوئي المستخدم

(د) مُعَيِّر جَهْد (variateur): يُستخدم لتغذية المحرك الذي يدير اللوح الدوّار بغرض التحكم في سرعته، و من ثمّ في تردد انقطاع الضوء، الشكل (5.3).



الشكل (5.3): صورة لمُعَيِّر الجهد (variateur)

(هـ) محرك كهربائي: إستخدمنا محرك مضخة ماء كما في الشكل (6.3).



الشكل (6.3): محرك اللوح الدوّار

(و) لوح دوّار داخل غرفة معتمة: إستخدمنا لوحًا حديديًا دائريًا، موصولًا بمحور المحرك، داخل غرفة معتمة اسطوانية الشكل لضبط شدة الإضاءة الواردة إلى الخلية قدر الإمكان، كما في الشكلين (7.3) و (8.3).



الشكل (7.3): صورة داخلية للّوح الدوّار داخل الغرفة المعتمة



الشكل (8.3): صورة خارجية للغرفة المعتمة

ز) خلية شمسية: لقد استخدمنا خلية شمسية على شكل قرص، كما في الشكل (9.3). لا تحمل هذه الخلية أي مواصفات تقنية سوى تميز قطبيها عن بعضهما.



الشكل (9.3): صورة للخلية الشمسية المستخدمة

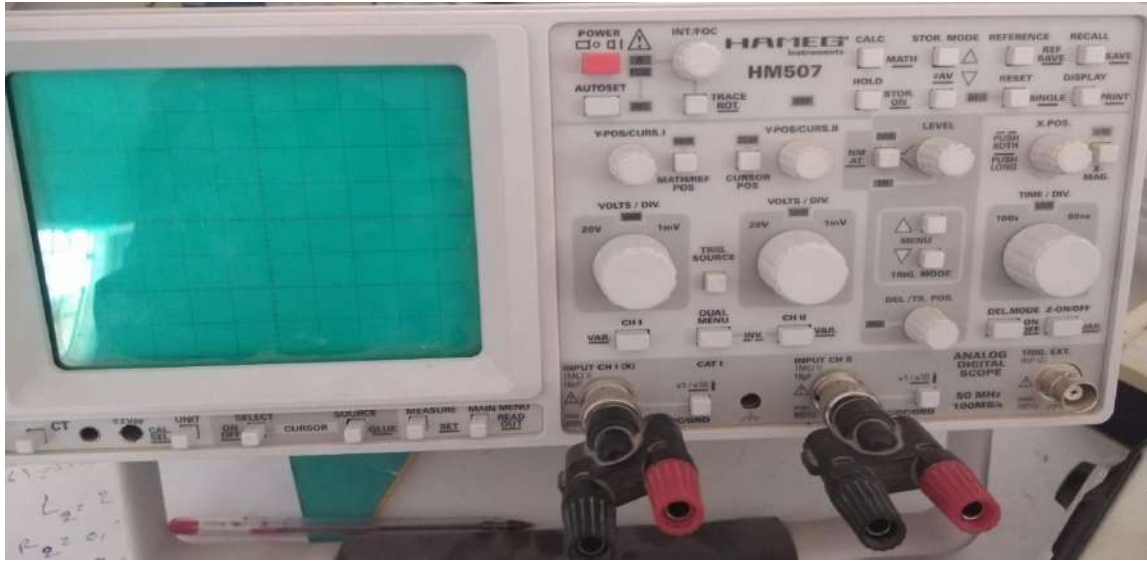
ح) مقاومتين كهربائيتين: استخدمنا مقاومتين كهربائيتين متغيرتي القيمة، الشكل (10.3).



الشكل (10.3): صورة إحدى المقاومتين الكهربائيتين المستخدمتين

كما استعملنا أجهزة القياس التالية:

(أ) راسم الاهتزاز المهبطي: الشكل (11.3)، إستعملناه لرصد إشارتي الدخل V_1 والخروج V_2 .



الشكل (11.3): راسم الاهتزاز المهبطي المستعمل في رصد الإشارات الكهربائية

(ب) فولطمتر: الشكل (12.3)، أستخدم لقياس فروق الكمون بين أطراف بعض عناصر الشبكة، كما استخدمنا أحيانا متعدّدات القياس، الشكل (13.3).



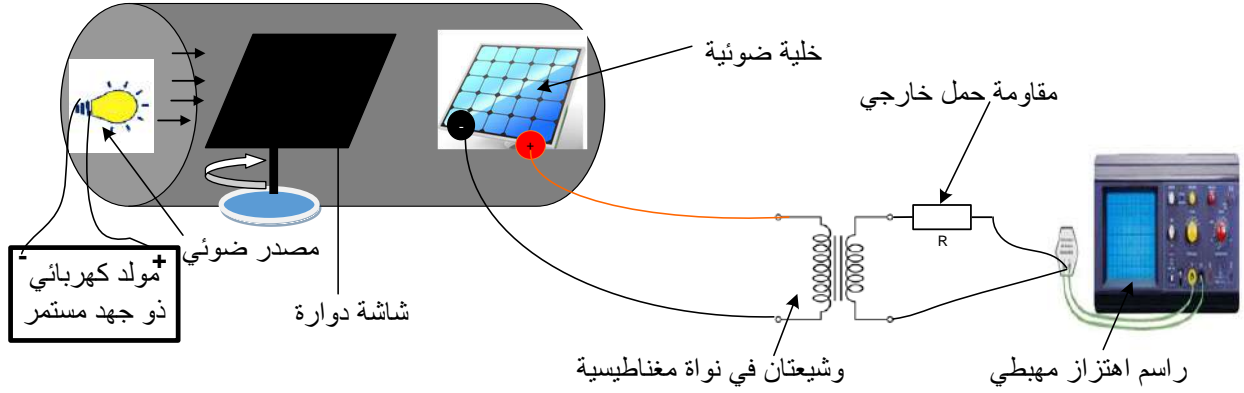
الشكل (12.3): الفولطمتر



الشكل (13.3): متعدد القياسات

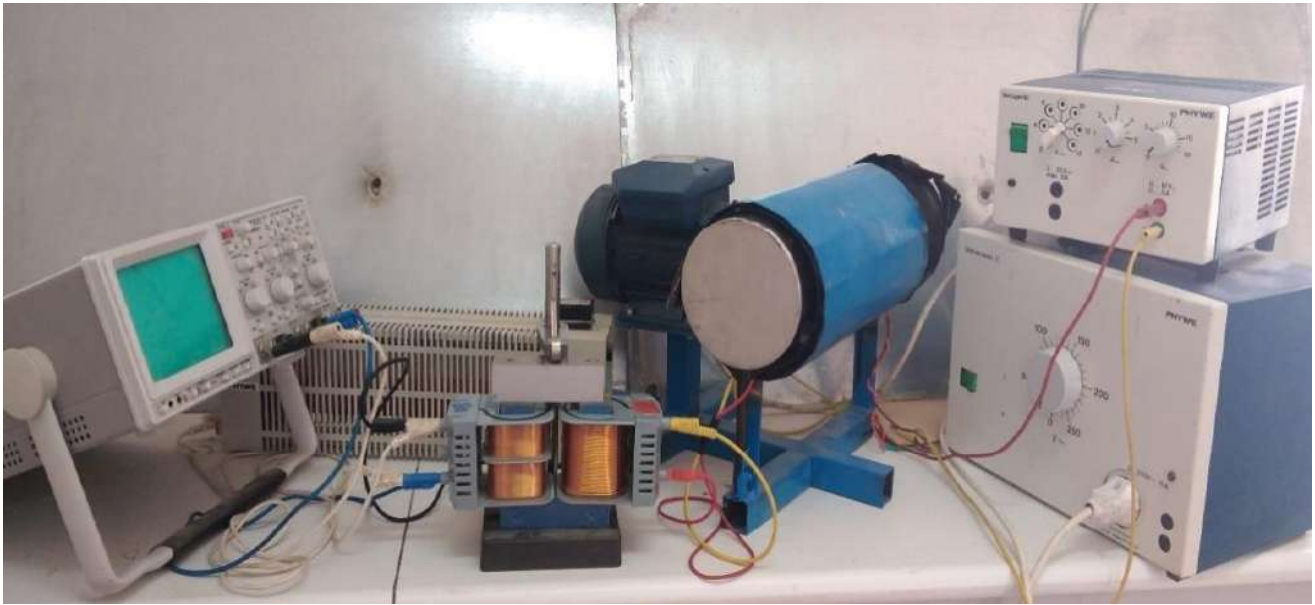
2- مخطط وصفي للتركيبية المنجزة:

تتكوّن تركيبتنا المقترحة من خلية شمسية، تُعَبَّر مصدرًا للجهد المستمر، بجهد أعظمي $V_{max}=1.8v$. تتعرض هذه الخلية إلى ضوء صادر عن مصباح ثنائي باعث للضوء (LED)، مُغَدَّى بجهد مستمر (12v, 12w). يفصل بين الخلية الشمسية و المصباح لوح معدني عاتم يدور حول قطره بواسطة محرك بسرعة متحكّم فيها بمُغَيِّر جهد يغذي المحرك، و لقد غَدَّيناها بحيث كانت سرعته حوالي 2800 tr/min، أي بتردد يقترب من 50Hz. تُغذي هذه الخلية الشمسية وشيعةً أولية لمحول كهربائي. تتبادل هذه الوشيعة التأثير مع وشيعة ثانوية عبّر نواة حديدية. للوشيعة الأولية عدد لفات $N_1=300$ و معامل حث ذاتي $L_1=2mH$ و مقاومة داخلية $r_1=0.8\Omega$ ، أما الوشيعة الثانية فلها $N_2=3600$ و $L_2=0.3H$ و $r_2=150\Omega$. الوشيعة الثانوية متصلة بمقاومتين مربوطتين على التسلسل قيمة كل واحدة منهما $R=3300\Omega$. أما راسم الاهتزاز المهبطي فهو يقبل إدخال إشارتين في آن واحد. الشكل (14.3) يوضح كل ذلك.



الشكل (14.3): مخطط للتركيب المقترح

لقد جُسيِدت هذه التركيبية كما هو موضح في الشكل (15.3).



الشكل (15.3): صورة للتركيبية المنجزة، و تظهر فيها الوشيعة الأولية على اليمين،

و الوشيعة الثانوية إلى اليسار منها

3-مُجريات التجارب و القياسات و نتائجها:

حيث أن دراستنا تتركز أساسا على تحويل شكل الإشارة الكهربائية من شكل إلى آخر فإن أغلب قياساتنا ستكون وصفية، و لقد أُجريت على مراحل، هي:

(1) رصد الإشارة الخارجة من الخلية الشمسية عندما تُضاء بالمصباح دون حاجز، مع تغذية المصباح بجهد متناوب.

(2) رصد الإشارة الخارجة من الخلية الشمسية عندما تُضاء بالمصباح دون حاجز، مع تغذية المصباح بجهد مستمر.

(3) رصد الإشارة الخارجة من الخلية الشمسية عندما تُضاء بالمصباح مع تشغيل اللوح الدوّار.

(4) رصد الإشارة بين طرفي الوشيعة الأولى عندما توصل بقطبي الخلية الشمسية و تُضاء بالمصباح مع تشغيل اللوح الدوّار و عزل الوشيعة الثانية عن الأولى.

(5) رصد الإشارة بين طرفي الوشيعة الثانية عندما توصل الوشيعة الأولى بقطبي الخلية الشمسية و تُضاء بالمصباح مع تشغيل اللوح الدوّار.

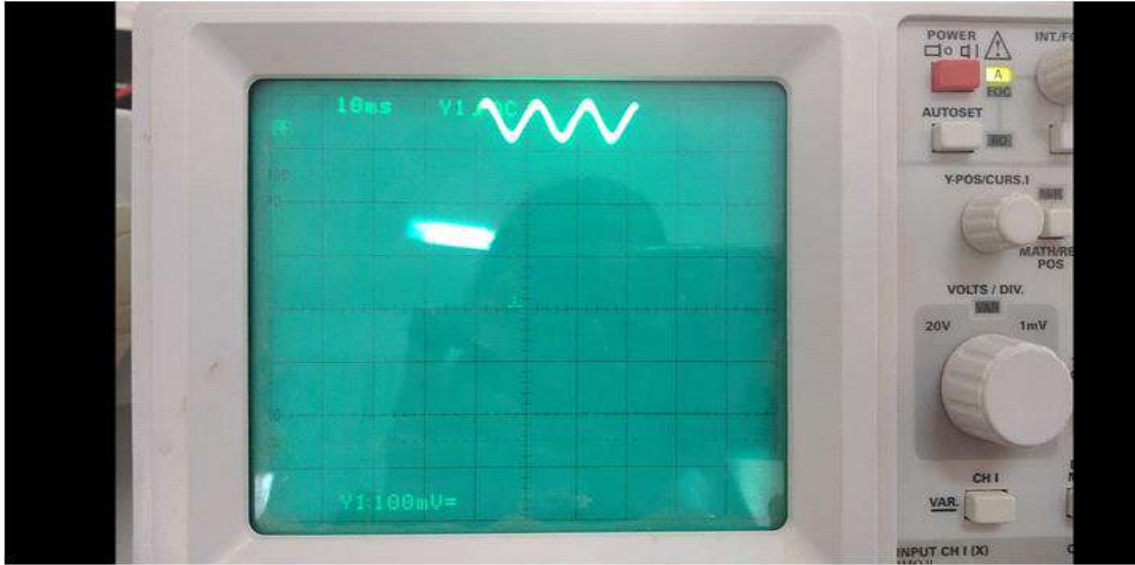
فيما يلي تفصيل كل ذلك.

3-1-مصباح مغذّي بمصدر متناوب:

أول خطوة قمنا بها في هذه الباب هي تغذية المصباح في التركيبية الموصوفة سابقاً بمصدر جهد متناوب (حوالي 50Hz)، مع عدم تدوير اللوح الدوّار و جعل الضوء يردُّ كَلّه على الخلية الشمسية، ثم رصد الإشارة الخارجة من الخلية الشمسية مباشرة باستخدام راسم الاهتزازات المهبطية.

لقد كانت تلك الإشارة مهتزةً بتناوب جيبي أيضاً، الشكل (16.3). لاحظ أن دورها يساوي 10msec، و هو نصف الزمن الدوري للتيار المتناوب المغذّي للمصباح، و هو أمر معقول جداً؛ إذ أن المصباح ينطفئ في كل دور (20msec) مرتين، فيكون الزمن الدوري لإشارة الخلية الشمسية النصف (10msec).

إن ذلك يدلّ على أن الخلية الشمسية تستجيب بسرعة لتغيرات التيار الكهربائي المغذي للمصباح مع الزمن، و أن زمن استجابتها يقلّ عن الزمن الدوري لهذا التيار الكهربائي، و هو 50\1 من الثانية (20msec).



الشكل (16.3): صورة الإشارة الكهربائية بين طرفي الخلية الشمسية

عند إضاءتها بمصباح مغذّي بتيار متناوب

لقد عرفنا من رصد هذه الإشارة أن المصباح المغذّي بتيار متناوب يعطي كذلك ضوءًا متناوبًا؛ أي يسطع و يبهت و ينطفئ، حتى و إن بدا للعين المجردة أنه مشتعلٌ على الدوام؛ ذلك أن زمن استجابة العين البشرية للضوء (يُدعى ثبات الرؤية أو الانطباع الشبكي) في حدود 20\1 من الثانية (50 msec)، فهو أكبر من ضعف الزمن الدوري للتيار المتناوب.

لقد بيّنت لنا هذه النتيجة العملية أنه من غير اللائق استخدام تغذية متناوبة للمصباح، لأن الإضاءة ستكون أيضًا متناوبةً، و بالتالي فإنه لا يمكنها محاكاة ضوء الشمس الطبيعي.

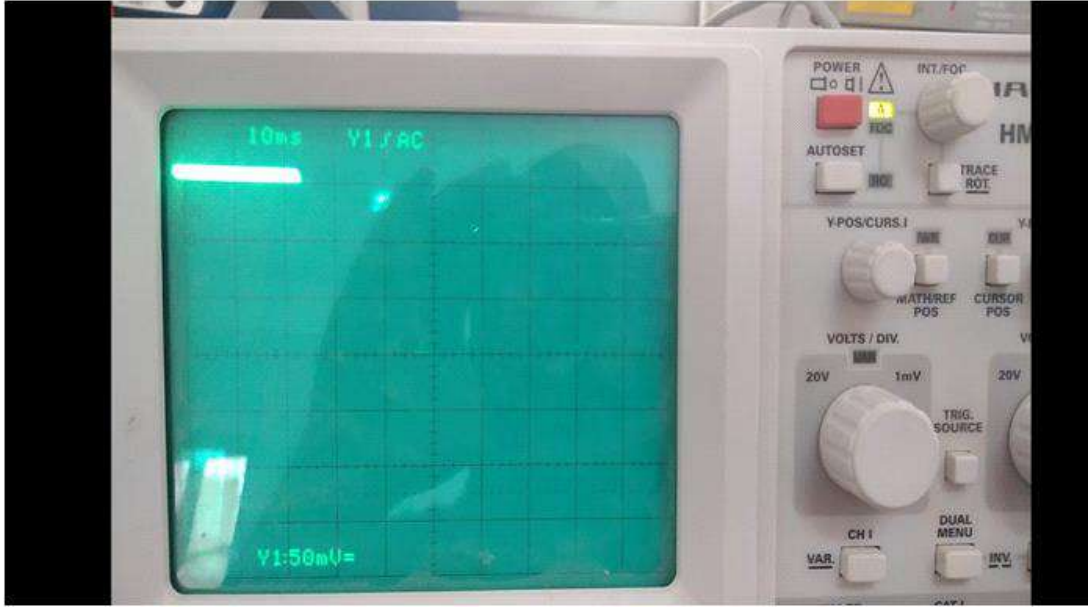
لذلك فإننا سنتخلّى تمامًا عن تغذية المصباح بتيار متناوب، و سنستبدله في كل قياساتنا القادمة بمصدر مستمر، حتى نضمن إضاءةً مستمرةً.

2-3- مصباح مغذّي بمصدر مستمر:

لم يُغيّر في هذه المرحلة سوى مصدر تغذية المصباح، و حيث لا يتوفر لدينا مصدر مستمر بجهد عالٍ فإننا اضطررنا لاستخدام مصباح ثنائي باعث للضوء (LED) تجاري، الشكل (4.3)، يُغذّي بجهد مستمر 12v.

عندما يقع كل ضوء المصباح على الخلية الشمسية فإن الإشارة الكهربائية الصادرة عن الخلية الشمسية تكون

كما بالصورة (17.3).



الشكل (17.3): صورة الإشارة الكهربائية بين طرفي الخلية الشمسية

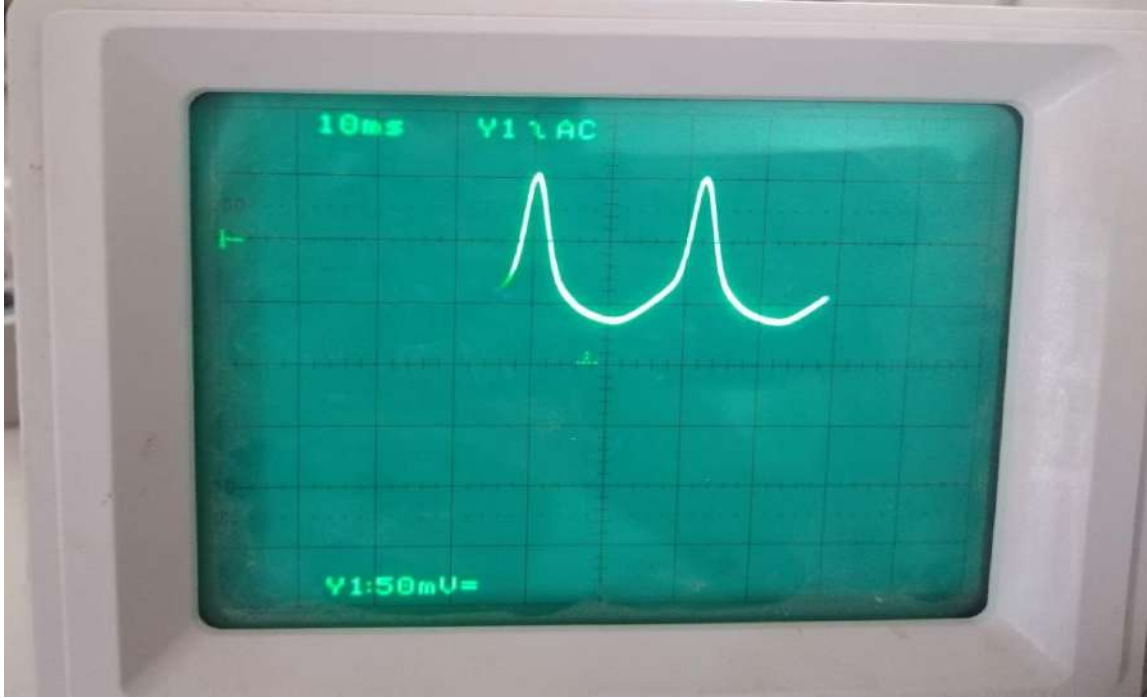
عند إضاءتها بمصباح مغذى بتيار مستمر

من خلال الصورة (17.3) يمكننا استنباط ما يلي:

- الإشارة ثابتة لا تتغير مع الزمن، و هو أمر متوقَّع؛ ذلك أن تغذية المصباح مستمرة، و بالتالي فإن إضاءة الخلية الشمسية مستمرة لا انقطاع فيها.
- القيمة القصوى لجهد إشارة الخروج من الخلية الشمسية هي 150 mV، و هي أقلُّ بكثير من الجهد الذي تُعطيهِ الخلية عندما تتعرض لضوء شديد كضوء الشمس، و لقد جرَّبنا ذلك عند بداية هذا العمل، فتبيَّن لنا أنه في حدود 1.8V، و هو يفوق القيمة المتحصَّل عليها بالإضاءة الاصطناعية بحوالي خمسة عشر مرّة. (15)

3-3- إشارة الخلية الشمسية عند تشغيل اللوح الدوّار:

لا تختلف هذه المرحلة عن سابقتها سوى بتشغيل اللوح الدوّار؛ أي أن الإضاءة الواردة إلى الخلية الشمسية ستكون متقطعة بفاصل زمني هو نصف الزمن الدوري للوح الدوّار. في هذه الحالة كانت الإشارة الكهربائية الصادرة عن الخلية الشمسية كما بالصورة (18.3).



الشكل (18.3): صورة الإشارة الكهربائية بين طرفي الخلية الشمسية عند إضاءتها بضوء مستمر مع تدوير اللوح الدوّار بسرعة زاوية ثابتة

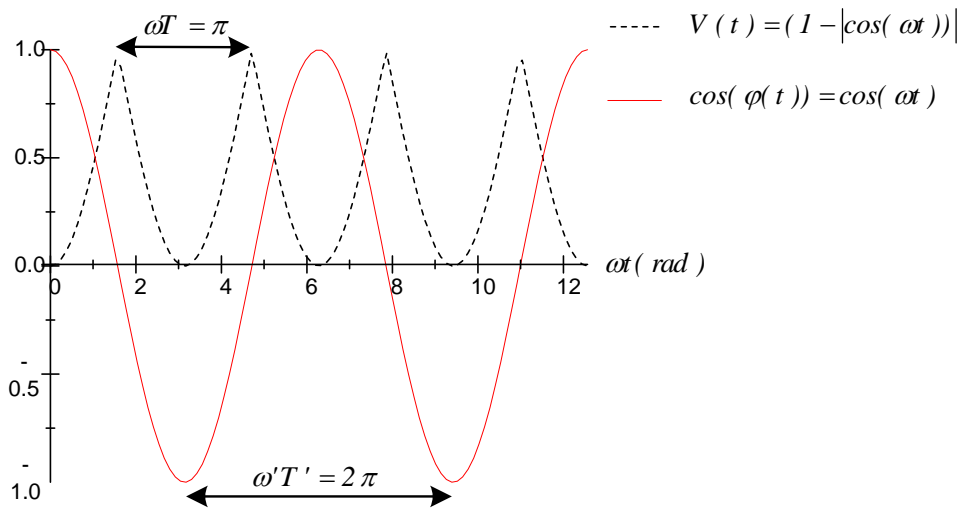
يمكننا بوضوح- أن نستنتج من شكل الإشارة (18.3) أن الزمن الدوري للإشارة الصادرة عن اللوح الشمسي هو 21.1msec (حوالي 20 ملي ثانية)، و هو مقبول جداً؛ فاللوح الدوّار يدور بسرعة أكبر بقليل من 40 دورة في الثانية الواحدة.

يمكننا أيضاً استنباط القيمة القصوى لفرق الكمون بين قطبي الخلية الشمسية، و هو $V_{\max} \cong 150mV$ ، و ذلك اعتباراً من حضيض الإشارة.

لنناقش الآن شكل الإشارة (18.3). و وفقاً للتصور النظري الذي قدّمناه في الفصل الثاني، المعادلة (8.2)، فإن الإشارة هناك تتغير جيّبا مع الزمن، و لكن التيار لا يغير اتجاهه، الشكل (4.2).

إذا قارنا بين الشكل التجريبي، الشكل (18.3)، و النظري، الشكل (4.2)، فإننا سنلاحظ تشابهاً كبيراً بينهما، عدا ما نلاحظه من تقعر الأول نحو الأسفل، و تقعر الثاني نحو الأعلى، و يكفي لإزالة اللبس في ذلك بقلب الأقطاب بين الخلية الشمسية و راسم الاهتزازات.

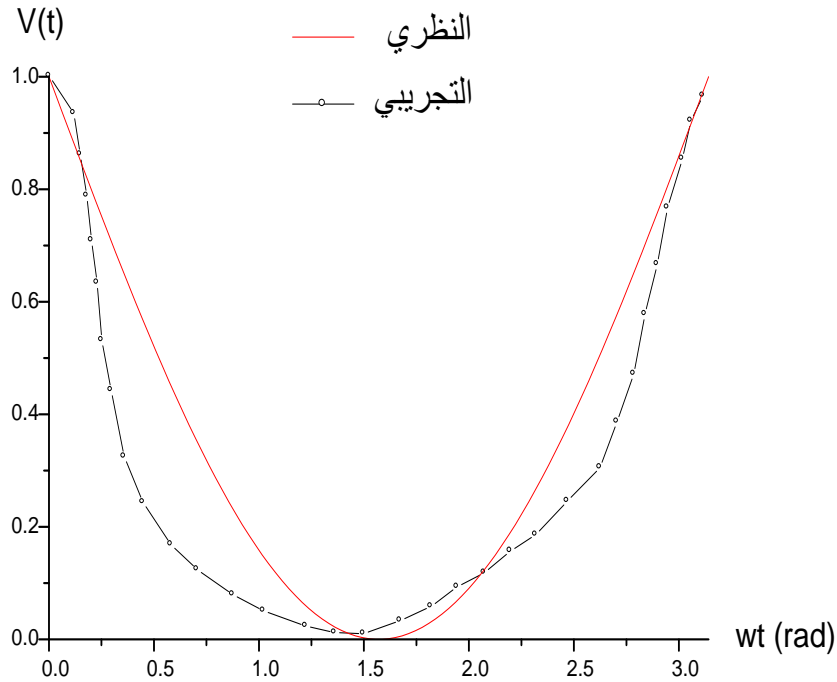
يمكننا أيضاً تبرير الدور الزمني للإشارة الخارجة بنصف دور اللوح الدوّار بالقول: إذا دار اللوح الدوار دورة كاملة فإن إضاءة الخلية الشمسية ستتكرر مرتين، كما يمكن تبريرها بيانياً على النحو الآتي: يدور اللوح الدوّار بسرعة زاوية ω فتعطى زاوية دورانه بـ: $\varphi(t) = \omega t$ ، في حين يكون جهد الإشارة الكهربائية الصادرة عن الخلية الشمسية $V(t) = V_0(1 - |\cos(\omega t)|)$. لو تُراكب بين جيب تمام (cos) الدالة الأولى و الدالة الثانية على سُلّم الزمن فسنرى الشكل (19.3).



الشكل (19.3): مقارنة بين شكلي بياني جيب تمام زاوية اللوح الدوّار و الإشارة الكهربائية للخلية الشمسية

أي أن الزمن الدوري للإشارة الكهربائية نصف الزمن الدوري للحركة الدورية للوح الدوّار، و بالتالي فإن تردد إشارة الخروج هو ضعف تردد دوران اللوح الدوّار.

لنطابق الآن بيانياً بين النموذج الذي اقترحناه نظرياً و الشكل التجريبي لإشارة الخلية الشمسية. لأجل ذلك حوّلنا صورة الإشارة التي في الشكل (18.3) إلى جدول $(t, V(t))$ ، و من ثمّ إلى شكل بياني. الشكل (20.3) يُظهر تراكباً للبيانيين، النظري و التجريبي.



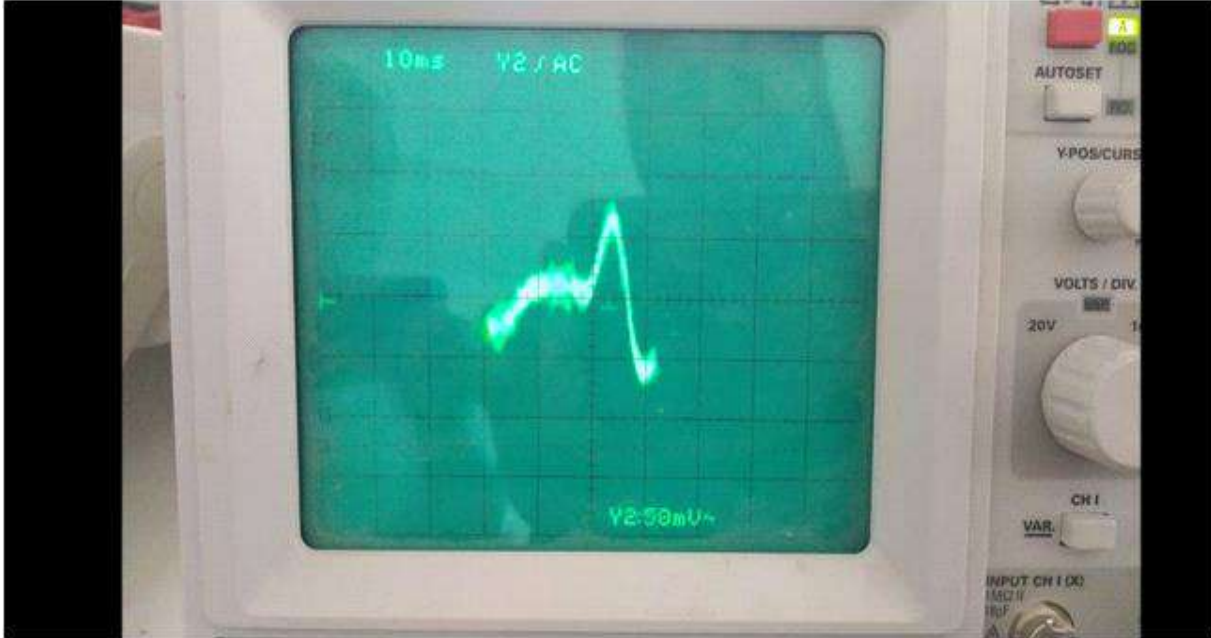
الشكل (20.3): مقارنة بين مقترحنا النظري و الشكل التجريبي للإشارة الكهربائية للخلية الشمسية

في الشكل (20.3) يبدو التشابه بين بياني الإشارتين ظاهرياً، إلا أن هناك اختلافاً جوهرياً، سيكون له دور حاسم فيما بعد. هذا الاختلاف هو معدّل تغير كل منهما مع الزمن.

يمكن تبرير الاختلاف بين البيان النظري المقترح و البيان التجريبي بما يلي: في النموذج النظري اعتُبر الوسط بين المصباح و الخلية الشمسية مظلماً، فلا يصل ضوء المصباح إلى الخلية الشمسية إلا عبر الخطوط المستقيمة المباشرة الواصلة بينهما، و لكن الواقع غير ذلك؛ إذ قد يصل بعض الضوء إلى الخلية عن طريق الانعكاسات المتعددة للضوء على الجدران الداخلية للغرفة المظلمة. زيادةً على ذلك فإن إغلاق هذه الغرفة لم يكن مُحكماً بالقدر الكافي لمنع ورود ضوء آخر من خارجها. كل ذلك يجعل الخلية الشمسية تصدر فرق جهد بين طرفيها، ممّا يجعل الإشارة التجريبية (الحقيقية) منحرفةً بعض الشيء عن الإشارة النظرية المقترحة.

4-3- الإشارة بين الطرفين المشتركين للوشية الأولى و الخلية الشمسية عند تشغيل اللوح الدوار:

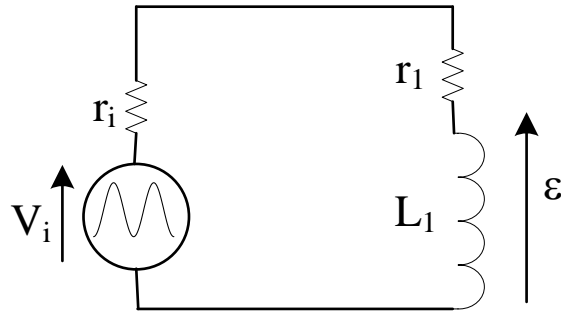
سنوصل الآن طرفي الوشية الأولى بقطبي الخلية الشمسية، و نعزل الوشية الثانية عن الأولى تماما، ثم نشغل المصباح و اللوح الدوار معا. الشكل (21.3) هو صورة لهذه الإشارة.



الشكل (21.3): الإشارة بين الطرفين المشتركين للوشية الأولى و الخلية الشمسية

نلاحظ من خلال الشكل (21.3) أن قيمة الجهد تتأرجح بين $75mV$ و $-60mV$ ؛ أي أن سعة الإشارة ستكون في حدود $67mV$.

لنفسر الآن هذه الإشارة. عندما تُغذّي الإشارة الكهربائية الصادرة عن الخلية الشمسية، الشكل (18.3)، الوشية الأولى فإنه سيسري في هذه الدارة المغلقة (الوشية و الخلية الشمسية) تيار كهربائي متغير مع الزمن. يؤدي هذا التيار إلى ظهور قوة دافعة كهربائية بسبب التحريض الذاتي للوشية. تعمل هذه القوة المتحرضة في الاتجاه المعاكس لاتجاه التيار المحرض، فتكون الدارة في الأخير و كأنها مؤلفة من عناصر موصولة على التسلسل هي: المولد الأول (الخلية الشمسية)، المقاومة الداخلية لها، المقاومة الداخلية للوشية، موصولة على التضاد بمولد ثانٍ (القوة الدافعة المتحرضة)، الشكل (22.3).



الشكل (22.3): مخطط الدارة المولفة من الخلية الشمسية و الوشيعة

لحلّ هذه المسألة ينبغي كتابة المعادلة التفاضلية لهذه الدارة: وفقا لقانون فاراداي فإن القوة الدافعة الكهربائية

المتحرّضة في الوشيعة الأولى هي $\mathcal{E} = -L_1 dI_1 / dt$ ، حيث L_1 معامل الحث الذاتي للوشيعة الأولى و I_1 هو التيار الكهربائي الذي يسري فيها و في الخلية الشمسية كذلك، إذًا:

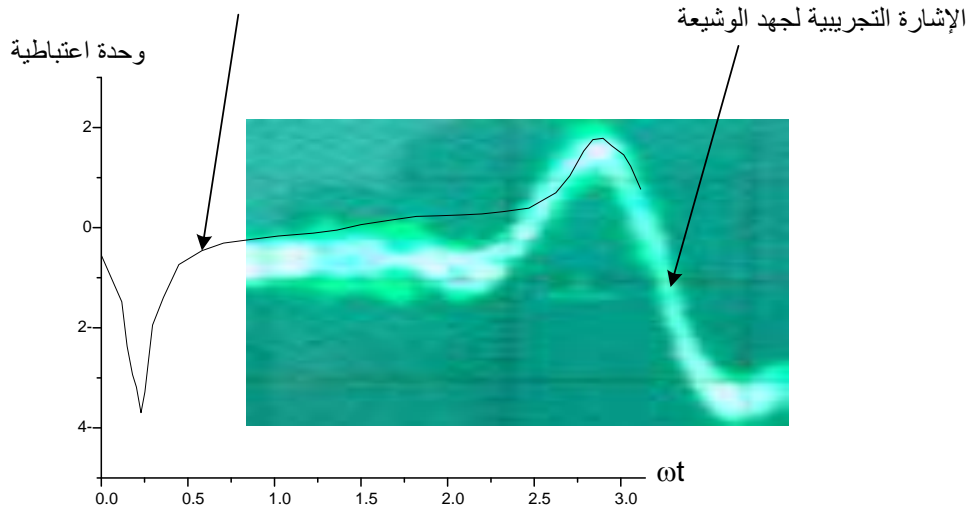
$$L_1 \dot{I}_1 + (r_1 + r_i) I_1 = V_i$$

حيث r_1 و r_i هما المقاومتان الداخليتان للوشيعة و الخلية الشمسية على التوالي.

إن حلّ هذه المعادلة التفاضلية يقتضي معرفة صيغة V_i ، و لكننا لا نملك ذلك، إلا إذا حاكيناها بصيغة مشابهة، أو أن نحل هذه المعادلة عددياً. زيادةً على ذلك فإننا نواجه مشكلة تقنيةً أخرى، هي مشكلة تزامن الإشارات؛ إذ ليس لدينا من التقنيات ما يُمكننا من الرصد المتزامن لأحداث تجربتنا، لذا فسنكتفي هنا بتسجيل بعض الملاحظات التي قد تكون مفيدةً في دراسات قادمة لتحليل هذه التجربة و دراستها.

أول هذه الملاحظات هي التشابه الكبير و الواضح بين الإشارة المسجّلة تجريبياً بين طرفي الوشيعة، الشكل (21.3)، و المشتقة الزمنية للإشارة المسجّلة بين طرفي الخلية الشمسية، الشكل (18.3). توضيح ذلك في الشكل (23.3).

المشتقة الزمنية للإشارة التجريبية الصادرة
عن الخلية الشمسية أثناء تدوير اللوح الدوّار



الشكل (23.3): مقارنة بين الإشارة بين طرفي الوشيعة و المشتقة الزمنية للإشارة
الصادرة عن الخلية الشمسية

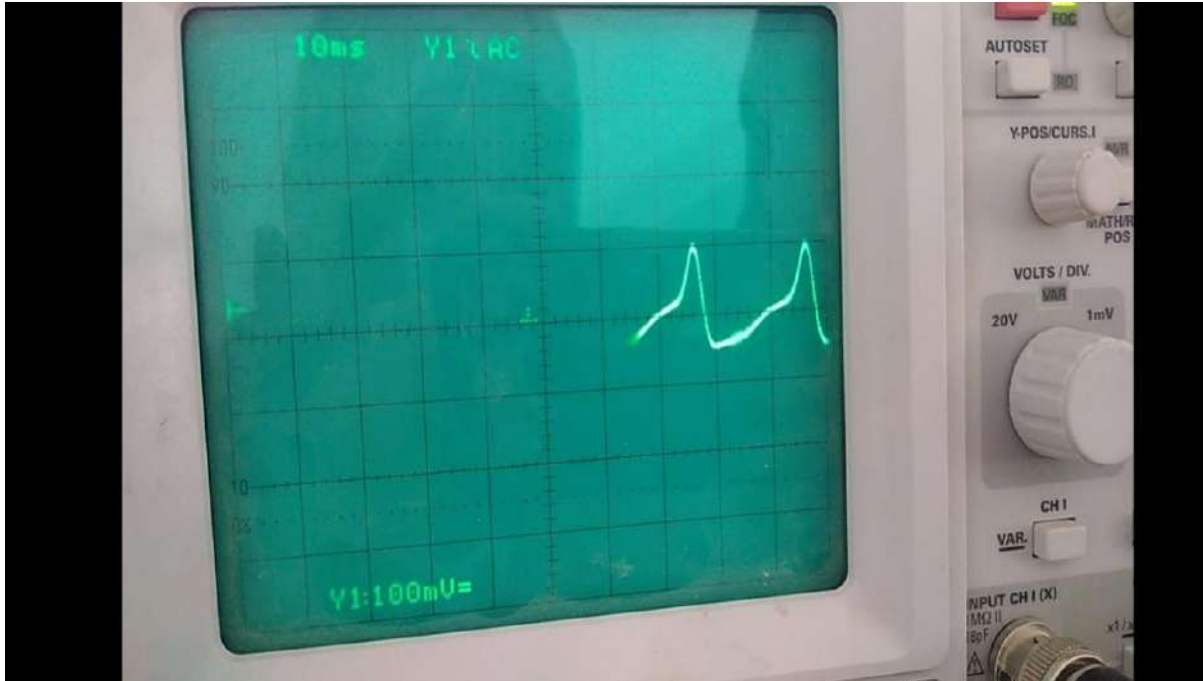
واضح جدا من خلال الشكل (23.3) أن تشابها كبيرا قد حصل بين الإشارة المسجلة بين طرفي الوشيعة و المشتقة الزمنية لتلك التي رُصدت بين طرفي الخلية الشمسية قبل توصيل الوشيعة بين طرفيها، و حتى الانزياح الزمني الملاحظ ما هو إلا بسبب اللاتزامن؛ إذ لم نتمكن تقنيا من التحكم في التسجيل المتزامن للأحداث في هذه المرحلة.

بالنظر إلى الإشارتين (18.3) و (21.3) فإنه يمكننا القول أن الإشارة المتحرّضة (بسبب التحريض الذاتي للوشيعة) قد طغى على الإشارة المحرّضة (إشارة الخلية الشمسية قبل توصيل الوشيعة)، فظهرت لنا في المحصلة إشارة مشابهة للمشتقة الزمنية لإشارة الخلية الشمسية.

لا يمكننا في هذه المرحلة تفسير ذلك بدقّة، و لكننا نقول: تساهم في ذلك أسباب عديدة، نذكر منها: المقاومات الداخلية للخلية و الوشيعة و الأسلاك و كذا لراسم الاهتزازات، زيادةً إلى ذلك قد تكون لهذه العناصر مجتمعةً ممانعات كهربائية تُعقد الإشارة المحصلة، فنتطلبُ أجهزةً أدقّ للقياس.

3-5- الإشارة بين طرفي الوشيعية الثانوية:

سنجعل الآن النواة الحديدية للمحول تعبر الوشيعية الأولى و الوشيعية الثانية في الوقت نفسه؛ أي سيكون تأثير متبادل بين الوشيعتين، ثم لنوصل بين قطبي الخلية الشمسية و الوشيعية الأولى، و لنشغل المصباح و اللوح الدوار معا. بتسجيل الإشارة بين طرفي الوشيعية الثانية سنرى الشكل (24.3).



الشكل (24.3): الإشارة بين طرفي الوشيعية الثانية

من خلال الشكل (24.3) يمكننا القول أن إشارة الخروج بين طرفي الوشيعية الثانية تتأرجح على مجال مقداره حوالي $150mV$ ؛ أي أن سعة هذه الإشارة في حدود $75mV$.

لنقارن الآن بين إشارتي الدخول و الخروج؛ إذ يسمح راسم الاهتزازات الذي بين أيدينا برصد إشارتين في آن واحد. الشكل (25.3) يُظهر ذلك.



الشكل (25.3): الإشارتان المتزامنتان بين طرفي كل وشيعة

من خلال الشكل (25.3) يمكننا القول أن إشارة الخروج بين طرفي الوشيعة الثانية تتأرجح على مجال مقداره حوالي $170mV$ ؛ أي أن سعة هذه الإشارة في حدود $85mV$ ، في حين تتأرجح إشارة الدخول على مجال مقداره حوالي $26mV$ ؛ أي أن سعة الدخول في حدود $13mV$.

لاحظ أيضاً أن إشارة الدخول قد تأثرت بفعل التأثير المتبادل بينها وبين الوشيعة الثانية؛ إذ نُقصت قيمة الإشارة من $67mV$ إلى حدود $13mV$ ، مع بقاء شكل الإشارة كما هو تقريباً.

من جهة أخرى فإن أهم شيء يمكن ملاحظته أن هاتين الإشارتين لهما الشكل نفسه تماماً، زيادةً على ذلك فإنهما متزامنتان؛ فحيثما بلغت إشارة الدخول ذروتها بلغت كذلك إشارة الخروج ذروتها، كما أنهما تنعدمان معاً، و تبلغان الحضيض معاً.

زيادة على ذلك فإن هناك تكبيراً واضحاً لإشارة الدخول؛ إذ تبلغ نسبة التكبير $85/13 \cong 6.5$ ، وهي في الحقيقة بعيدة عن نسبة التحويل المألوفة في محولات الجهد المتناوب المثالية، والتي تساوي النسبة بين عددي لفات الوشيعتين، وهي في حالتنا هذه $N_2/N_1 = 3600/300 = 12$. قد يكون ذلك بسبب شكل الإشارة المنحرف عن

الشكل الجببي، كما أن ضياعات الخطوط المغناطيسية خارج النواة الحديدية، و كذا الضياعات الطاقوية بفعل جول الحراري في كل مكونات المنظومة ساهمت بشكل فعّال في ذلك.

الأهم من كل ذلك هو الحصول على إشارة تشبه كثيرا الشكل الجببي، و هو ما كنّا نصبو إليه في بداية هذا المشروع.

نعتقد أن بحثاً أدقّ باستخدام تركيبات متقنة و أجهزة قياس دقيقة كفيلاً بالحصول على إشارة جببية، و ذلك بالتحكم في مميزات الأجزاء المؤثرة في العملية كئِها: المصدر الضوئي، الخلية الشمسية، الغرفة المظلمة، اللوح الدوّار، أسلاك التوصيل، الوشيعية الأولى، الوشيعية الثانية، النواة الحديدية، مقاومة الحمل الخارجي، راسم الاهتزازات المهبطي.

و مع ذلك فإنه يمكن استخدام إشارة الخروج التي حصلنا عليها في العديد من الاستخدامات التي لا تتطلب إشارة جببية صافية، بل يكفي فيها تردد الإشارة.

بالعودة إلى التحليل النظري الذي أجريناه للظاهرة في الفصل الثاني من هذه المذكرة فإنه يمكننا القول أنه لا مجال للمقارنة بين النتائج النظرية و النتائج التجريبية، و السبب في ذلك هو شكل الإشارة الواردة من الخلية الشمسية عند تشغيل اللوح الدوّار، ففي حين اعتبرناه نظريا يتغير جببياً مع الزمن، فإنه في حقيقة الأمر و الواقع مختلف تماماً، فالتغير الجببي يُعطي شكلاً جببياً؛ أي أن الإشارة تشبه مشتقتها، في حين تختلف مشتقة الإشارة التجريبية عن مشتقتها الزمنية اختلافاً تاماً.

الخلاصة

الخلاصة

في هذه المذكرة واعتمادا على مبادئ الكهرومغناطيسية اقترحنا نموذج تركيبية تمكنا من دراسة تحويل إشارة كهربائية ناجمة عن إضاءة متقطعة لخلية شمسية باستخدام محول حث كهرومغناطيسي، و استنباط الإشارات النظرية اعتمادا على قوانين الشبكات الكهربائية، و من ثم أنجزنا هذه التركيبية و أجرينا التجارب اللازمة و رصدنا الإشارات تجريبيا.

في الفصل الأول تناولنا عموميات عن المحولات الكهربائية و تطبيقاتها عموما، و تطرقنا إلى أنواعها من محولات جهد حثية أو محولات إشارة، و ذكر مبادئ عملها و تطبيقاتها ومميزاتها و مساوئها.

في الفصل الثاني أجرينا دراسة نظرية شاملة لمختلف أجزاء التركيبية انطلاقا من دراسة مقدار الإضاءة الواردة إلى الخلية الشمسية وتحديد عبارة مناسبة لها، ثم دراسة التركيبية دراسةً مجردةً مستنديين على قوانين الشبكات الكهربائية، و من ثم استغلالها في دراسة التركيبية مجتمعةً، ثم الوصول عبارتي الجهد و التيار للدخول و الخروج.

خصّصنا الفصل الثالث للجانب التجريبي، حيث جسّدنا النموذج العملي للتركيبية المقترحة، و من ثمّ إجراء التجارب و رصد الإشارات الكهربائية المختلفة. لقد سجّلتْ أولاً الإشارة بين طرفي الخلية الشمسية، و التي بدتْ ظاهرياً تشبه الإشارة المقترحة نظريا، إلا أنها اختلفت عنها اختلافا جوهريا، ممّا أثر على شكل الإشارة بين طرفي الوشيعية الأولى و كذا الثانوية؛ إذ بدتْ هاتان الإشارتان متشابهتين فيما بينهما و مختلفتين عن الإشارتين النظريتين. لقد برّرنا هذا الاختلاف بعدة حجج علمية و تقنية، كالضياعات المختلفة (المغناطيسية و الحرارية)، و كذا عدم دقة التركيبية التي اتخذناها للتحكم في شدة الإضاءة الواردة إلى الخلية الشمسية.

إن دراستنا التجريبية هذه مكّنتنا من تحويل إشارة مستمرة ناجمة عن خلية شمسية إلى إشارة شبه جيبيية، يمكن تطبيقها في مجالات لا تتطلب إشارة جيبيية خالصةً.

رغم ذلك فإننا نعتقد أنه يمكن تحسين هذه الإشارة بتوفير تقنيات و أجهزة أدق، و في ظروف تجريبية أفضل، لذا فإن هذه الدراسة مفتوحة الأفق لدراسات قادمة.

قائمة المراجع

المراجع

❖ العربية

- [1] محمود الجيلاني، المرجع في محولات القوى الكهربائية، جامعة القاهرة
- [2] البرنامج الإنمائي للأمم المتحدة (UNDP) ، تعزيز القدرة على الصمود في الريف اليمني (ERRY)، دليل المتدرب على تركيب وتشغيل وصيانة منظومات الطاقة الشمسية . http://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=126412
- [3] المؤسسة العامة للتعليم التقني و التدريب المهني، الإدارة العامة لتصميم و تطوير المناهج ، " آلات التيار المستمر و المحولات " المملكة العربية السعودية 2004 . <https://books-library.online/free-11178481-download>
- [4] المؤسسة العامة للتعليم التقني و التدريب المهني، الإدارة العامة لتصميم و تطوير المناهج، " دوائر كهربائية 2 " المملكة العربية السعودية 1429 هـ 2018 م . <https://www.alfreed-ph.com/2018/10/Electrical-circuits-2>
- [5] بن الشيخ حاج مبروك و بن الشيخ عادل / تصميم عملي لنموذج محول كهربائي سعوي و دراسة مميزاتة التحويلية (الجهد و الطاقة) باستخدام قوانين الشبكات و النظرية الكهرومغناطيسية /مذكرة ماستر أكاديمي /جامعة ورقلة 2019
- [6] أحمد الحديدي ، الموسوعة الكهربائية المبسطة ، جامعة الزرقاء الأردن 2009.
- [7] المؤسسة العامة للتعليم التقني و التدريب المهني، الإدارة العامة لتصميم و تطوير المناهج، "إلكترونيات القوى" المملكة العربية السعودية 2004 . <https://books-library.online/free-2957489-download>

- [8] Cloude Chevassu, Electronique de puissance (principes), Ecole Polytechnique Universitaire de Lille, France, ENSM, 5 Décembre 2013.
- [9] youssouf lamine, conception d'un système de diagnostic des défauts d'un covetisseur AC-DC alimentant un MCC, mémoire master, Université de Mohamed Boudiaf M'sila, 2016.
- [10] Otay Nabiha, Cours délectronique de puissance, Université de Biskra, (<http://elearning.univ-biskra.dz/moodle/mod/resource/view.php?id=19801>)
- [11] Hidri Imad, support de cours délectronique de puissance les convertisseurs DC-DC et DC-AC, nstitut supérieur des études technologiques de Nabeul, Tunisie, (<http://www.isetn.rnu.tn/archives/fr/images/documents/cours/Electronique%20de%20Opuissance%20L2%20S2.pdf>)
- [12] Bendaba Yesma, polycopie de travaux pratiques, électronique de puissance avec powersim, Université d'Oran, 2016 (<http://dspace.univ-usto.dz/bitstream/123456789/291/1/Bendaha-TP-HA.pdf>)
- [13] Dr. Chams-Eddine FERAGA, travaux pratique d'électronique de puissance, U. 8 Mai 1945 Guelma, 2014.
- [14] Moussouni Nasser Eddine et Ouadfel Sofiane, Etude et réalisation dun onduleur de tension monophasé, mémoire master, Université Abderrahmane MIRA, BEJAIA, 2017
- [15] Kandaswamy K V and S.Padma. "Power Electronics". Sri Krishna Publication. Project: Hybrid energy, Renewable energy. August 2016.

[16] Assia Zerdoudi et Rachid Chenni, Etude de l'influence des différents paramètres sur un module photovoltaïque, Sciences & Technologie A N°41, Juin 2015, 19-24

ملخص

في هذا العمل أنجزت تركيبية مكونة من غرفة مظلمة بداخلها قرص دوّار يقع بين مصباح كهربائي و خلية شمسية، متّصلة بمحول حثّ كهرومغناطيسي. دُرست هذه التركيبية نظريا اعتمادًا على مبادئ الكهرومغناطيسية و قوانين الشبكات الكهربائية، ثمّ جُسدت عمليا. أُجريت عليها عدة تجارب لرصد الإشارات الكهربائية الداخلة و الخارجة عند شروط مختلفة. قورنت النتائج النظرية بالتجريبية. لقد بدا الاختلاف واضحا بين النظرية و التجربة. فُسّر هذا الاختلاف بحجج تقنية و أخرى علمية.

الكلمات المفتاحية: خلية شمسية، محول حث كهرومغناطيسي، إشارات كهربائية، قوانين الشبكات الكهربائية

Abstract

In this work, a combination of a light source and a dark room with a rotating disk in front of a solar cell connected to an electromagnetic induction transformer has been carried out. On based of electromagnetic bases and electrical networks laws, this combination has been theoretically studied, then it has been realised. Some experiments have been carried out to observe the in and out electrical signals at different conditions. The experimental results have been compared with theoretical ones. The difference was clear, and it has been interpreted.

Keywords: solar cell, induction electromagnetic transformer, electrical signals, electrical networks laws

Résumé

Dans ce travail, une combinaison d'une source lumineuse et d'une chambre noire avec un disque rotatif devant une cellule solaire connectée à un transformateur à induction électromagnétique a été réalisée. Sur la base des bases électromagnétiques et des lois des réseaux électriques, cette combinaison a été théoriquement étudiée, puis réalisée. Certaines expériences ont été menées pour observer les signaux électriques d'entrée et de sortie dans des conditions différentes. Les résultats expérimentaux ont été comparés aux résultats théoriques. La différence était claire et elle a été interprétée.

Mots clés: cellule solaire, transformateur électromagnétique à induction, signaux électriques, lois des réseaux électriques