

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Electrique  
Filière : Electrotechnique  
Option : Commande Electrique

Réf : .....

**Mémoire de Fin d'Etudes**  
**En vue de l'obtention du diplôme:**  
**MASTER**

**Thème**

**Présenté par :**

**Soutenu le : 2 juin 2013**

**Devant le Jury composé de :**

**Année universitaire : 2012-2013**

# الفهرس

المقدمة

3	الفصل الأول
4	1- خلايا الوقود
4	1-1 تعريف خلية الوقود
4	2-1 مبدأ عمل الخلية الوقودية
5	3-1 الوقود المستخدم لخلية الوقود
6	4-1 مقارنة خلية الوقود والمصادر التقليدية للطاقة
6	5-1 تطبيقات استخدام خلية الوقود
7	1-5-1 التطبيقات الثابتة
7	2-5-1 الاتصالات
8	3-5-1 في مجال المواصلات
9	4-5-1 وحدات الكهرباء المساعدة
9	5-5-1 التجهيزات المحمولة
10	6-5-1 التجهيزات الصغيرة
11	7-5-1 في مجال التوربينات الغازية

12	الفصل الثاني
13	2. المنحنيات المميزة لخلايا الوقود
13	1-2 الاعتبارات الأساسية لرسم منحنيات خلايا الوقود
15	2-2 التمثيل الرياضي لمعادلة منحنى خلية الوقود
16	3-2 تمثيل الدارة المكافئة لخلية الوقود
17	4-2 التمثيل العملي لخلايا الوقود
18	5-2 نموذج الخلية الوقودية
19	6-2 عمل محاكاة للخلية الوقودية باستخدام برنامج (MATLAB Simulation)

22	الفصل الثالث
23	3. المطبرات (DC Chopper)
23	1-3 مبدأ عمل المطبرات
26	2-3 الطبرات الرافعة للجهد (Step-Up Chopper)
27	3-3 عمل محاكاة للمطبر الرافع للجهد باستخدام برنامج (MATLAB Simulation)

30 الفصل الرابع

31 4. المموج (Inverter)

31 1-4 مبدأ عمل المموج

33 2-4 اقسام المموج

33 1-2-4 مموج جسر احادي الطور

34 2-2-4 مموج جسر ثلاثي الطور

36 3-4 عمل برنامج للمموج باستخدام برنامج

(MATLAB Simulation)

39 الفصل الخامس

40 5. ربط الخلية الوقودية بمقلب الالكتروني

41 1-5 مراحل عملية الربط

41 1-1-5 ربط المموج بمطبر رافع للجهد

46 2-1-5 ربط الخلية الوقودية بالمقلب الالكتروني

50 2-5 الخلاصة

51 الملحق (A)

52 الملحق (B)

54 الخاتمة

55 المراجع

# المقدمة

تم اختراع تقنية خلايا الوقود في إنجلترا في منتصف القرن التاسع عشر الميلادي على يد السيد وليام روبرت جروف William grove. منذ أكثر من 160 عاما حيث لم يكن يعلم أن اختراعه الذي وضعه في العام 1839م سيحل مشكلة تواجه العالم في القرن الواحد والعشرين لاكتشافه خلايا الوقود التي يمكن عن طريقها الحصول على الكهرباء من الهيدروجين أو الكحول دون أي عملية احتراق، وبذلك يكون قد حل المعادلة الصعبة، وهي الحصول على طاقة نظيفة من غير أن نلوث البيئة وبأقل الأسعار. ولكن من المعروف عن الخلية الوقودية انها مصدر طاقة غير خطي ومن هنا جاءت ضرورة وضع مقابلات الكترونية استطاعية بين الخلية والحمولة من اجل الملائمة بينهما لتلبية متطلبات الحمولة بالنهاية.

وفي الحقيقية هناك اكثر من تشكيلة ممكن ان تستخدم من اجل الحصول على هذه الملائمة . وبما ان مخرج الخلية الوقودية منخفض وجهد الشبكة مرتفع نسبيا وجب وضع طابق رافع بين الخلية والحمولة ويمكن ان يكون هذا الطابق مقلب DC – DC (مطبر) او مقلب AC – AC (محول) .

في دراستنا هذه سنقوم باختيار تشكيلة مكونة من خلية وقودية , مطبر رافع , موج احادي الطور PWM , ومرشح LC . للحصول بالنهاية على جهد مستقر يمكن ان يلبي متطلبات الحمولة .

وسنتناول هذا البحث من خلال اربع فصول وهي:

## • الفصل الاول:

سنقوم في هذا الفصل باجراء دراسة بيوجرافية عن الخلية الوقودية تشمل تعريف الخلية الوقودية ومبدأ عملها والوقود المستخدم لخلية الوقود , ونقوم باجراء مقارنة بينها وبين المصادر التقليدية للطاقة ومن ثم سنتعرف على التطبيقات العملية لخلايا الوقود.

## • الفصل الثاني:

في هذا الفصل سنقوم بالتعرف على المنحنيات المميزة لخلية الوقود وسنتعرف ايضا على نموذج الخلية الوقودية , وسنقوم ايضا بعمل محاكاة عن طريق برنامج (MATLAB Simulation) لخلية وقودية ونناقش النتائج المتحصل عليها.

### • الفصل الثالث:

سننظر في هذا الفصل الى المقلب الالكتروني المطبر (DC Chopper) حيث سنقوم بمعرفة مبدأ عمله وكيفية التحكم به , وسنتعرف ايضا الى نوع من انواعه وهو المطبر الرافع للجهد الذي سنقوم باستخدامه في عملية الربط, وسنجري ايضا في هذا الفصل عملية محاكاة لمطبر رافع للجهد باستخدام برنامج (MATLAB Simulation) نلاحظ من خلالها كيفية عمل هذا المقلب .

### • الفصل الرابع:

سنقوم في هذا الفصل بالتعرف على المقلب الثاني المستخدم في عملية الربط وهو المموج (Inverter) , حيث سنقوم في هذا الفصل بالتعرف على مبدأ عمله واقسامه وسنجري ايضا عملية محاكاة له باستخدام برنامج (MATLAB Simulation) نقوم من خلالها برؤية طريقة عمل هذا النوع من المقلبات وتأثيره على الجهد.

### • الفصل الخامس:

في هذا الفصل سنقوم بعملية ربط الخلية الوقودية بالمقلبات الالكترونية حيث سنقوم بهذه العملية على مرحلتين حيث سنقوم في كل مرحلة باجراء محاكاة عن طريق برنامج (MATLAB Simulation) يمكننا من رؤية ومناقشة نتائج كلا المرحلتين.

الأول الفصل

## 1- خلايا الوقود

### 1-1 تعريف خلية الوقود:

خلية الوقود هي عبارة عن عنصر يحول الطاقة الكيميائية في الوقود (سواء كان هيدروجين , غاز طبيعي, ميثانول, غازولين ...) وفي المؤكسد (هواء , اكسجين ) الى طاقة كهربائية. من حيث المبدأ تعمل خلية الوقود كالمدرخة Battery ،

لكن على عكس المدرخة خلية الوقود لا تفرغ ولا تحتاج شحن، وتولد طاقة كهربائية وحرارية طالما هي مغذاة بالوقود والمادة المؤكسدة.

كلا خلايا الوقود والمدرخات هي عناصر كهروكيميائية، وكلاهما يحتويان على مسرى (قطب) موجب ومسرى سالب ومادة موصلة متأينة (مشردة conducting-ion) تدعى الوسيط. تصنف خلايا الوقود حسب الوسيط الذي تحتويه غالباً. حيث تولد العناصر الكهروكيميائية فيها الكهرباء بدون احتراق الوقود أو المؤكسد كما يحدث بالطرق التقليدية لتوليد الكهرباء.

بنية خلية الوقود عادة مكونة من قطب وقود (مسرى موجب) وقطب التأكسد (مسرى سالب) مفصولين بغشاء تبادل بروتوني. يمر الأكسجين على احد الأقطاب ويمر الهيدروجين على المسرى الآخر مولدين كهرباء وماء وحرارة. تدمج خلايا الوقود بين جزيئات الوقود والمؤكسد بدون حرق أو توليد تلوث كما في نظم التوليد غير الكفوءة والملوثة التي تستخدم تقنية الحرق التقليدي. (1)

### 1-2 مبدأ عمل الخلية الوقودية:

تولّد خلايا الوقود الكهرباء عن طريق تفاعل كهروكيميائي بسيط بين مؤكسد (الأكسجين من الهواء مثلاً) و وقود ( الهيدروجين) يتفاعلان ليكونا الماء في خلية الوقود المثالية. لتوليد الكهرباء يمر الأكسجين دائماً على القطب السالب لخلية الوقود، ويمر الهيدروجين على القطب الموجب. نواتج التفاعل الثانوية هي الماء والحرارة. خلية الوقود لا تحتوي على اجزاء متحركة مما يجعلها مصدر هادئ وموثوق للطاقة.

الوسيط الذي يفصل بين القطب الموجب والقطب السالب هو مادة ناقلة للأيونات. عند القطب الموجب يتم فصل الهيدروجين عن الكتروليتات حيث تعبر أيونات الهيدروجين (البروتونات) من خلال الوسيط, أما الالكتروليتات فتسري عبر دائرة كهربائية خارجية مستمر يمكن أن يغذي أجهزة كهربائية. في القطب السالب تندمج أيونات الهيدروجين مع الأكسجين وأيضاً يعاد اندماجها مع الالكتروليتات لتكون الماء. التفاعلات الجارية موضحة بالمعادلات الكيميائية التالية.

التفاعلات عند المسرى الموجب :Reaction Anode  $2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$

التفاعلات عند المسرى السالب :Reaction Cathode  $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

التفاعل الكلي :Reaction Cell Overall  $2H_2 \rightarrow O_2 + 2H_2O$

خلايا الوقود الفردية يمكن ان تجمع لتكون مكدس "stack". عدد خلايا الوقود في هذا المكدس هو الذي يحدد التوتر الناتج, ومساحة كل خلية هي التي تحدد التيار الكلي الناتج. جداء التيار بالتوتر الناتج يعطي كمية الطاقة الكهربائية المولدة حسب العلاقة (1).

$$\text{Power} = \text{Voltage} \times \text{Current}$$

### 3-1 الوقود المستخدم لخلية الوقود:

الهيدروجين هو الوقود المستخدم حالياً في خلايا الوقود. بعض الغازات مثل النيتروجين من الهواء له تأثير طفيف على أداء خلية الوقود. الغازات الأخرى مثل أول أكسيد الكربون CO والميثان CH<sub>4</sub> لها تأثير مختلف على خلايا الوقود حسب نوع الخلية. مثلاً أول أكسيد الكربون CO يعتبر ضار وملوث لخلايا الوقود ذات درجة الحرارة المنخفضة نسبياً مثل خلية الوقود ذات غشاء التبادل البروتوني Cell the Proton Exchange Membrane Fuel (PEMFC) من جهة أخرى أول أكسيد الكربون يمكن أن يستخدم كوقود مباشر لخلايا الوقود ذات درجة الحرارة العالية مثل خلية الوقود ذات الوسيط الصلب Fuel Oxide Solid the (SOFC) Cell

كل خلية وقود بوسيطها الخاص ومحفزها تستقبل غازات معينة لتكون كوقود لها أو ملوثات تؤثر سلباً على أداء الخلية. لذا نظام تغذية الغاز لا بد أن يكون مناسب وخاص لنوع خلية الوقود. (1)

## 4-1 مقارنة خلايا الوقود و المصادر التقليدية للطاقة :

في الطرق التقليدية لتوليد الكهرباء يتم حرق الوقود والهواء ليولدا غازات ذات درجة حرارة عالية ،ففي حال محطة طاقة تستخدم الفحم كوقود ،الحرارة المحتواة في غاز الاحتراق تنقل لمائع (ماء) ذو ضغط عالي ليقوم بغليه. في حال كانت المحطة تستخدم غازولين أو وديزل أو عنفة غازية فالغاز الساخن نفسه يكون ذو ضغط عالي. البخار المضغوط أو الغاز الساخن يدخل في آلة ميكانيكية مثلاً عنفة (turbine) وتدير بذلك مولد كهربائي.

في خلية الوقود تحدث نفس التفاعلات الكيميائية الأساسية لكنها تولد الكهرباء مباشر كعنصر كهروكيميائي وبالتالي لا تدخل مرحلة وجود غاز بدرجة حرارة عالية كما هو الحال في الحرق الطبيعي، هذا التحويل المباشر للطاقة الكيميائية الى طاقة كهربائية أكثر كفاءة ولا يسبب تلوث ملحوظ مقارنة مع طرق التوليد التي تعتمد على الحرق التقليدية.

## 5-1 تطبيقات استخدام خلايا الوقود:

استخدمت خلايا الوقود بداية في التطبيقات الفضائية ثم بدأت تتطور وتنتشر أكثر في الاوساط العسكرية ،حيث تم الاعتماد على خلايا الوقود كمصدر احتياطي بسبب وثوقيتها العالية .حالياً تسوق جميع شركات السيارات منتجاتها الجديدة الهجينة التي تستخدم خلايا وقود بالإضافة الى استخدام خلايا الوقود الذي بدأ ينتشر في الحافلات والقطارات والطائرات والدراجات الصغيرة.

انتشرت خلايا الوقود أيضاً في التطبيقات الصغيرة كالهواتف الخلية cellular phones والحوااسب النقالة computers laptop وغيرها. ويتم دراسة امكانية استخدام خلايا الوقود لتغذية المستشفيات والبنوك وأجهزة الصراف الآلي.(1)

## 1-5-1 التطبيقات الثابتة:



لقد تم تركيب نظام خلايا وقود حول العالم, في المستشفيات والفنادق والمكاتب والمدارس, بالإضافة الى استخدام خلايا الوقود كمحطات كهربائية موصولة مع شبكة الكهرباء العامة لتأمين دعم للشبكة أو محطات كهربائية مستقلة في المناطق التي يصعب ربطها مع الشبكة. تعمل أنظمة خلايا الوقود بكفاءة و بدون ضجيج, وبدون تلويث الهواء pollution air. ويمكننا عند استخدام خلايا الوقود في نظام توليد مشترك الاستفادة من الطاقة الحرارية الناتجة .

## 2-5-1 الاتصالات Telecommunications:



مع زيادة استخدام الحواسيب والانترنت وشبكات الاتصالات ظهرت الحاجة لمصدر أكثر وثوقية كمصدر تغذية وقد أثبتت خلايا الوقود أن وثوقيتها عالية . يمكن الاستعاضة عن المدخرات بخلايا وقود لتزويد استطاعة تصل إلى 5kW فهي صامتة وصديقة للبيئة ويمكن تصميمها لتكون

متينة أي تتحمل الظروف الجوية المحيطة. فهي تستخدم حالياً كمصدر طاقة رئيسي او كمصدر دعم في أبراج الاتصالات towers cell ونقاط التحويل nodes switch telecom.

### 3-5-1 في مجال المواصلات :Transportation

#### السيارات :

جميع مصانع السيارات اليوم تعمل على تطوير مركبات جديدة تعمل بشكل هجين غالباً حيث يتم تغذيتها من خلايا الوقود مع وقود تقليدي ،بالإضافة إلى ان بعضها قد طرح في الأسواق التجارية حالياً سيارات تغذى كلياً من خلايا الوقود. لابد من التنويه أن جنرال موتورز (motors General) وتويوتا (Toyota) وديملر كريسلر (Daimler-Chrysler)) والتي تشكل حوالي 40% من مجموع الاستثمارات في مجال السيارات في العالم تقوم بدعم أبحاث تطوير خلايا الوقود (cell fuel) حتى تكون الإختيار الصديق للبيئة بدلاً من محركات الإحتراق الداخلي، وقد دعمت الشركات الثلاث هذه الأبحاث بحوالي بليون دولار.

ومن نتائج البحث أن طرحت شركة (دايملر) سيارات من فئة A-class المزودة بخلايا الوقود، وكذلك قدمت شركة تويوتا سيارتين صغيرتين تعملان أيضاً بخلايا الوقود بالإضافة إلى إنتاج شركة سيمنز (siemens) لناقلة صغيرة (Truck) تستخدم التكنولوجيا نفسها هذا الذي شجع شركة فولكس فاجن (VW) لدعم الأبحاث في مجال خلايا الوقود أيضاً. وتتوقع شركة تويوتا أن تكون سيارة خلايا الوقود بالأسواق بشكل تجاري خلال الفترة القادمة وذلك نتيجة التكاليف المرتفعة والحاجة إلى تطوير تقنية الخلايا.

#### الحافلات :

تم خلال الفترة الماضية استخدام أكثر من 50 حافلة تعمل على خلايا الوقود في أوروبا وأمريكا الشمالية والجنوبية وشرق آسيا وأستراليا. فالكفاءة العالية لخلايا الوقود بالإضافة الى الملوثات المنخفضة جداً لأن الهيدوجين ينتج من مصادر متجددة قد حسن من نوعيه الهواء كثيراً خاصة في المناطق التي تعتبر من أكثر المناطق تلوثاً بالعالم مثل الصين.

## الدراجات:

بالرغم من حجمها الصغير العديد من الدراجات تعتبر ملوثاً للهواء, فغازات العادم لها ملوثة جداً اذا ما قورنت بحجمها الصغير. فهي تنتج أول أكسيد الكربون **monoxide carbon** وهيدروكربون **hydrocarbons** بكميات مشابهة لما تنتجه شاحنة ديزل. لذا تعتبر الدراجات التي تعمل على خلايا الوقود حلاً مناسباً لبلدان مثل الهند وآسيا حيث يستعمل العديد من السكان الدراجات كوسائل نقل.

### 4-5-1 وحدات الكهرباء المساعدة (APUs Units Power Auxiliary):

الشاحنات المتطورة تحمل على متنها العديد من الأجهزة الكهربائية مثل المدافئ والمكيفات والحاسبات والتلفونات والثلاجات والميكرويف. لتشغيل هذه التجهيزات عندما تكون الشاحنة متوقفة لا بد من تشغيل المحرك. قامت وزارة الطاقة الأمريكية **The Department of Energy (DOE)** بقياس الوقود السنوي وتكاليف الصيانة لشاحنة ثقيلة بحدود \$1800 و عند إستعمال خلية وقود كوحدة كهرباء مساعدة **APUs cell fuel** يوفر 670 مليون غالون من وقود الديزل بالسنة ومليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً.

### 5-5-1 التجهيزات المحمولة **Portable Power**:

يمكن أن تزودنا خلايا الوقود بالطاقة حيث لا تكون الشبكة الكهربائية متوفرة حيث تستخدم في حالات الطوارئ وفي التطبيقات العسكرية فهي أكثر كفاءة من البطاريات وتعمل لفترة أطول وأخف وزناً.

## 6-5-1 : Power Micro الأجهزة الصغيرة



خلايا الوقود من أنسب مصادر الطاقة بالنسبة للأجهزة الإلكترونية الصغيرة نظراً لصغر حجمها، وقدرتها على توليد كمية كبيرة من الطاقة الكهربائية بالنسبة إلى الحجم الصغير. حيث تستخدم خلايا الوقود حالياً في الهواتف الخلوية والحواشيب النقالة والساعات وغيرها من التطبيقات الصغيرة. فأجهزة الشحن المعروضة في السوق الآن يمكن ان تشحن الحاسب عشرين ساعة تقريباً والهاتف الخليوي لثلاثين يوم. أيضاً تم استخدامها في أجهزة كشف الدخان وأجهزة الأنداز وكاميرات المراقبة. العديد من هذه الأجهزة تعرض سنوياً في معرض خلايا الوقود FC EXPO المقام في طوكيو سنوياً. حيث طرحت شركة سوني العام الماضي شاحن متنقل هو عبارة عن جهاز هجين بين خلية وقود ومدخرة ليثيوم.

وقد طرحت شركة توشيبا (TOSHIBA) من خلال معرض "هانوفر" للتجارة (Industrial fair trade) جهاز الكمبيوتر المتنقل (Notebook) المزود بخلية الوقود المصغرة، وهي تسمح للجهاز بالعمل لمدة أسبوع كامل دون توقف من غير مساعدة أو توصيلات بأي مصدر طاقة اخر.

## 7-5-1 في مجال التوربينات الغازية:

التوربينات الغازية هي التي تنتج الحركة الدورانية اللازمة لدوران المولد (Generator) وبالتالي توليد الكهرباء، وقد تم إكتشاف أنه بتزويد التوربينات الغازية بمجموعة مضغوطة من خلايا الوقود، فإن ذلك يساعد على توليد كهرباء بجهد مرتفع نسبياً، وبالتالي تحسين كفاءة الكهرباء المولدة.

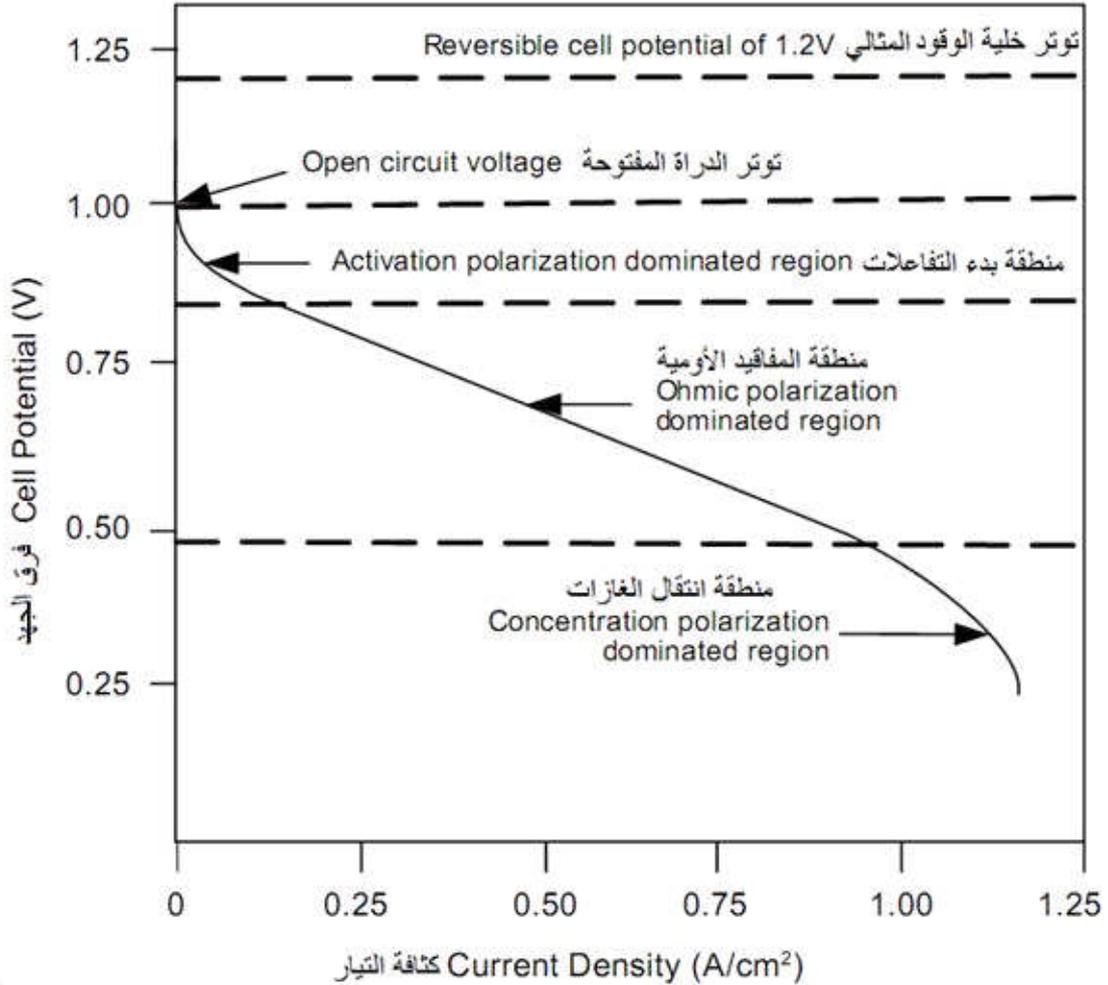
وفي دراسة نشرها مركز تسويق التكنولوجيا التابع لهيئة الإذاعة البريطانية (technology /BBC marketing) أكدت أن مبيعات خلايا الوقود في عام 2003 قد وصلت إلى 1.3 بليون دولار، في حين أنها حققت 355 مليون دولار عام 1998 وذلك بزيادة 30% وهذا الذي يثبت الإتجاه العالمي لإستخدام خلايا الوقود في التطبيقات المختلفة. ويبقى التحدي الأكبر هو تخفيض سعر هذه الخلايا، حيث أن المطلوب حتى تصبح خلية الوقود اقتصادية أن تكون تكلفتها أقل ب 200 مرة عما هي عليه الآن. ولهذا فإن الأبحاث تتجه في الحصول على مواد جديدة يمكن استخدامها في هذه الخلايا بدلاً من المواد عالية التكلفة ومازال العمل قائماً على تطوير الخلايا، وتقليل سعرها ووزنها وحجمها وزيادة كفاءتها وطاقتها مما يجعلها مناسبة للعديد من التطبيقات العملية الأخرى.

الفصل الثاني

## 2. المنحنيات المميزة لخلايا الوقود Characteristics of Fuel Cells

### 1-2 الاعتبارات الأساسية لرسم منحنيات خلايا الوقود:

الطريقة الأكثر شيوعاً لقياس محددات خلايا الوقود هو رسم منحنى الأستقطاب لها , وهو عبارة عن منحنى بين فرق الجهد و كثافة التيار . حيث يتم الاعتماد غالباً على منحنى (تيار- توتر) لمقارنة كفاءة خلايا الوقود مع غيرها من الأنظمة . يظهر منحنى الأستقطاب لخلايا الوقود العلاقة بين التوتر والتيار بالاعتماد على ظروف التشغيل مثل درجة الحرارة, الرطوبة, الحمل المطبق , ونسبة تدفق الوقود والمؤكسد. الشكل التالي يمثل منحنى لخلية وقود ذات غشاء تبادل بروتيني. (1)



من الشكل السابق نجد ان منحنى الاستقطاب يمكن ان يقسم الى ثلاثة مناطق:

أولاً: منطقة بدء التفاعلات (region overpotential Activation): الضياعات في هذه المرحلة ناتجة عن الطاقة التي يحتاجها المحفز لبدء التفاعلات, ففي البداية يكون التفاعل بطيء جداً بتوليد التيار الكهربائي, تفاعلات الأكسجين الكيميائية هي المسبب الرئيسي لضياعات بدء التفاعلات .

ثانياً: المنطقة الأومية (region overpotential Ohmic): مع زيادة التيار المتولد تبدأ ضياعات بدء التفاعلات بالانخفاض وتزداد الضياعات الأومية, الضياعات الأومية ناجمة عن مرور التيار عبر المقاومة الداخلية للوسيط والقطبين والتوصيلات المختلفة في الخلية .

ثالثاً: منطقة انتقال الغازات أو منطقة التركيز (region overpotential Concentration): الضياعات في هذه المنطقة ناجمة عن إعاقة وصول غازات الهيدروجين والأكسجين إلى الأقطاب.

أفضل أداء لخلايا الوقود هو عند عملها في الحالة المثالية حيث يحسب التوتر الذي تولده الخلية الوقودية بواسطة معادلات ترموديناميكية Thermodynamics .  
التوتر الكهربائي الصافي الذي تعطيه خلية الوقود يحسب رياضياً من العلاقة التالية :

$$V = V_{rev} - V_{irrev}$$

حيث أن:

$V_{rev}$  (voltage reversibl): هو التوتر الأعظمي للخلية  $E_r = V_{rev}$  .  
 $V_{irrev}$  (Irreversible): هو التوتر الناتج عن الضياعات التي سبق ذكرها .  
التوتر العملي لخلية الوقود اقل من التوتر المثالي بسبب ضياعات بدء التفاعلات وضياعات انتقال الغازات .  
و بالتالي هناك اعتباران هاما يجب أن يؤخذان بعين الاعتبار عند رسم المنحنيات المميزة لخلايا الوقود الفعلية و هما :

- توتر الدارة المفتوحة  $V_o$  هو أصغر دائماً من  $V_{rev}$  .
- توتر الحمولة  $V_L$  يتناقص و ذلك عند زيادة تيار الحمولة  $I_L$  .

## 2-2 التمثيل الرياضي لمعادلة منحنى خلية الوقود :

يمكن تمثيل المنحنيات المميزة (توتر- تيار) (V-I) لخلايا الوقود رياضياً وفق المعادلة التالية :

$$V_L = V_o - I_L \cdot R_{int} - V_{act}$$

- $V_L$ : توتر الحمولة اللازم تأمينه.
  - $R_{int} \cdot I_L$ : التوتر الضائع بسبب وجود المقاومة الداخلية  $R_{int}$ .
  - $V_{act}$ : توتر التفاعل (activation voltage) وهو التوتر المتعلق بالتيار  $I_L$  المطلوب تأمينه لإعادة تشكيل توتر الحمولة الفعلي .
- أي أنه لتحديد علاقة توتر الحمولة  $V_L$  بشدة التيار الكهربائي  $I_L$  فلا بد من تعيين قيم المقاومة الداخلية  $R_{int}$  و علاقة توتر التفاعل  $V_{act}$  بشدة التيار  $I_L$ .

إن توتر التفاعل  $V_{act}$  يرتبط مع شدة التيار  $I_L$  وفق علاقة لوغاريتمية تعطى بالعلاقة :

$$V_{act} = V_2 \cdot \ln(I_o/I_L)$$

حيث  $V_2, I_o$  هي ثوابت تُحدّد من المنحنيات المميزة .

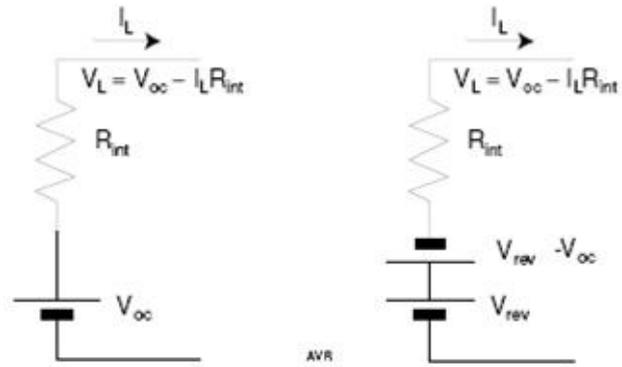
بالعودة إلى معادلة تمثيل المنحنى المميز لخلايا الوقود فإن ميل المنحنى لا يمثل بشكل فعلي قيمة المقاومة, بل فعلياً هو :

$$\frac{dV_L}{dI_L} = R_{int} + (V_2/ I_L)$$

و يعتمد صانعو خلايا الوقود على أن تعمل الخلايا وفق منحنياتها المميزة في المجال التي تكون علاقة التوتر بالتيار هي علاقة خطية .

### 3-2 تمثيل الدارة المكافئة ( equivalent cycle ) لخلية الوقود:

بما أن  $R_{int} \gg I_L/2V$  بالتالي يمكن تمثيل دارة خلية الوقود بالشكل التالي و التي تدعى بالدارة المكافئة:



من الدارة المكافئة و حسب قانون كيرشوف الثاني يمكن الحصول على المعادلة السابقة:

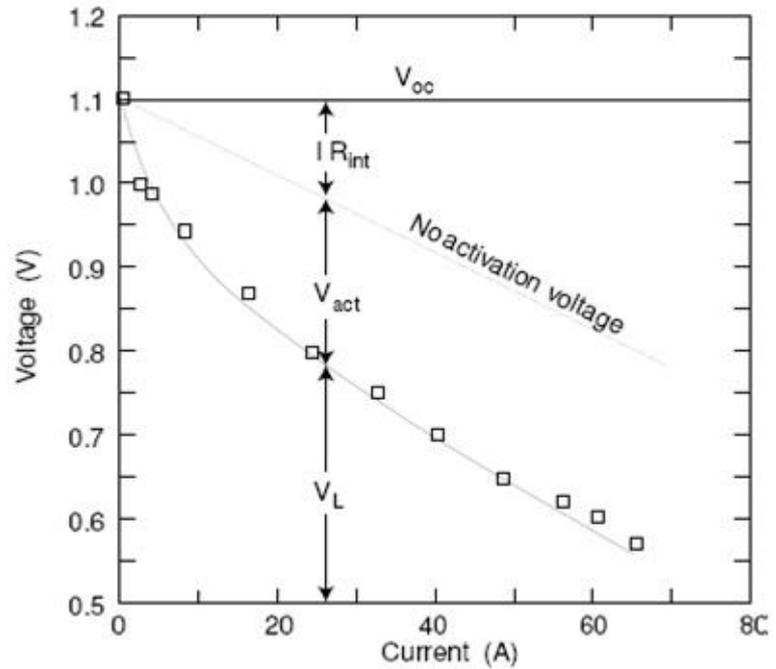
$$V_L = V_o - I_L \cdot R_{int} - V_{act}$$

## 4-2 التمثيل العملي لخلايا الوقود:

ولكن في الواقع العملي فإن المنحنيات المميزة لخلايا الوقود تسلك سلوكاً لا خطياً وذلك عند تضمين ضياعات التفاعل أثناء الحسابات فبتعويض العلاقة السابقة بمعادلة المنحني المميز نحصل على العلاقة :

$$V_L = V_0 - I_L \cdot R_{int} - V_2 \cdot \ln(I_0/I_L)$$

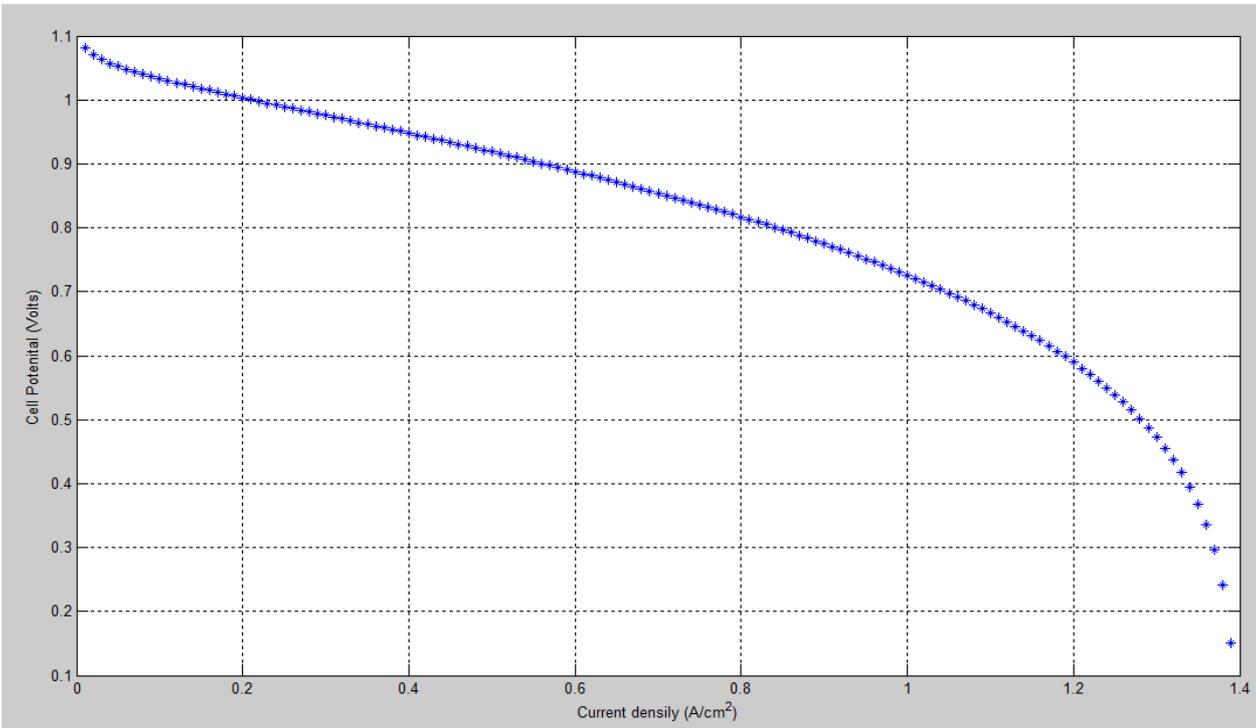
يصبح المنحني المميز لمعظم خلايا الوقود كما في الشكل:



## 5-2 نموذج الخلية الوقودية:

لقد قمنا بعمل نموذج للخلية الوقودية حيث يمكن الاطلاع على البرنامج بالرجوع الى الملحق (A), حيث يمكننا هذا النموذج عند تطبيقه من رؤية خصائص الخلية الوقودية.

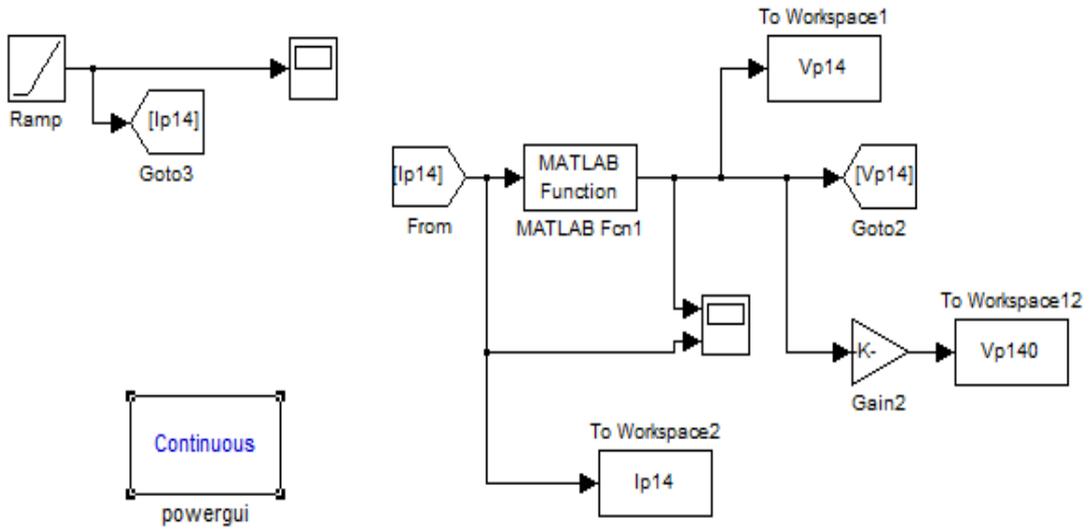
بعد قيامنا بعمل هذه النمذجة تحصل على منحنى بين فرق الجهد و كثافة التيار (تيار - جهد):



منحنى (تيار - توتر)

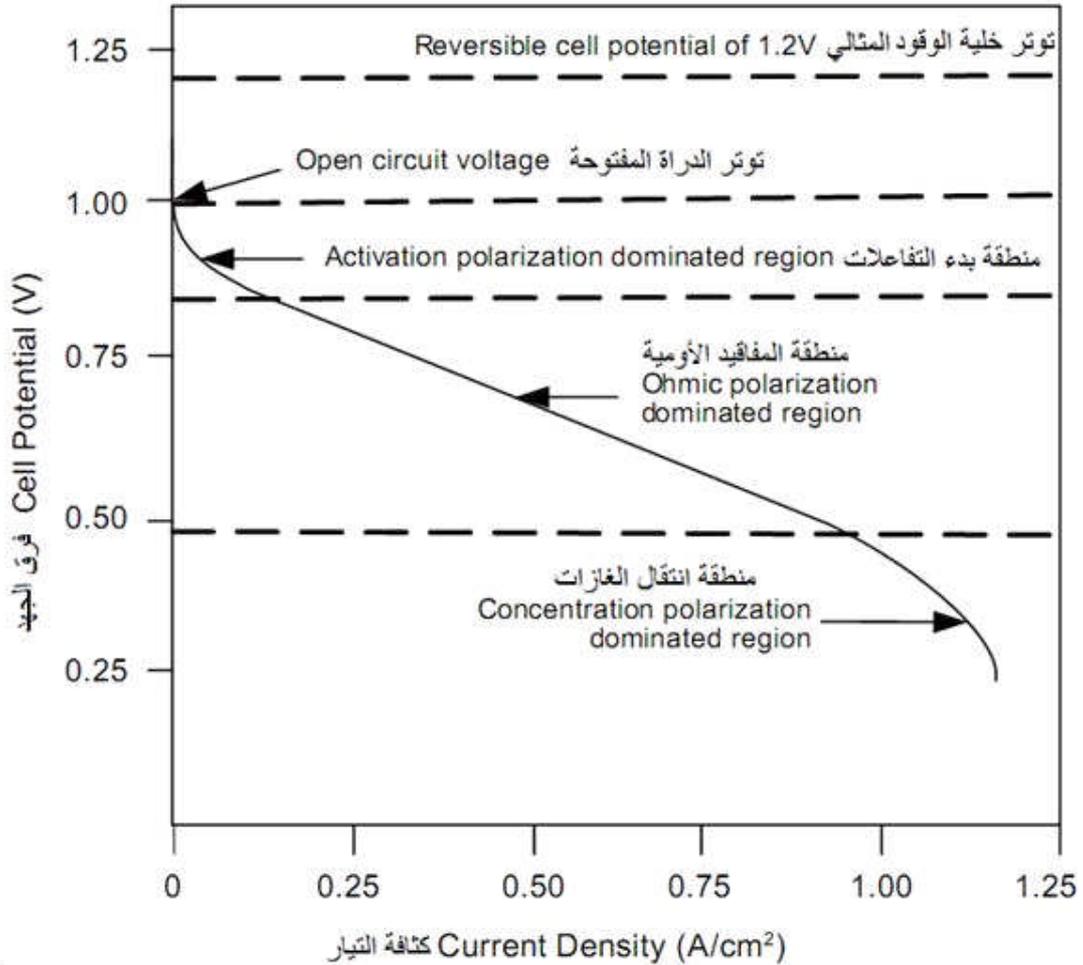
## 6-2 عمل محاكاة للخلية الوقودية باستخدام برنامج (MATLAB Simulation)

### الخلية الوقودية (Fuel cell):



نلاحظ من الشكل السابق اننا تمكنا من عمل محاكاة للخلية الوقودية من خلال استخدام تيار (Ip14) وادخاله الى (MATLAB Fuction) التي تحتوي على نموذج الخلية الوقودية حيث يمكن الاطلاع على البرنامج بالرجوع الى الملحق (B), وبذلك نكون قد مثلنا جهد الخلية الوقودية بدلالة التيار.

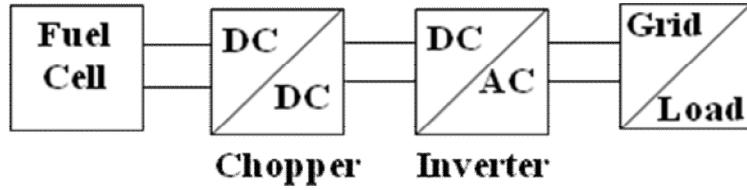
المنحنى الموضح في الشكل يبين خاصية الخلية الوقودية وقود ذات غشاء تبادل بروتيني (PEMFC).



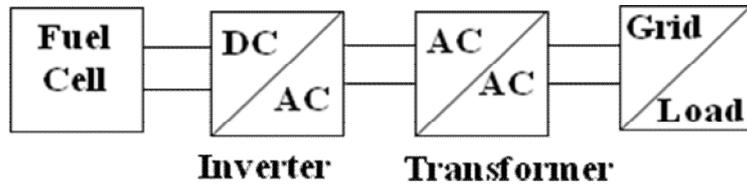
المنحنى الموضح في الشكل السابق يبين خاصية ستاتيكية للخلية الوقودية ذات غشاء تبادل بروتيني (PEMFC). تغير الجهد والتيار بدلالة الاستطاعة المتولدة يبين ان الخلية ليست منبع تيار ولا منبع جهد في الحالة الستاتيكية. كما ان الجهد التيرموديناميكي النظري هو (1.23v) والجهد في حالة عدم وجود الحمولة (avid) يتغير بين (1.1,0.9v). من اجل الحصول على استطاعات اكبر يمكن وضع خلايا على التسلسل لزيادة الجهد واستعمال مساحات اكبر للصعود في التيار , ومجموعة خلية وقودية تسمى (stack) ولا اعتبارات ميكانيكية لا يمكن وضع اكثر من 100 خلية على التسلسل .

بما ان الخلية الوقودية هي مصدر طاقة غير خطي فهذه الخاصية هي احدى الاسباب التي تبين ضرورة وضع مقلبات الكترونية استطاعية (مطبر , موج) بين الخلية والحمولة من اجل انتاج جهد مستقر

يوجد عدة تشكيلات للمولائمة بين الخلية والحمولة من اجل تلبية متطلبات الحمولة. وبما ان مخرج الخلية الوقودية ذات غشاء تبادل بروتيني منخفض (25 – 100v) وجهد الشبكة مرتفع نسبيا لا بد من وضع طابق رافع بين الخلية والحمولة ويمكن ان يكون هذا الطابق مقلب DC – DC (مطبر) او مقلب AC – AC (محول) , انظر الى الشكل (1) والشكل (2). اختيار التشكيلة متعلق بالثمن المرغوب فيه والتطبيق المرجو. التشكيلة المختارة في دراستنا هي عبار عن خلية ذات غشاء تبادل بروتيني , مطبر رافع, موج احاي الطور PWM ومرشح (LC). انظر للشكل (7-4)



الشكل (1) مقلب DC – DC



الشكل (2) مقلب AC – AC

الذالك

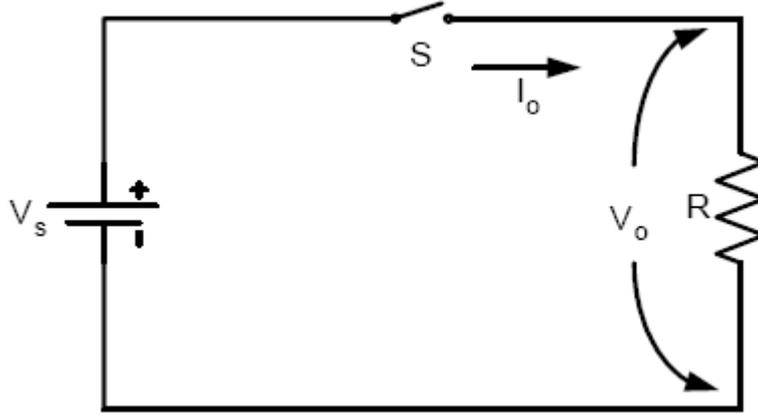
الفصل

### 3. المطبرات (DC Chopper)

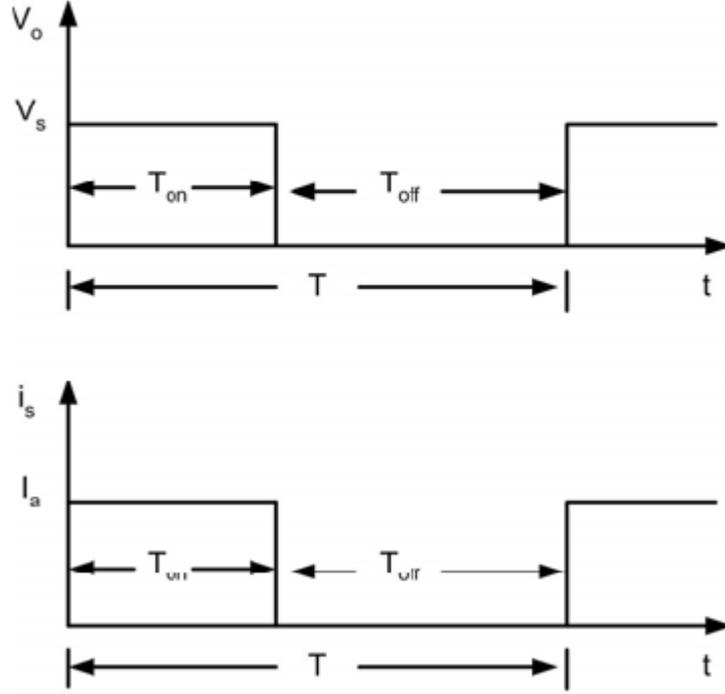
تستخدم المطبرات للتحويل من تيار مستمر ذو جهد ثابت الى تيار مستمر ذو جهد متغير, وتستخدم المطبرات على مجال واسع في التطبيقات الصناعية مثل القطارات الكهربائية والسيارات الكهربائية... الخ, وتلعب المطبرات دورا مهما للتحكم بالسرعة او عمل الفرملة باعادة التوليد ويؤدي استخدامها لتوفير كبير في الطاقة في نظم النقل الكهربائية. (2)

#### 1-3 مبدأ عمل المطبرات:

يمكن فهم مبدأ عمل المطبرات من خلال الدائرة الموضحة بالشكل (1-1) المكونة من حمولة (مقاومة) ومفتاح ومصدر للتيار المستمر. عند توصيل المفتاح لمدة زمنية (Ton) فإن جهد المصدر سيظهر على الحمولة, واذا تم فصل المفتاح لمدة زمنية (Toff) فإن جهد الحمولة سيصبح مساويا للصفر, وعلى ذلك تكون اشكال موجات الجهد والتيار كما في شكل (2-1):



الشكل (1-1) دائرة المطبر



الشكل (2-1) موجات الجهد والتيار

ويمكن حساب الجهد المتوسط على الحمولة كما يلي:

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^{T_{on}} V_s dt = \frac{T_{on}}{T} V_s = kV_s$$

المعادلة (1-2)

حيث :

- Vs : جهد المصدر
- Ton : زمن التوصيل
- Toff : زمن الفصل
- T : الزمن الكلي
- Vo : جهد المخرج
- K : نسبة التشغيل

وتكون القيمة المتوسطة لتيار الحمولة :

$$I_o = \frac{V_o}{R} = k \frac{V_s}{R}$$

المعادلة (2-2)

ويمكن حساب القيمة الفعالة للجهد على اطراف الحمولة كما يلي:

$$V_{rms} = \left[ \frac{1}{T} \int_0^{T_{on}} V_s^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{T_{on}}{T}} V_s = \sqrt{k} V_s$$

المعادلة (3-2)

وواضح من المعادلة (1-2) انه يمكن التحكم بالجهد من خلال التحكم في نسبة تشغيل المقطع, ولكن الاخذ في الاعتبار ان يكون تردد المقطع عالي, لذا يجب ان يكون المفتاح المستخدم احد عناصر الكترونيات القدرة المتحكم فيها كليا مثل الترانزستور او IGBT او MOSFAT او GTO... الخ, يمكن ملاحظة ان التحكم بالقيمة المتوسطة للجهد يتم بتغيير نسبة التشغيل والتي يمكن التحكم فيها بطريقتين:

1- تقنية تشكيل عرض النبضة (PWM) :

ويتم ذلك بتغيير فترة التوصيل Ton مع المحافظة على زمن الدورة T ثابت.

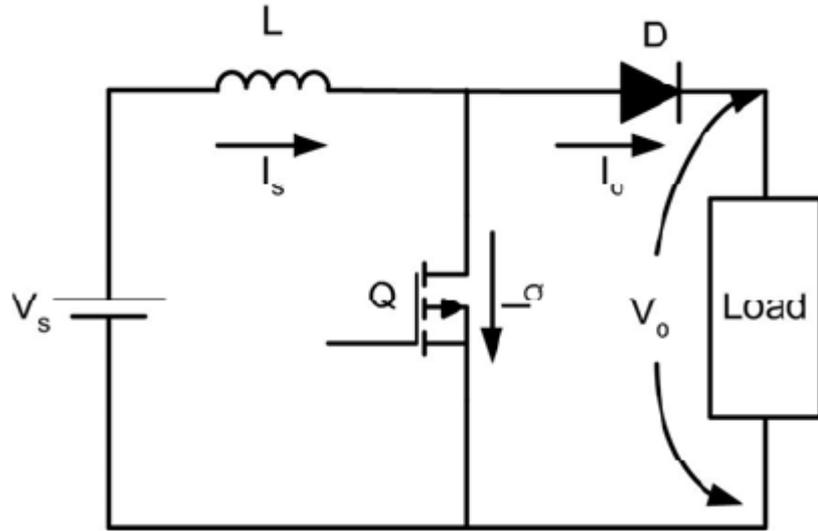
2- تغيير التردد (FM) :

وتم ذلك بتغيير زمن الدورة T مع المحافظة على فترة التوصيل Ton ثابتة.

### 2-3 المطبرات الرافعة للجهد : Steb-Up Chopper

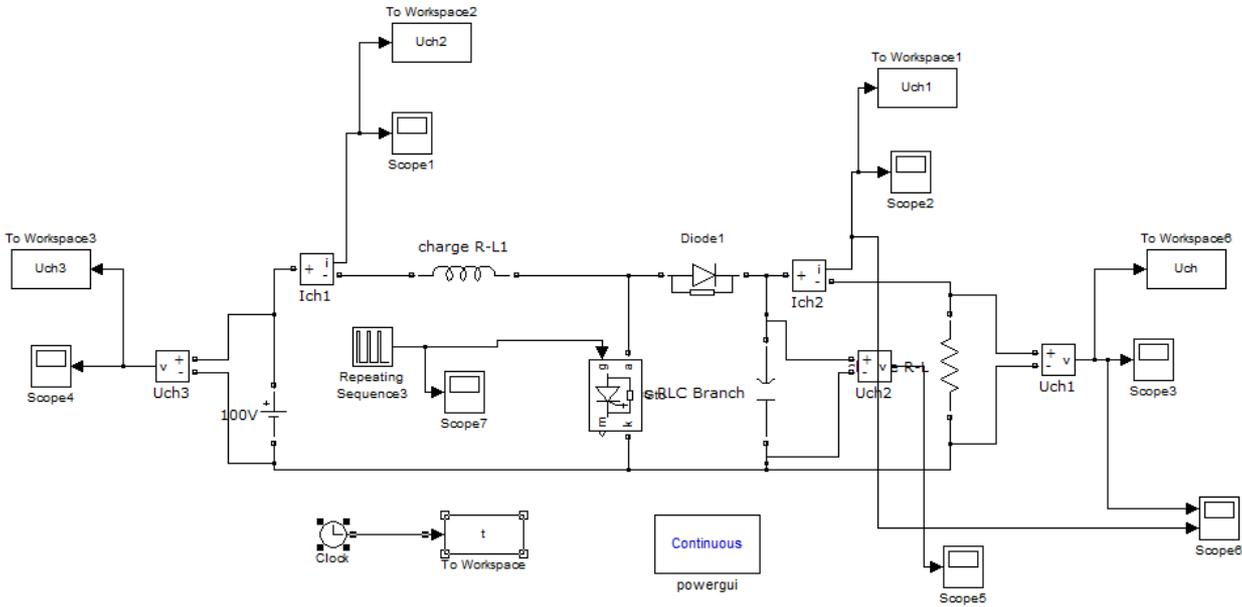
في هذه الحالة تكون القيمة المتوسطة للجهد على اطراف الحمولة اكبر من جهد المصدر, ونحن في بحثنا نحتاج الى مثل هذا النوع من المقلبات لانه كما لاحظنا من خصائص الخلية الوقودية انه يحدث هبوط لجهد الخلية مع زيادة الطلب على التيار لذلك نحتاج الى هذا النوع من المطبرات لرفع جهد الخلية الوقودية قبل ادخاله الى المموج كما سوف نرى لاحقا, الشكل (3-1) يوضح مثال للمطبرات الرافعة يتكون من موسفت وملف عالي القيمة ودايود تم تركيبهم بالشكل المبين.

عند تشغيل المقطع اي وضعه في حالة (On) فإن التيار يمر بالملف (L) لفترة طويلة حيث يتم تخزين طاقة في الملف , وعند وضع المفتاح في حالة (Off) يتم تفريغها في الحمولة. ويمكن استخدام هذه الطريقة لنقل الطاقة من مصدر الى اخر كما تستعمل لعمل الفرملة للمحركات الكهربائية باعادة التوليد.(2)



الشكل (3-1) دائرة مطبر رافع للجهد باستخدام الموسفت

### 3-3 عمل محاكاة للمطبر الرافع للجهد باستخدام برنامج (MATLAB Simulation)



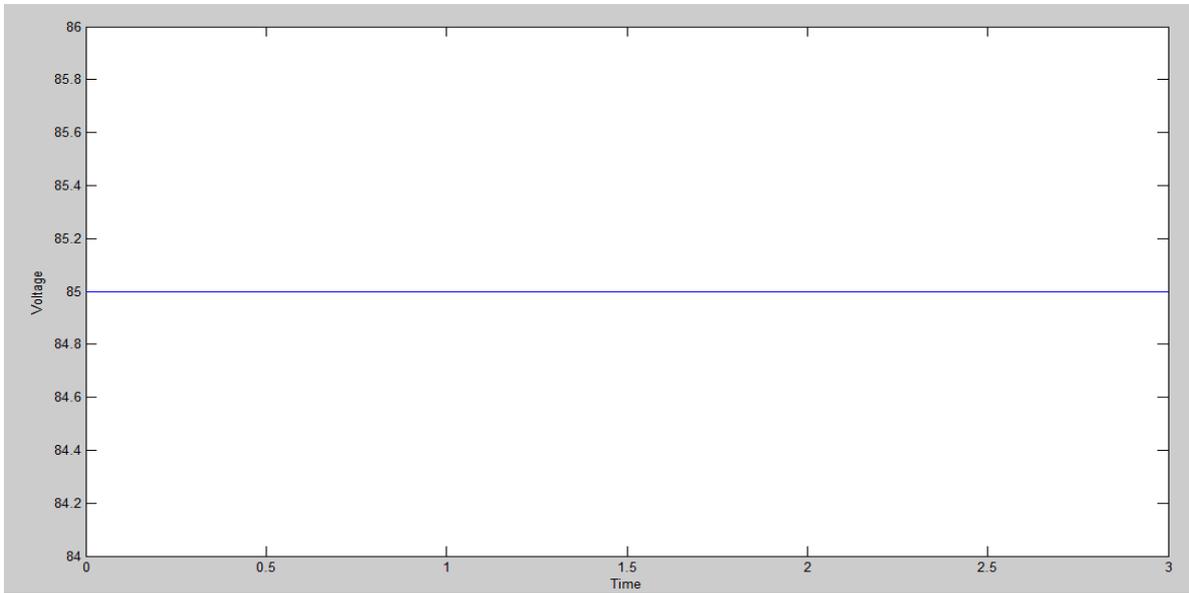
الشكل (4-1) مطبر رافع للجهد

نلاحظ من الشكل (4-1) ان عملية المحاكاة للمطبر الرافع للجهد تكونت من العناصر التالية :

- مصدر للجهد الثابت
- ملف على التسلسل مع مصدر الجهد
- قاطع متحكم به (GTO) على التوازي مع مصدر الجهد
- مرشح (Filter) على مخرج المطبر قبل الحمولة مكون من مكثفة تقلل التوافقيات الموجودة في جهد المخرج قبل ادخالها الى الحمولة
- حمولة حثية (مقاومة)

بعد قيامنا بالمحاكاة للمطبر الرافع للجهد تحصلنا على النتائج المبينة في الشكل (5-1) والشكل (6-1) :

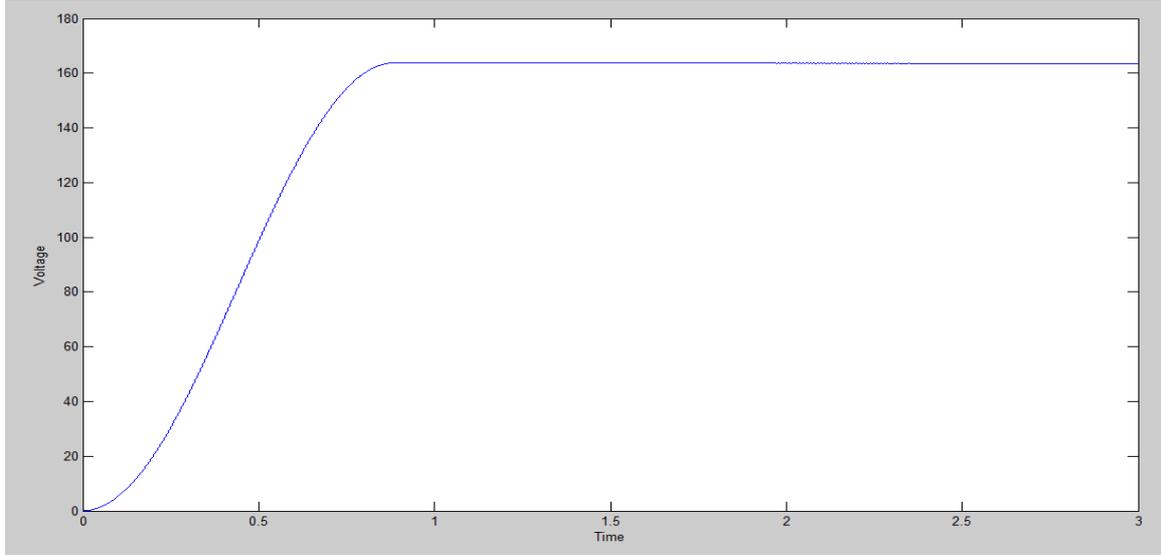
**جهد المدخل:** لا يمكن وضع أكثر من مائة خلية وقودية على التسلسل لذا اخترنا جهد مخرج الخلية الوقودية 85V



الشكل (5-1) منحنى جهد مدخل مطبر رافع احادي الطور

يبين لنا الشكل (5-1) منحنى جهد المدخل لمطبر رافع للجهد وهو عبارة عن جهد ثابت قيمته (85v) .

**جهد المخرج:** نلاحظ من الشكل (6-1) والذي يمثل مخرج المطبر كيفية قيام المطبر الرافع للجهد من رفع قيمة الجهد الثابت من (85v) في المدخل اللي (162v) في المخرج .



الشكل (6-1) منحى مخرج مطبر رافع احادي الطور

نلاحظ من الشكل (6-1) والذي يمثل مخرج المطبر كيفية قيام المطبر الرافع للجهد من رفع قيمة الجهد الثابت من (85v) في المدخل اللي (162v) في المخرج .

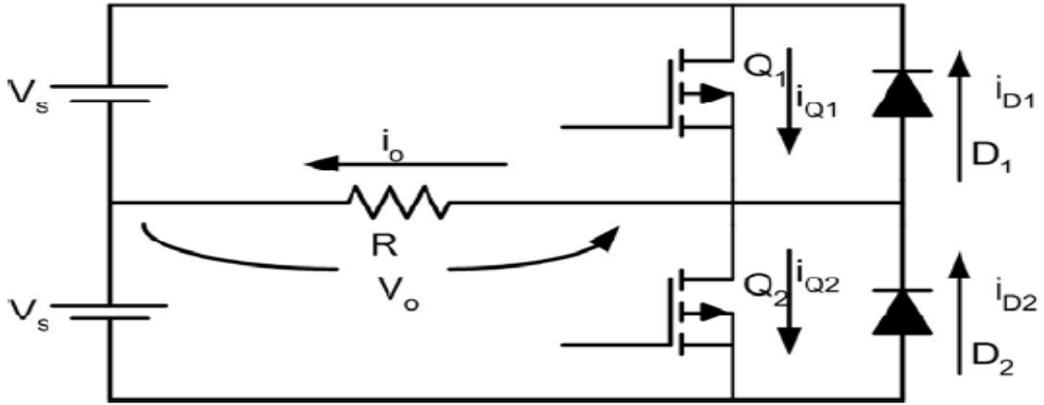
# الفصل الرابع

## 4. المموج (Inverter)

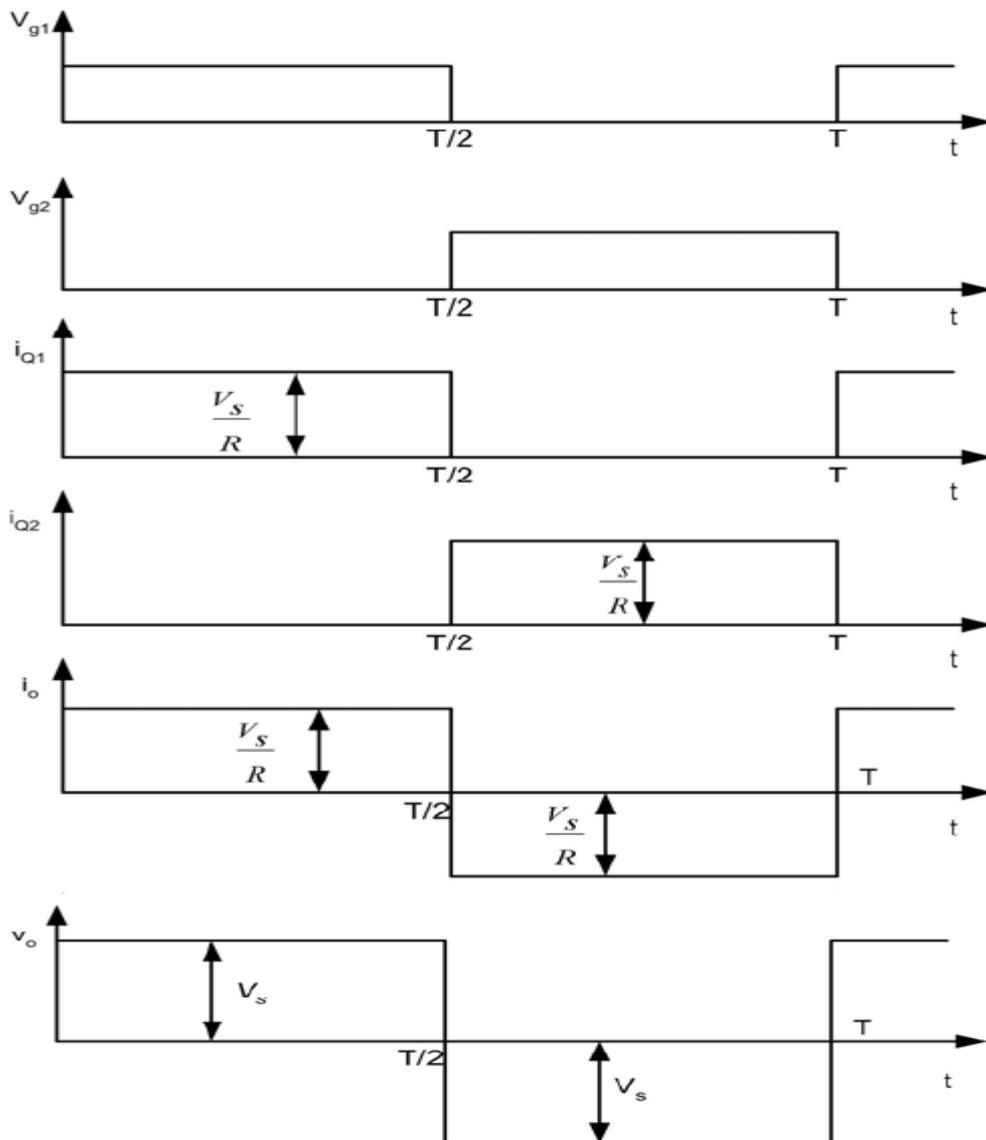
تستخدم المموجات للتحويل من تيار مستمر ذو جهد ثابت القيمة الى تيار متردد يمكن التحكم في جهده او تردده او في كلاهما معا، لذلك نقوم بوصله بالخلية الوقودية لتحويل جهد الخلية الثابت الى جهد متناوب نستطيع توصيله للحمولة , وهناك طرق مختلفة للتحكم في قيمة الجهد الناتج من استخدام المموج مثل التحكم في قيمة الجهد المستمر الداخلة باستخدام المطبر او التحكم في الجهد المتردد الناتج عن طريق تقنية تشكيل عرض النبضة (PWM) بينما يتم التحكم في التردد بالتحكم بالدورة الزمنية لعملية التوصيل والفصل لعناصر الكترونيايات القدرة المستخدمة. ويعتبر المموج من الناحية العملية مموج مناسب كلما كان شكل موجة الجهد الناتجة عنه اقرب الى الموجة الجيبية, لذا يوصل مرشح (Filter) مكون من مكثفة وملف على مخرج المموج لتخلص من التوافقيات غير المرغوب فيها, كما ان استخدام عناصر الكترونيايات القدرة ذات السرعات العالية في بناء المموج يقلل ايضا من هذه التوافقيات. وتستخدم المموجات في الكثير من التطبيقات الصناعية مثل مصادر القدرة غير المنقطعة (UPS) والتحكم في سرعات المحركات الحثية والمحركات المتزامنة والتي تستخدم في التطبيقات الصناعية التي تحتاج الى سرعات متغيرة.

### 4-1 مبدأ عمل المموج :

يمكن فهم مبدأ عمل المموج بدراسة الدائرة البسيطة المبينة في الشكل (3-1) والتي تتكون من اثنتين موسفت (Q1-Q2) واثنتين دايمود (D1-D2) وحمولة على شكل مقاومة ومصدرين للجهد المستمر قيمة كل منهم (Vs). عند تشغيل (Q1) يمر التيار من المصدر الاول ومن خلال (Q1) الى الحمولة, ويكون الجهد على اطراف الحمولة مقداره (Vs) وذلك طول فترة التوصيل (T/2) وعند تشغيل (Q2) يمر التيار من المصدر الثاني ومن خلال (Q2) الي الحمولة ويكون الجهد على اطراف الحمولة مقداره (-Vs) وذلك طول فترة التوصيل (T/2). وعلى ذلك تكون اشكال موجات الجهد والتيار كما في الشكل (3-2) ويسمى هذا المموج بمموج نصف جسر, وعندما تحتوي الحمولة على ممانعة حثية فان التيار في الحمولة لا يمكن ان يغير اتجاهه فجأة نتيجة لاطفاء (Q1), لذلك يستمر التيار في المرور في الحمولة من خلال (D2) والمصدر السفلي حتى يصل الي الصفر حيث يتم توصيل (Q2), وكذلك الحال بالنسبة ل(D1) حيث يستخدم كمسار للتيار مع المصدر العلوي عند اطفاء (Q2). (2).



الشكل (1-3) موج احادي الطور نصف جسر



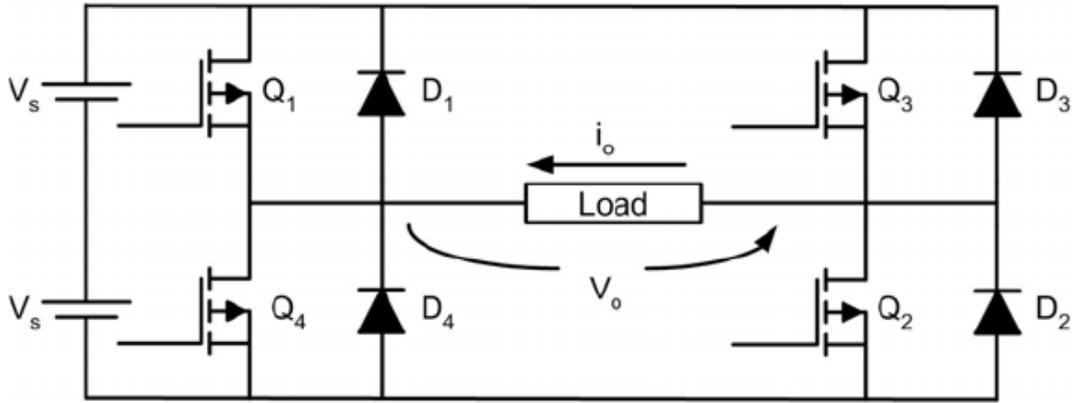
الشكل (2-3) موجات التيار والجهد للموج احادي الطور نصف جسر مع حمولة عبارة عن مقاومة

## 2-4 اقسام المموج:

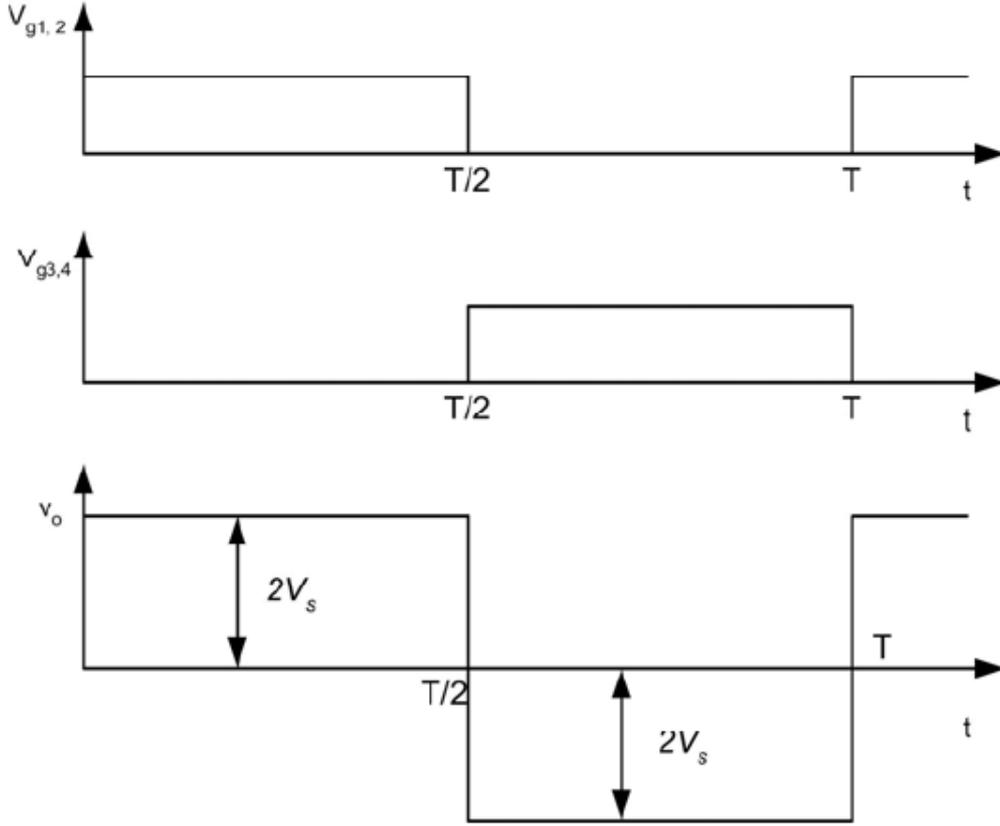
ويمكن تقسيم المموجات حسب نوع الجهد الناتج الى موجات احادية الطور ومموجات ثلاثية الطور :

### 1-2-4 موج جسر احادي الطور ( Single-Phase Bridge Inverter ) :

يتكون مموج الجسر من اربع عناصر توصيل (موسفت او ترانزستور... الخ) واربعة دايود يتم توصيلهم على شكل جسر كما هو موضح في الشكل (3-3), حيث يتم تشغيل كل من (Q1,Q2) معا فيكون الجهد على اطراف الحمولة ( $2V_s$ ). وعند تشغيل (Q3,Q4) معا يظهر الجهد ( $-2V_s$ ) على اطراف الحمولة كما في الشكل (4-3). ويستخدم كل من (D1,D2) كمسار للتيار عند اطفاء (Q3,Q4) وذلك حتى يصل تيار الحمولة الى صفر وخلال هذه الفترة تعاد القدرة الى المصدر, وبالمثل (D3,D4) يستخدمان لنفس الهدف عند اطفاء (Q1,Q2). (2).



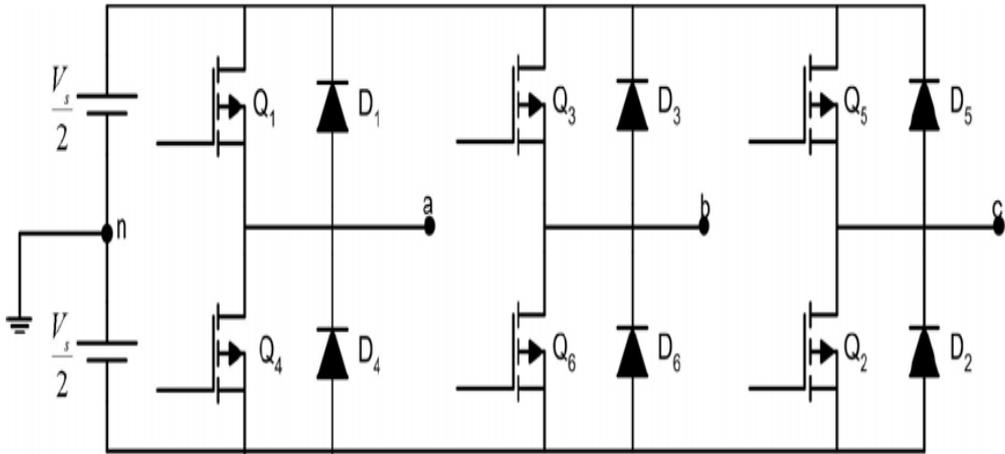
الشكل (3-3) مموج جسر احادي الطور



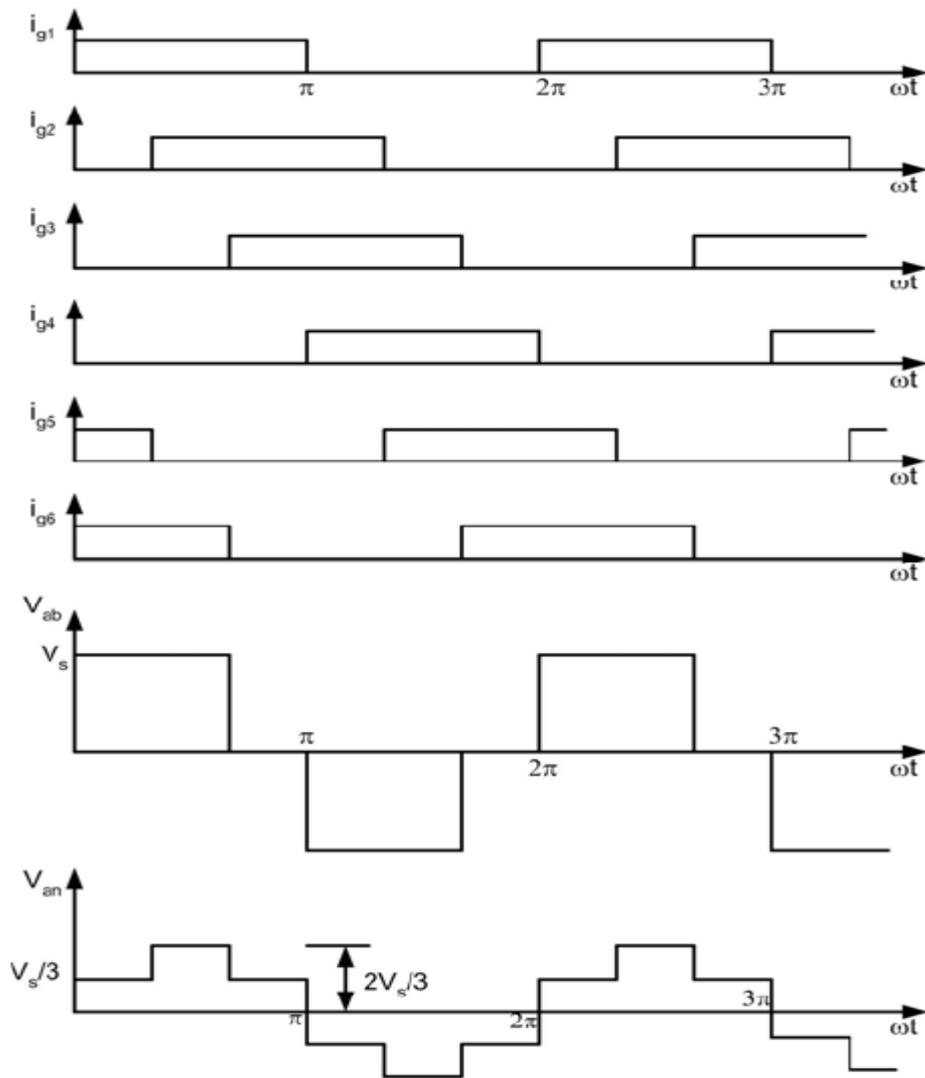
الشكل (4-3) موجات التيار والجهد لموج جسر احادي الطور

#### 2-2-4 موج جسر ثلاثي الطور : (Three-Phase Bredge Inverter)

تستخدم الموجات ثلاثية الطور في التطبيقات ذات القدرة العالية. ويمكن ان نحصل على موج ثلاثي الاوجه بعدة طرق اهمها موج القنطرة ثلاثي الاوجه المبين في الشكل (5-3). ويتكون من ست موسفت وست دايودات حيث يتم اشعال كل موسفت لمدة (180) درجة وفصله لمدة (180) درجة ويتم ذلك بالتتابع كما في الشكل (6-3).

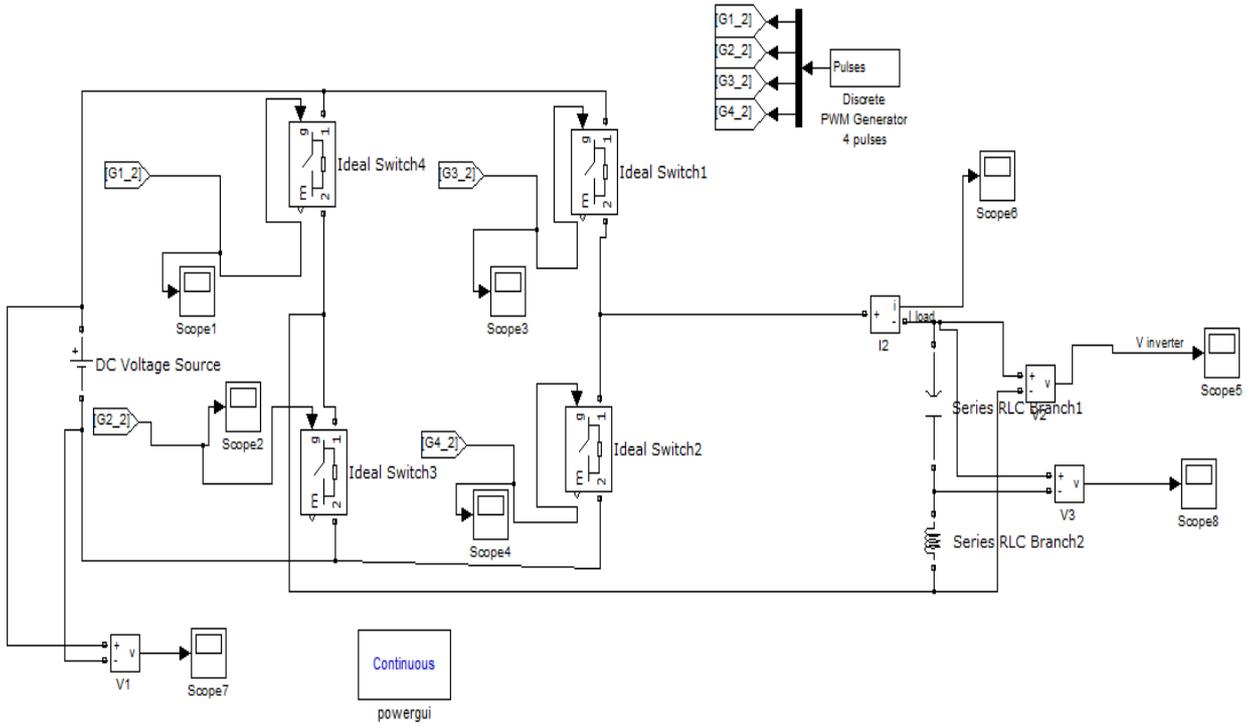


الشكل (5-3) موج ثلاثي الطور



الشكل(6-3) موجات التحكم والجهد للموج ثلاثي الطور

### 3-4 عمل محاكاة للموج باستخدام برنامج (MATLAB Simulation) :



الشكل (7-3) الموج

يبين الشكل (7-3) عملية محاكاة للموج جسر احادي الطور, وتتكون عملية المحاكاة هذه من العناصر التالية :

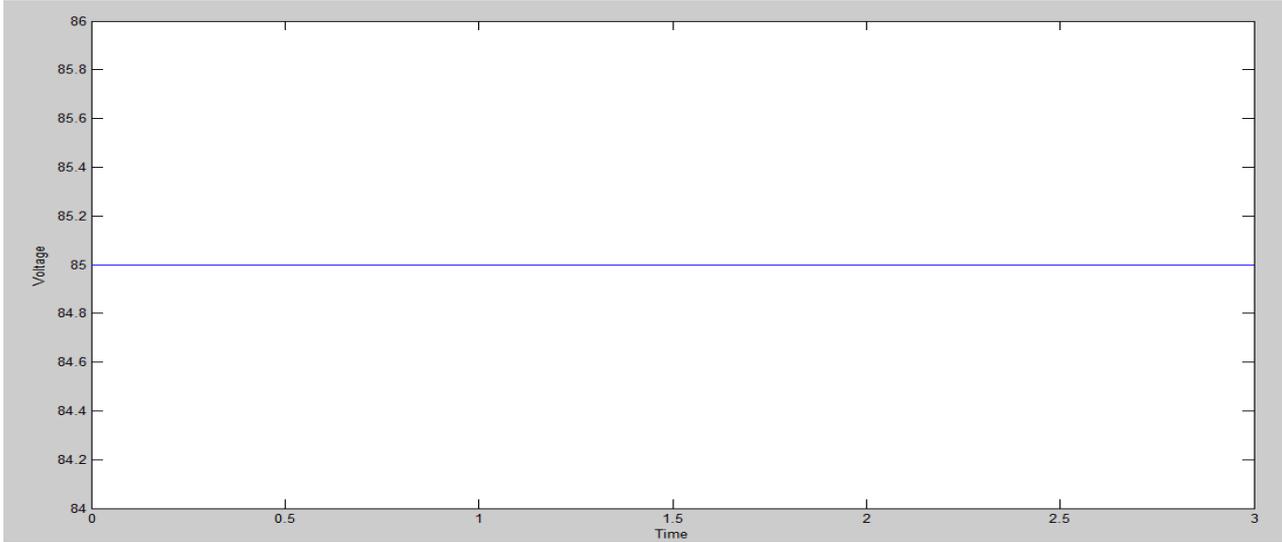
- مصدر للجهد الثابت
- اربع قواطع (Ideal Switch)
- مرشح (Filter) مكون من ( مكثفة و ملف ) للتقليل من التوافقيات الناتجة

• تقنية تشكيل عرض النبضة (PWM) :

نلاحظ من عملية المحاكاة السابقة لمموج جسر احادي الطور ان جهد المدخل يكون جهد مستمر اي انه ذو قيمة ثابتة لذلك لا بد من ايجاد طريقة للتحكم بجهد المخرج المتحصل عليه ومن هنا جاءت اهمية استعمال هذه التقنية , حيث في هذه التقنية يعتمد جهد المخرج على نسبة اشتغال القواطع وقيمة جهد المدخل المستمر, وبما ان جهد المدخل هو جهد ثابت ذو قيمة ثابتة فان الطريقة الوحيدة للتحكم بجهد المخرج هو تغيير نسبة اشتغال القواطع المستخدمة.

ونسطيع من خلال استخدام تقنية تشكيل عرض النبضة (PWM) الحصول على جهد جيببي يملك قيمة وتردد متحك بهما وذلك من خلال مقارنة اشارة جيببية مع اشارة مثلثية ذات تردد كبير جدا.

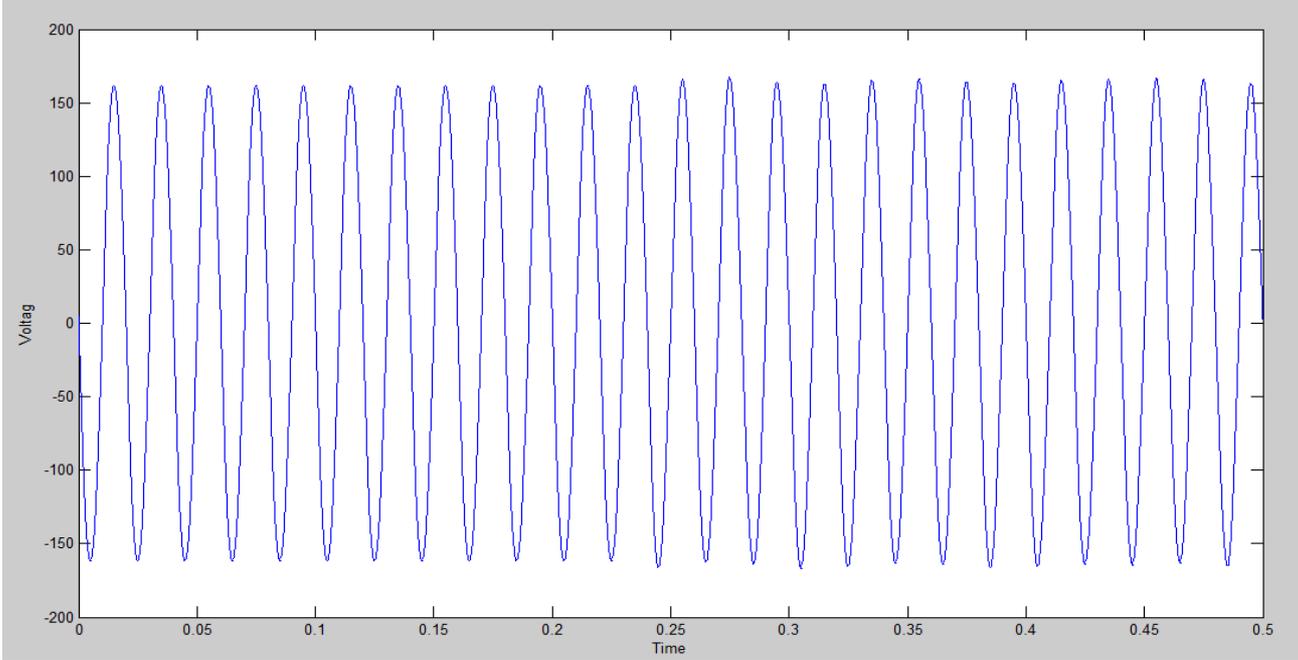
بعد قيامنا بالمحاكاة للمموج تحصلنا على النتائج المبينة في الشكل (7-3) والشكل (8-3) :  
جهد المدخل :



الشكل (7-3) منحى جهد مموج احادي الطور

يبين لنا هذا المنحنى جهد مدخل المموج وهو عبارة عن جهد مستمر.

## جهد المخرج:



الشكل (8-3) منحنى جهد موج احادي الطور

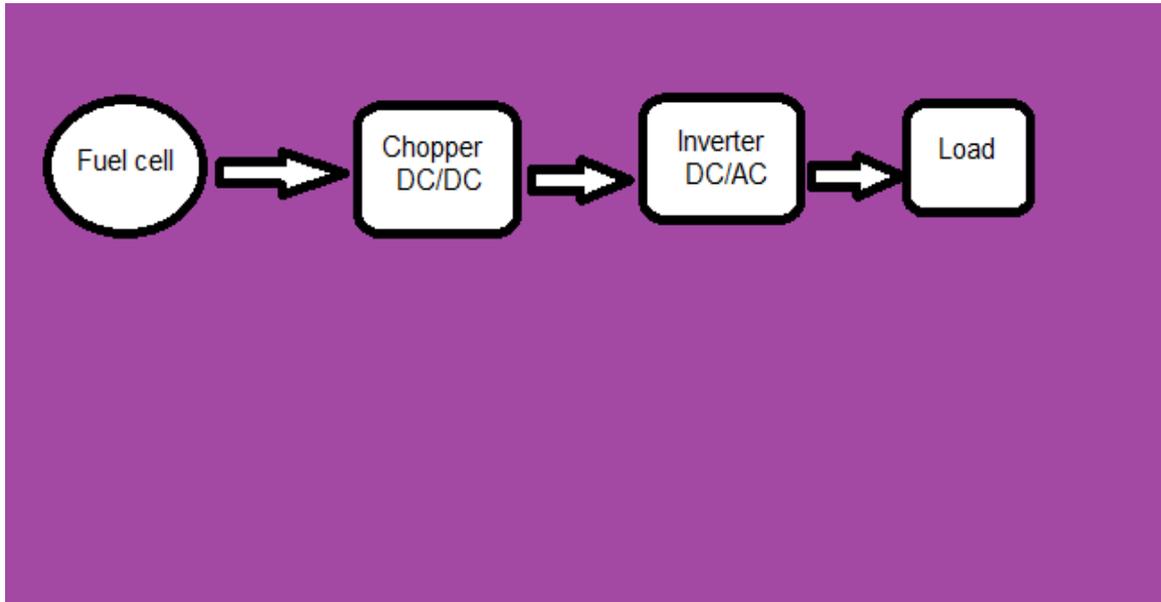
يبين لنا الشكل (8-3) كيفية قيام الموج بتحويل الجهد الثابت الى جهد متناوب قيمته الفعالة 120v. وتواتره 50Hz

العلم

العلم

## 5. ربط الخلية الوقودية بمقلب الاكتروني

بعد التعرف في الفصول السابقة على الخلية الوقودية والمقالات الالكترونية (المموج , المطبر الرفع للجهد) سنقوم بعملية ربط بين الخلية الوقودية والمقالات السابقة كما هو مبين في الشكل (1-4).



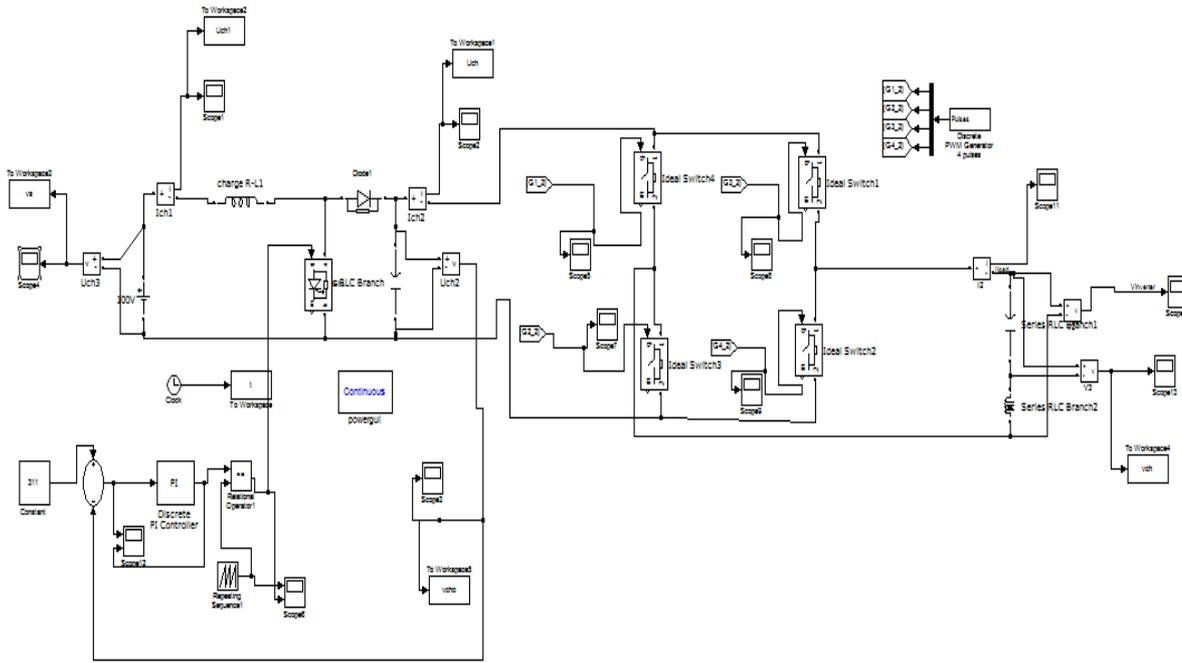
الشكل (1-4) المخطط التوضيحي لعملية ربط خلية وقودية بمقلب الكتروني

كما هو موضح بالشكل تتم عملية الربط بين المموج والخلية الوقودية عبر وضع مموج رافع للجهد بينهما، حيث كما بينا في الفصول السابقة تقوم الخلية الوقودية باخراج جهد مستمر ولكن كما بينا في الفصل الاول ان جهد الخلية الوقودية ينقص عند زيادة الطلب على التيار لذلك نقوم بادخاله الى مطبر رافع للجهد وذلك من اجل رفع جهد الخلية الوقودية قبل ادخاله الى المموج الذي يقوم بتحويل هذا الجهد المستمر الي جهد متناوب يذهب الى الحمولة المطلوبة.

## 1-5 مراحل عملية الربط :

لقد قمنا بمحاكاة لعملية الربط باستخدام برنامج (MATLAB Simulation) وقمنا بذلك عبر مرحلتين :

### 1-1-5 ربط المموج بمطبر رافع للجهد :



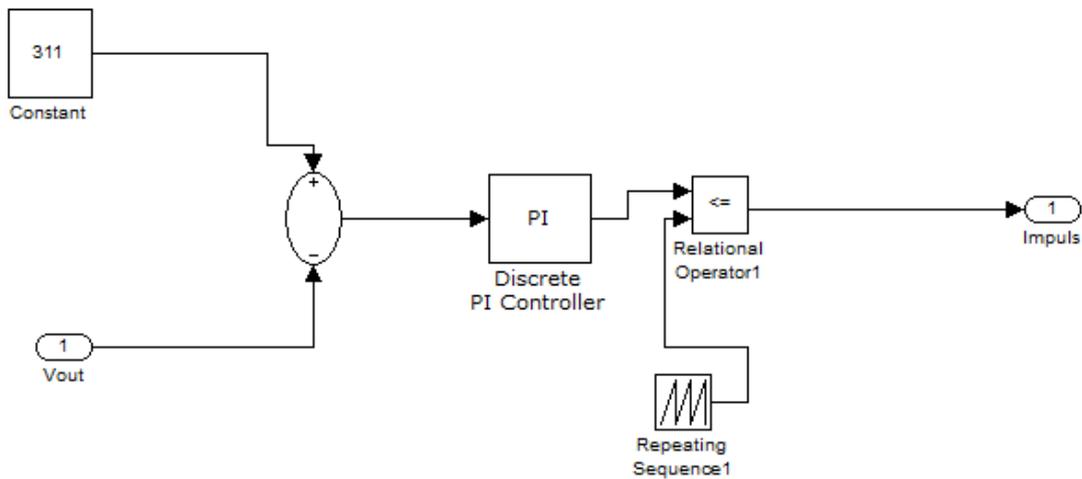
الشكل (2-4) محاكاة لعملية ربط مموج بمطبر رافع للجهد

يوضح الشكل (2-4) المرحلة الاولى من عملية المحاكاة, ومن الشكل نستطيع ان نرى العناصر المستخدمة في هذه العملية وهي :

- المطبر الرافع للجهد (Steb-Up Chopper) : من اجل رفع قيمة جهد المصدر وادخاله الى المموج .

- **المموج (Inverter) :** لتحويل الجهد المستمر الى جهد متناوب وادخاله الى الحمولة المطلوبة.

- **دارة تحكم :** قمنا باضافة هذه الدارة الموضحة في الشكل (3-4) من اجل التحكم بجهد مخرج المطبر, لاننا لاحظنا وجود تشوه في مخرج المطبر بعد ربطه في المموج بسبب زيادة الحمولة لذلك قمنا بوضع هذه الدارة التي من خلالها نقوم بمقارنة جهد مخرج المطبر بجهد ثابت نقوم بتحديدده,ويقوم المعدل (PI) بالغاء الخطأ اذا وجد بينهما ويكون مخرج هذه الدارة عبارة عن نبضات نرسلها الى القاطع الموجود في المطبر ونكون بذلك قد حصلنا على جهد ثابت نستطيع ادخاله للمموج للحصول على جهد متناوب مناسب.

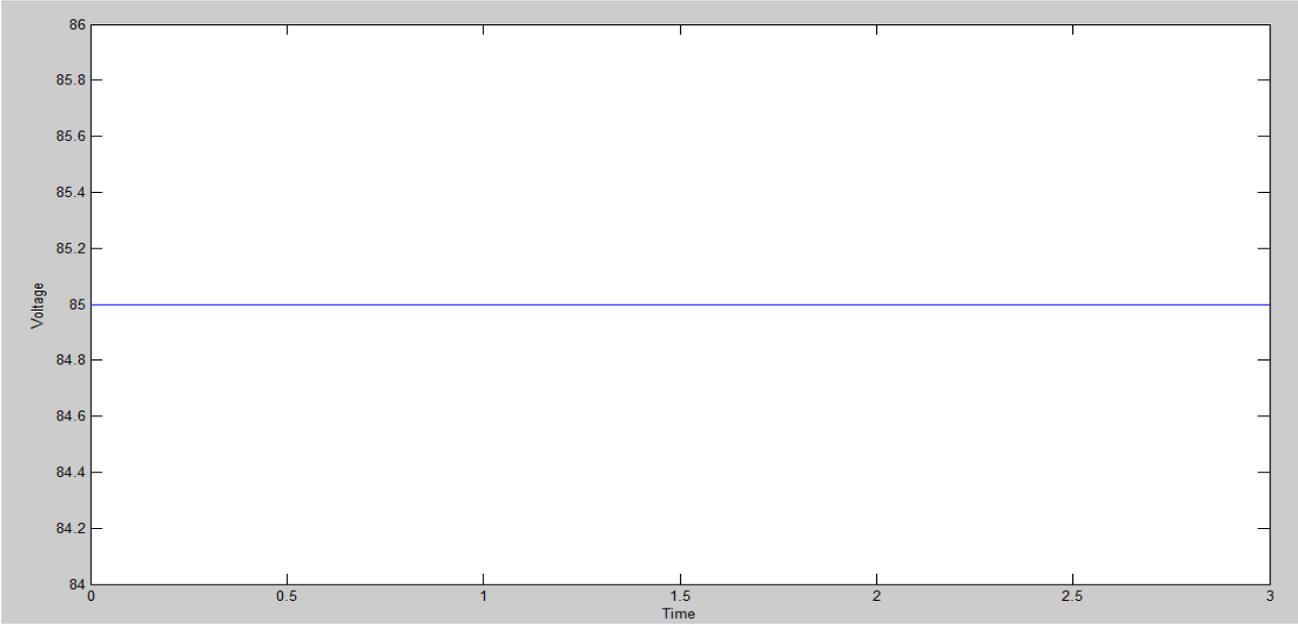


الشكل (3-4) دارة التحكم

- **المرشح (Filtre) :** قمنا بوضع مرشح مكون من (ملف , ومكثفة) على مخرج المموج من اجل تحسين جهد المخرج قبل ادخاله الى الحمولة وذلك عن طريق التقليل من التوافقيات الناتجة .

بعد قيامنا بعملية المحاكاة تحصلنا على النتائج المبينة في كل من الاشكال  
:(6-4),(5-4),(4-4):

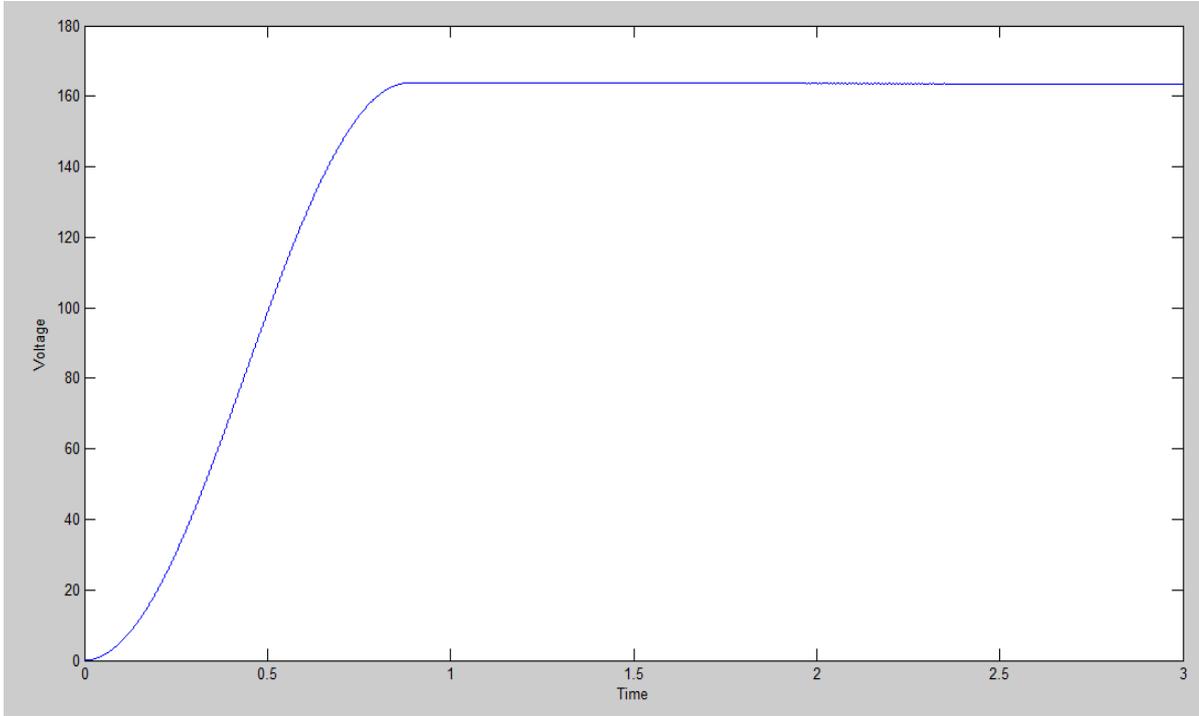
• جهد المدخل :



الشكل (4-4) جهد مدخل مطبر رافع للجهد

يبين هذا المنحنى جهد مدخل الطبر وهو عبارة عن جده مستمر قيمته (85v)

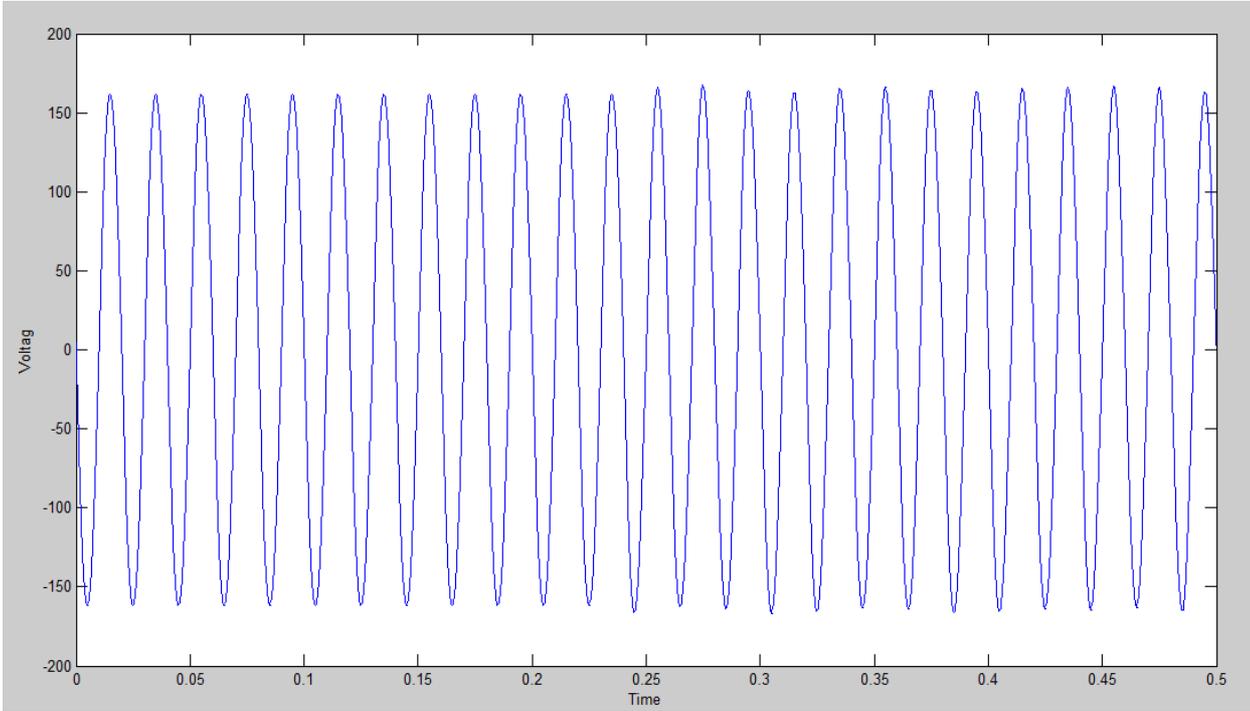
• جهد مخرج المطبر الرافع للجهد:



الشكل (4-5) منحنى مخرج مطبر رافع للجهد

يبين هذا المنحنى كيفية قيام المطبر الرافع برفع قيمة الجهد من (85v) في الدخل الى (164v) في المخرج.

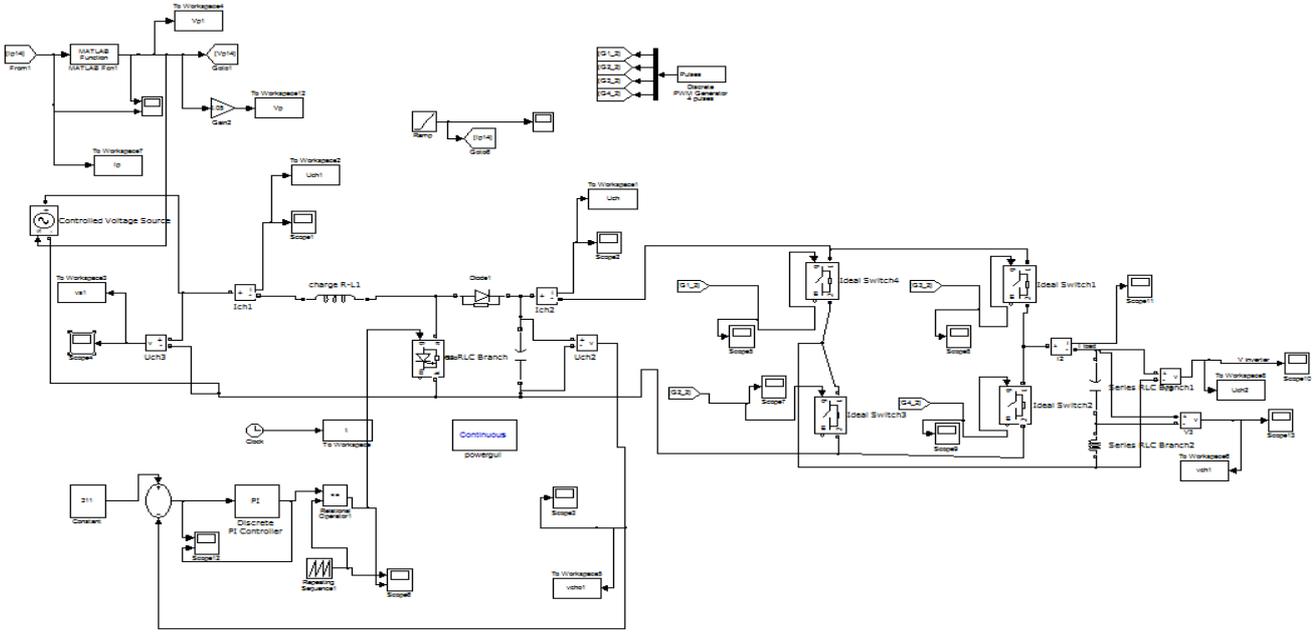
• جهد المخرج :



الشكل (6-4) منحنى مخرج المموج

يبين هذا الشكل كيفية قيام المموج بتحويل الجهد الثابت الى جهد متناوب قيمته (311v) ولقد قمنا بتغيير قيمة الجهد الناتج عن طريق تغيير عرض النبضة (PWM) كما وضحنا سابقا .

## 2-1-5 ربط الخلية الوقودية بالمقلب الالكتروني :



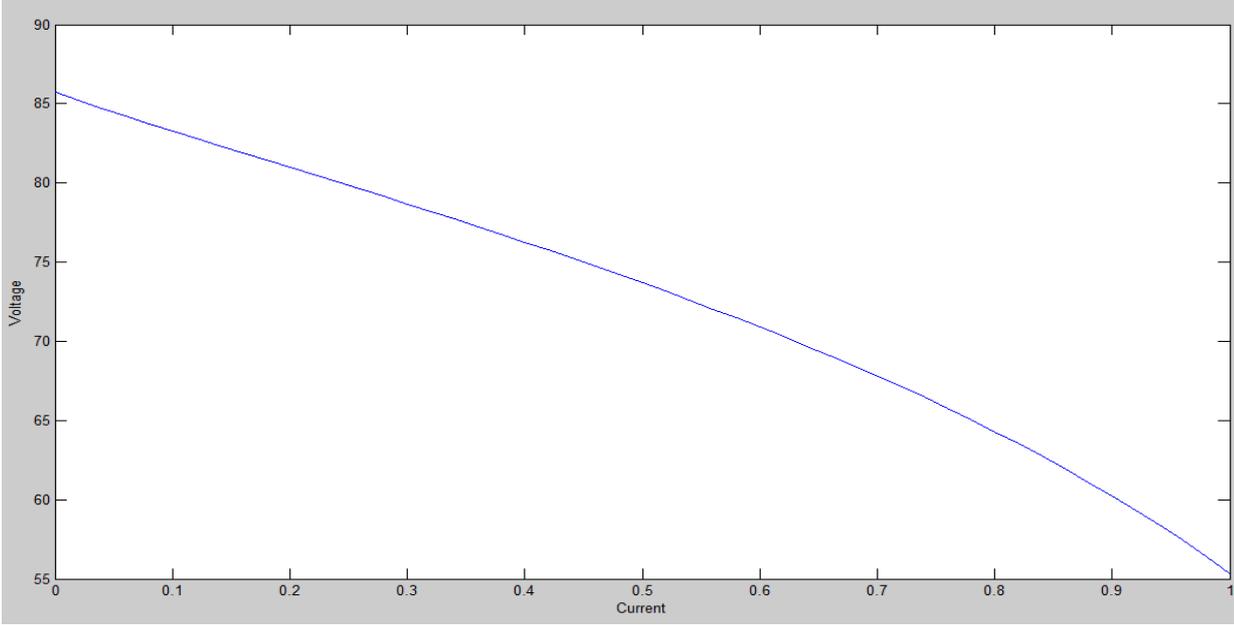
الشكل (7-4) محاكاة لعملية ربط الخلية الوقودية بالمقلب الالكتروني

يوضح لنا الشكل (7-4) المرحلة الثانية من المحاكاة , وهي عملية الربط بين الخلية الوقودية والمقلبات السابقة

نلاحظ من الشكل (7-4) عملية الربط بين الخلية الوقودية والمقلبات الالكترونية (المطبر الرافع للجهد و المموج ) , حيثن نرى ان مخرج الخلية الوقودية يتم ادخاله الى المطبر الرافع للجهد ليقوم برفعه قبل ادخاله الى المموج.

بعد قيامنا بعملية المحاكاة تحصلنا على النتائج المبينة في كل من الاشكال  
(8-4),(9 -4),(10 -4):

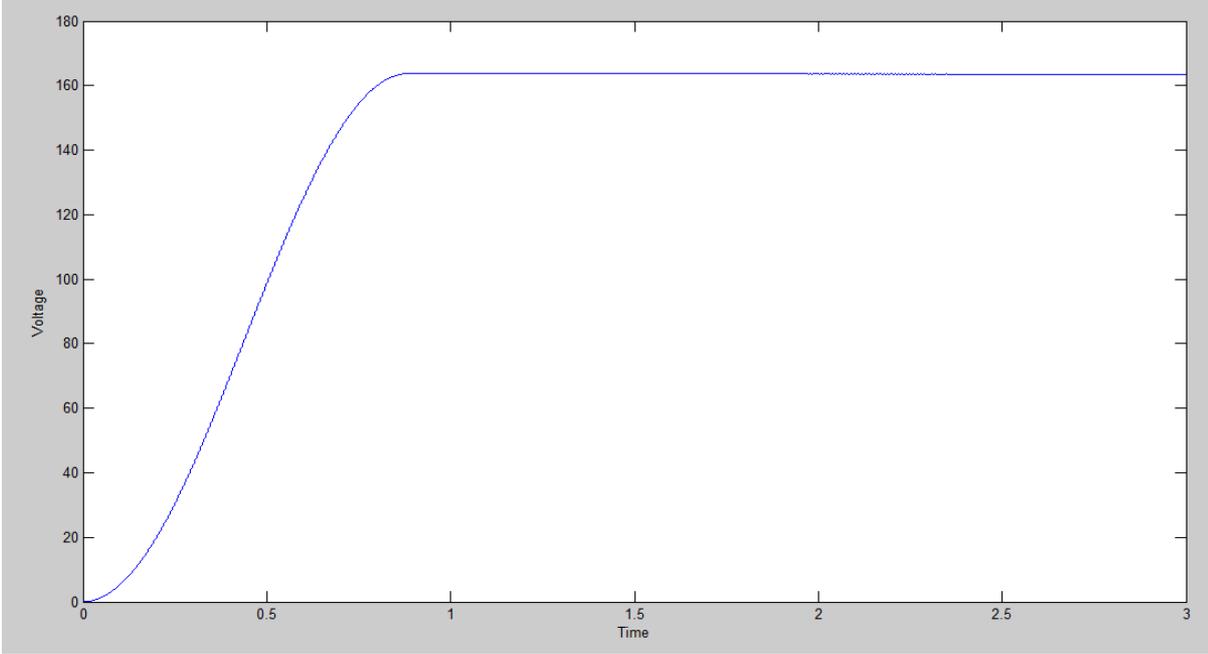
• جهد المدخل :



الشكل (8-4) منحنى مخرج الخلية الوقودية

تعتبر الخلية الوقودية في عملية المحاكاة هذه مصدر الجهد, لذلك يعتبر هذا هو منحنى المدخل للنظام المبين في الشكل (8-4), ولقد استخدمنا في هذه التجربة 85 خلية على التسلسل للحصول على الجهد المبين في الشكل السابق.  
نستطيع ان نلاحظ من المنحنى كيفية هبوط الجهد وسبب ذلك كما بينا اشرنا سابقا انو كلما زاد الطلب على التيار يحدث هناك هبوط للجهد لذلك قمنا بوضع المطير الرافع للجهد من اجل رفع هذا الجهد قبل ادخاله الى المموج.

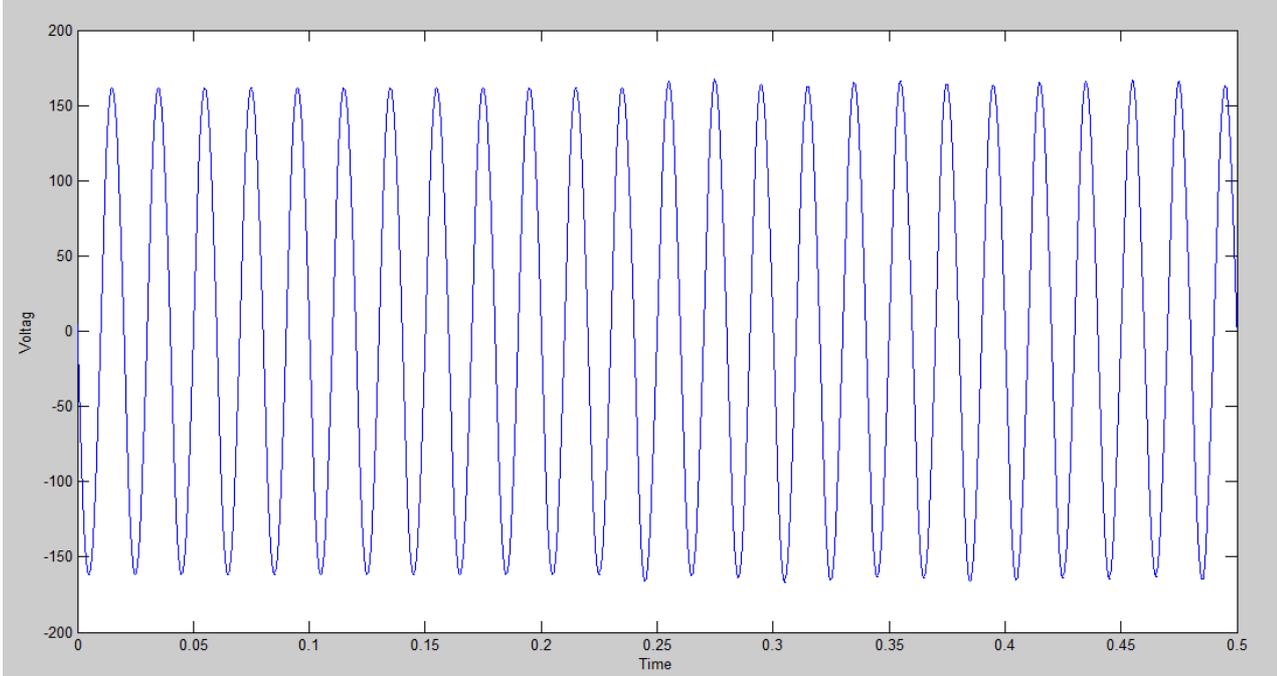
## جهد مخرج المطبر الرافع للجهد:



الشكل (9-4) منحنى مخرج مطبر رافع للجهد

يبين لنا منحنى مخرج المطبر الرافع للجهد كيفية قيام المطبر برفع قيمة جهد الخلية الوقودية الذي يعتبر جهد المدخل من (85v) تقريبا الى (162v), وهنا تكمن اهمية استخدام هذا النوع من المقلبات.

• جهد المخرج :



الشكل (10-4) منحنى مخرج المموج

يبين لنا الشكل (10-4) جهد المخرج الذي هو عبارة عن جد متناوب بعدما كان جهد ثابت وذلك بسبب عمل المموج .

## 2-5 الخلاصة:

في هذا الفصل قمنا بعملية ربط بين الخلية الوقودية ومقلبات الكترونية , حيث قمنا بوضع الخلية الوقودية على التفرع مع مطبر رافع للجهد ومموج , وبيننا من خلال عملية المحاكاة التي قمنا بها من خلال برنامج (MATLAB) دور كل مقلب في هذه العملية , حيث قام المطبر الرافع للجهد برفع جهد الخلية الوقودية المستمر الذي يعتبر مصدر الجهد في هذه العملية قبل ادخاله الى المموج الذي قام بدوره بتحويل الجهد المستمر الى جهد متناوب نستطيع من خلاله تغذية الحمولة المطلوبة بجهد جيبي مستقر قيمته الفعلة  $120v$ .

### (3): (A) الملحق

```
clear all
clc
% function V_out=fcn(i);
%input
R=8.314;% Ideal gas constant (J/molK)
F=96487;% Faraday's constant (Coulombs)
Tc=80;% Temperature in degrees C
P_H2=3;% Hydrogen pressure in atm
P_air=100;% Air pressure in atm
N_cell=1;% Area of cell
r=0.19;% Internal Resistance (Ohm-cm^2)
Alpha=0.5;% Transfer coefficient
Alpha1=0.085;% Amplification constant
io=10^-6.912;% Exchange Current Density (A/cm^2)
il=1.4;% Limiting current density (A/cm2)
Gf_liq=-228170;% Gibbs function in liquid form (J/mol)
k=1.1;% Constant k used in mass transport
%Convert degrees C to K
Tk=Tc+273.15;
%Create loop for current
loop=1;
i=0;
for N=0:150
    i=i+0.01;
    %Calculation of partial pressures
    %Calculation of saturation pressure of water
    x=-2.1794+0.02953.*Tc-9.1837.*(10.^-5).*(Tc.^2)+1.4454.*(10.^-7)
    .*(Tc.^3);
    P_H2O=(10.^x)
    %Calculation of partial pressure of Hydrogen
    PP_H2=0.5.*((P_H2)./(exp(1.653.*i./(Tk.^1.334))))-P_H2O)
    %Calculation of partial pressure of Oxygen
    PP_O2=(P_air./exp(4.192.*i/(Tk.^1.334)))-P_H2O
    %Activation Losses
    b=R.*Tk/(2.*Alpha.*F);
    V_act=-b.*log10(i./io);
    %Ohmic Losses
    V_ohmic=-(i.*r);
    %Mass Transport Losses
    term=(1-(i./il));
    if term > 0
        V_conc=Alpha1.*(i.^k).*log(1-(i./il));
    else
        V_conc=0;
    end
    %Calculation of Nernst Voltage
    E_nernst=-Gf_liq./(2.*F)-
    ((R.*Tk).*log(P_H2O./(PP_H2.*(PP_O2.^0.5))))/(2.*F)
    %Calculation of output Voltage
    V_out=N_cell*(E_nernst+V_ohmic+V_act+V_conc);
    if term<0
        V_conc=0;
    end
end
```

```

        break
    end
    if V_out<0
        V_out=0;
        break
    end

    figure(1)
    xlabel('Current densily (A/cm^2)');
    ylabel('Cell Potenital (Volts)');
    plot(i,V_out, '*')
    grid on
    hold on
    disp(V_out)
    %     plot(i,N)
end

```

## : (B) الملحق

```

% clear all
% clc
% function V_out=fcn(i);
function V_out = jojo(Ipac)
%input
R=8.314; % Ideal gas constant (J/molK)
F=96487; % Faraday's constant (Coulombs)
Tc=80; % Temperature in degrees C
P_H2=3; % Hydrogen pressure in atm
P_air=100; % Air pressure in atm
N_cell=83; % Number of Cells
r=0.19; % Internal Resistance (Ohm-cm^2)
Alpha=0.5; % Transfer coeffi cient
Alpha1=0.085; % Amplifi cation constant
io=10^-6.912; % Exchange Current Density (A/cm^2)
il=1.4; % Exchange Current Density (A/cm^2)
Gf_liq=-228170; % Gibbs function in liquid form (J/mol)
k=1.1; % Constant k used in mass transport
%Convert degrees C to K
Tk=Tc+273.15;
%Create loop for current
loop=1;
i=0;
% % for N=0:150
% %     i=i+0.01;
%Calculation of partial pressures
%Calculation of saturation pressure of water
x=-2.1794+0.02953.*Tc-9.1837.*(10.^-5).*(Tc.^2)+1.4454.*(10.^-7).
*(Tc.^3);
P_H2O=(10.^x)
%     %Calculation of patia pressure of Hydrogen
PP_H2=0.5.*((P_H2)./(exp(1.653.*Ipac./(Tk.^1.334))))-P_H2O

```

```

%      %Calculation of partial pressure of Oxygen
PP_O2=(P_air./exp(4.192.*Ipac/(Tk.^1.334)))-P_H2O
%      %Activation Losses
b=R.*Tk/(2.*Alpha.*F);
V_act=-b.*log10(Ipac./io);
%      %Ohmic Losses
V_ohmic=-(Ipac.*r);
%      %Mass Transport Losses
term=(1-(Ipac./il));
%      if term >0
          V_conc=Alpha1.*(Ipac.^k).*log(1-(Ipac./il));
%      else
%          V_conc=0;
%      end
%      %Calculation of Nernst Voltage
E_nernst=-Gf_liq./(2.*F)-
((R.*Tk).*log(P_H2O./(PP_H2.*(PP_O2.^0.5))))/(2.*F);
%      %Calculation of output Voltage
V_out=N_cell*(E_nernst+V_ohmic+V_act+V_conc);
%      if term<0
%          V_conc=0;
%          break
%      end
%      if V_out<0
%          V_out=0;
%          break
%      end
%      end
% %      figure(1)
%      xlabel('Current density (A/cm^2)');
%      ylabel('output Voltage (Volts)');
%      plot(i,V_out,'*')
%      grid on
%      hold on
%      disp(V_out)
% end

```

# الخلاصة

لقد قمنا من خلال هذا العمل بدراسة امكانية ربط الخلية الوقودية بمقليات الاكترونية بحيث نستطيع الملائمة بين الخلية الوقودية والحمولة من اجل انتاج جهد مستقر لانه كما بينا ان الخلية الوقودية هي مصدر طاقة غير خطي ومن هنا جاءت ضرورة وضع مقليات الكترونية استطاعية بين الخلية الوقودية والحمولة من اجل التحصل بالنهاية على جهد مستقر .  
ومن خلال هذا البحث لاحظنا مدى فاعلية المقليات الاستطاعية التي قمنا باستخدامها بين الخلية الوقودية والحمولة (المطبر الرافع , المموج ) ودورها في تحصلنا على الجهد المستقر المرجو من هذه العملية.  
وبعد النتائج التي تحصلنا عليها من خلال عمل محاكاة لهذه العملية عبر استخدام برنامج (MATLAB Simulation) تمكنا من التأكد من امكانية استخدام هذه الطريقة للحصول على جهد مستقر يمكن ان نقوم باستخدامه لتغذية حمولات مختلفة.

# المراجع

1- <http://kawngroup.com/fuel-cells/>

2- إلكترونيات القدرة - الات ومعدات كهربائية – الادارة العامة لتصميم وتطوير  
المناهج – المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني – المملكة العربية  
السعودية

3- PEM Fuel Cell Modeling and Simulation Using MATLA

4- *Seddik BACHA*, ( INTERFAÇAGE ET CONTROLE  
COMMANDE DE PILES A COMBUSTIBLE POUR  
APPLICATIONS STATIONNAIRES ET TRANSPORT),  
2004 , *UNIVERSITÉ JOSEPH FOURIER* .

5- [www.elsevire.com/locate/jpowsour](http://www.elsevire.com/locate/jpowsour)