

## مبدل متتالي سباعي السويات أحادي الطور مُقَاد في الزمن الحقيقي باستخدام منصة التحكم ( DS1104 – Dspace )

د. زياد السقا<sup>(1)</sup>

### الملخص

تمتاز المبدلات متعددة السويات في قابليتها لتركيب شكل موجة أفضل، من خلال الاستفادة من التوصيل التسلسلي والتفرعي للعناصر الإلكترونية المستخدمة للوصول إلى التوترات والاستطاعات المطلوبة. لذا يتم استخدامها في التطبيقات ذات التوترات العالية والاستطاعات الكبيرة. يبين هذا البحث مراحل التصميم والتنفيذ لنموذج مخبري لمبدل أحادي الطور سباعي السويات، من النوع المتتالي، وذلك باستخدام برنامج (Matlab/Simulink)، للنمذجة والمحاكاة، إضافة إلى منصة التحصيل والتحكم في الزمن الحقيقي المستقل (dSPACE DS1104 Platform)، وبرنامج التحكم والمراقبة (Control-desk). تم تصميم النموذج الحاسوبي لمبدل سباعي السويات من النوع المتتالي، والمكون من كل من دائرة الاستطاعة ودائرة نبضات القيادة، وسجلت نتائج النمذجة والمحاكاة، ثم تم استخدام دائرة نبضات القيادة الحاسوبية ذاتها من أجل قيادة دائرة الاستطاعة الحقيقية التي تم تنفيذها وتطويرها مع كامل دارات القيادة والعزل اللازمة لتحقيق نموذج تنفيذي مخبري لمبدل أحادي الطور، سباعي السويات من النوع المتتالي، مُقَاد بواسطة منصة التحكم (DSPACE-DS1104)، التي تعمل بالزمن الحقيقي من خلال (معالجات الإشارة الرقمية DSP). وتم تسجيل النتائج العملية ومقارنتها مع نتائج النمذجة الحاسوبية.

**الكلمات المفتاحية:** التحكم في الزمن الحقيقي، برنامج Matlab/Simulink، المعالجات الرقمية DSP، منصة التحكم (DSPACE-DS1104) مع برنامج (Control Desk)، المبدلات الإلكترونية.

<sup>(1)</sup> مدرس في قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

## Single Phase Seven Levels Cascaded inverter Driven in real time using ( DS1104 – Dspace ) platform

Dr. Ziad Al Sakka<sup>(1)</sup>

### Abstract

Multi level inverters can be used to build better voltage wave shape, making use of serial and parallel connection of electronic elements, to reach the needed high voltages and powers.

So they are used in high voltage, and high power applications .

In this paper, a design and implementation for a single phase, seven levels laboratory type cascaded inverter, using (Matlab/Simulink) program for modeling and simulation , and data acquisition and control (DSPACE -DS1104 Platform), with its monitoring and control program (Control-Desk).

A computer model for a single phase seven levels cascaded inverter was designed, consisted of power circuit and drive pulses circuit, and the results of modeling and simulation was recorded,

Then, the same drive pulses circuit was implemented to drive a real power circuit, which was implemented and developed with all needed drive and insulation circuit, to implement a laboratory type, single phase, seven levels cascaded inverter, driven by DS1104 system ,and running in real time through (DSP processors).

The real results were saved ,and compared with simulation results.

**Key words:** Control in real time , Matlab/Simulink program, DSP processors, (DSPACE-DS1104) platform with (Control Desk) program, Electronic Inverters

---

<sup>(1)</sup> Damascus University. Electrical Power Department, Faculty of Mech. & Elec. Engineering,

## 1- المقدمة:

حيث إن مستويات التوتر الثلاثة المتاحة للخروج في هذه الحالة بالنسبة لنقطة الوسط المرجعية هي:

- عندما يعمل كل من الترانزيستورين ( $S_{a1}, S_{a2}$ )، يكون توتر الخرج  $V_{out} = + E_{dc} / 2$ .
- عندما يعمل الترانزيستور ( $S_{a2}$ ) فقط فإن ديود التفريع ( $D_{ap}$ ) يعمل، ويصبح توتر الخرج  $V_{out} = 0$ .
- كما أنه عندما يعمل الترانزيستور ( $S_{a3}$ ) فقط فإن ديود التفريع ( $D_{an}$ ) يعمل ليصبح توتر الخرج في هذه الحالة  $V_{out} = 0$  أيضاً.
- عندما يعمل كل من الترانزيستورين ( $S_{a3}, S_{a4}$ )، يكون توتر الخرج  $V_{out} = - E_{dc} / 2$ .

ويمكن تلخيص ما سبق بالجدول (1) الآتي [4]:

الجدول (1) وضعيات القواطع لأحد الأطوار

رقم الحالة	قطبية الخرج	وضعية توصيل القواطع (الطور A)			
		$S_{a4}$	$S_{a3}$	$S_{a2}$	$S_{a1}$
1	+	OFF	OFF	ON	ON
2	0	OFF	ON	ON	OFF
3	-	ON	ON	OFF	OFF

ومن هذا الجدول يستنتج تتابع النبضات اللازمة لقيادة أحد الأطوار، ومنها يمكن استنتاج نبضات قيادة بقية الأطوار.

## 2- المبدلات المتعددة المثبتة بالمكثف [6]

(Capacitor Clamped Multi-level Inverters):

يعتمد مبدأ العمل لهذا النوع من المبدلات على شحن مكثفة التفريع C إلى قيمة مساوية لنصف توتر المنبع المستمر، ويمكن أن يوصل هذا التوتر على التسلسل مع الطور بحيث يضيف أو ينقص من قيمة توتر الخرج، مما يتيح مرونة أكبر في التحكم، بالإضافة إلى الاستغناء عن مجموعة المكثفات التسلسلية الموصولة مع المنبع والاكتفاء بمكثفة واحدة، الشكل (2). [3].

تتطور مبدلات الطاقة الكهربائية مع تطور التقنيات المختلفة، وتعد المبدلات متعددة السويات (Multi-level inverters) من أهمها نظراً لما لها من تطبيقات عند التوترات العالية والاستطاعات الكبيرة، وذلك بسبب قابليتها لتركيب شكل موجة توتر خرج أفضل، من خلال الاستفادة من التوصيل التسلسلي والتفريعي للعناصر الإلكترونية المستخدمة، من أجل الوصول إلى التوترات والاستطاعات المطلوبة. [1], [3].

ويمكن لهذه المبدلات توليد موجة توتر خرج بشكل درج، مما يجعلها مقاربة لشكل الموجة الجيبية، ومن ثم فإن التوافقية الناتجة عنها ستكون أقل بالمقارنة مع الأنواع الأخرى للمبدلات التقليدية .

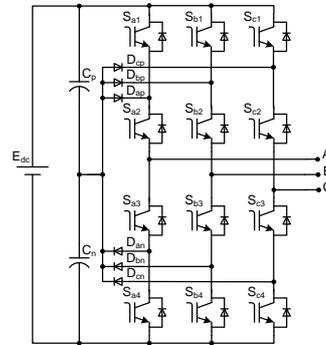
هنالك ثلاثة أنواع من المبدلات متعددة السويات:

### 1-1- المثبتة متعددة السويات المثبتة بالديود [1]:

(Diode Clamped Multi-level Inverters):

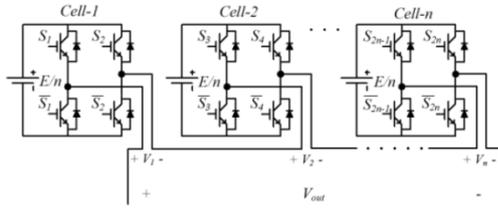
يتم الحصول على السويات المختلفة من خلال ربط مجموعة زوجية من المكثفات بشكل تسلسلي توصل مع منبع التغذية المستمرة . ويمكن زيادة عدد سويات التوتر بزيادة عدد هذه المكثفات، الشكل (1)

ويتم ربط نقطة الوسط لهذه المكثفات إلى مجموعة من الديودات من أجل تثبيت توتر نقطة الصفر خلال تتابع عمل العناصر الإلكترونية. [13]



الشكل (1) المبدل ثلاثي السويات المثبت بالديود

التوتر الناتج هو مجموع التوترات، المختلفة للمبدلات الأحادية كما يبين الشكل (4).



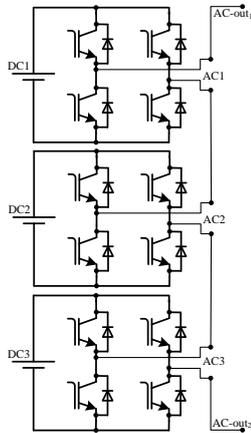
الشكل (4) مبدل متعدد يُغذى من عدة منابع مستمرة

والفرق بين الطريقتين هو أن الطريقة الثانية لا تستخدم محولات، لذا فهي الأسهل للتنفيذ. وسنركز في بحثنا هذا على النمذجة والمحاكاة الحاسوبية لهذا النوع، إضافة إلى التنفيذ العملي.

## 2- النمذجة والمحاكاة للمبدل المتتالي أحادي

### الطور سباعي السويات:

يتكون المبدل المتتالي أحادي الطور سباعي السويات من ثلاث مبدلات مستقلة أحادية الطور مربوطة على التسلسل كما يبين الشكل (5).

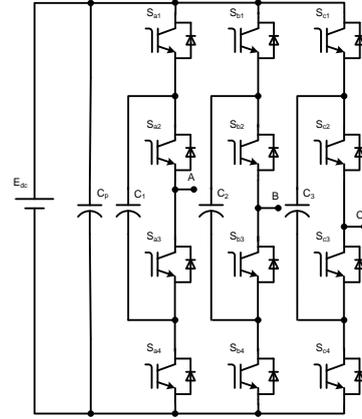


الشكل (5) دائرة الاستطاعة للمبدل سباعي السويات.

### 1-2- نبضات القيادة للمبدل سباعي السويات:

المخطط الصندوقي لمراحل توليد نبضات القيادة

للمبدل سباعي السويات، مبين في الشكل (6). [4],[5].



الشكل (2) مبدل ذو المكثف الطائر ثلاثي السويات

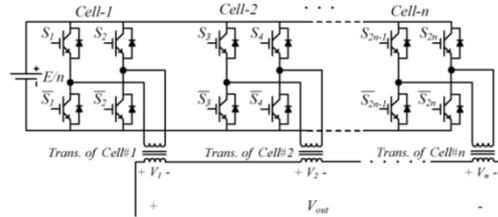
وُدعى أيضاً بالمبدلات المتعددة ذات المكثف الطائر (Flying Capacitor).

### 1-3- المبدلات المتعددة المتتالية [1] و [3]

( Cascaded Multi-level Inverters ):

### 1-3-1- المبدلات ذات المنبع المستمر الوحيد :

عند وجود منبع وحيد للتوتر المستمر يستخدم محول عزل متعدد الملفات أو مجموعة محولات أحادية، يتم جمع التوترات الناتجة في ملف الثانوي لكل محولة من أجل الحصول على التوتر النهائي لخرج المبدل، الشكل (3).



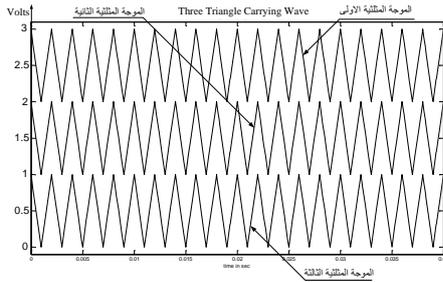
الشكل (3) مبدل متتالي متعدد السويات مع محولة عزل،

وتمتاز هذه الطريقة بالبساطة، وسهولة التحكم للحصول على موجة الخرج المناسبة. ومن سيئات هذه الطريقة أنها تحتاج إلى استخدام محولة لكل سوية.

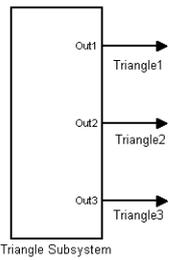
### 1-3-2- المبدلات ذات المنابع المستمرة المتعددة:

يستخدم في هذا النوع مجموعة مبدلات أحادية الطور توصل على التسلسل لتحقيق التوتر المطلوب حيث نحتاج في هذه الطريقة إلى منابع متعددة للتوتر المستمر، ويكون

بعضاً ليصبح المطال الكلي لهذه الموجات الثلاث هو مجموع المطالات الثلاثة للموجات أي (3 فولت)، كما يبين الشكل (8)، والذي تم رسمه بتردد 500Hz من أجل التوضيح توزع الموجات المثلثية المرجعية والتي ستستخدم من أجل المقارنة. [7]، [8].



الشكل (8) الموجات المثلثية عند تردد 500Hz للتوضيح تضغط دارة توليد الموجات المثلثية الموضحة في الشكل (7)، لتصبح مجموعة برمجية جزئية (Subsystem)، كما يبين الشكل (9).



الشكل (9) المجموعة الجزئية لتوليد الموجات الحاملة

2-1-2- توليد الموجة الجيبية المرجعية:

تولد الموجة الجيبية المرجعية من خلال التابع:

$$u(1) * \sin(2 * \pi * u(2) * u(3))$$

-  $u(1)$ : مطال الموجة الجيبية، ويمكن تغييره

باستخدام عنصر التكبير المتغير (slider-gain)

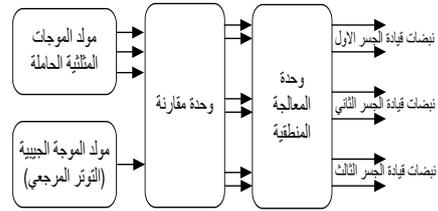
ضمن المجال (0-1) فولت.

-  $u(2)$ : الزمن.

-  $u(3)$ : التردد، ويمكن تغييره باستخدام عنصر

التكبير المتغير (slider-gain) من (5-150) هرتز.

وهذا ما يبينه الشكل (10).



الشكل (6) مراحل توليد نبضات القيادة للجسور الثلاثة

وهذه المراحل تتكون من:

- مولد الموجات المثلثية الحاملة.

- مولد الموجة الجيبية المرجعية.

- وحدة المقارنة

- وحدة المعالجة المنطقية.

وسنبين فيما يأتي تفصيلات كل مرحلة.

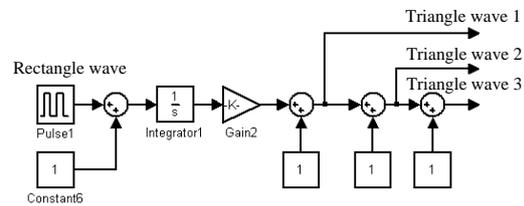
2-1-1- توليد الموجات المثلثية الحاملة:

يستخدم مولد نبضات لتوليد نبضات مربعة بدور يقابل

التردد المطلوب، وعرض نبضة بمقدار 50%.

تكامل الموجة المربعة للحصول على موجة مثلثية

الشكل. كما يبين الشكل (7).



الشكل (7) مراحل توليد ثلاث موجات مثلثية حاملة

تتم إزاحة محاور الإحداثيات وتكبير مطال الإشارة

النتيجة من أجل الحصول على الموجة المثلثية الأولى

بتردد 5KHz، ومطال 1 فولت (من القمة إلى القمة)،

تشكل الموجة المثلثية الحاملة الثانية من خلال إزاحة

الموجة المثلثية الأولى بمقدار (1 فولت) للأعلى، وتزاح

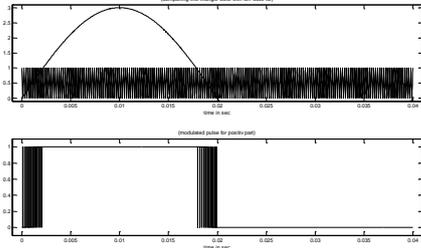
الموجة ثانية للأعلى من أجل تشكيل الموجة المثلثية

الحاملة الثالثة.

لنحصل بالنهاية على ثلاث موجات مثلثية، مطال كل

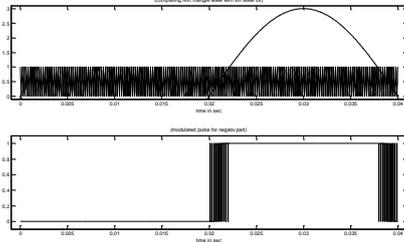
منها (1 فولت) من القمة إلى القمة، وتقع فوق بعضها

ويتم الحصول على النبضات المختلفة بالترتيب الآتي:  
- نبضات القسم الموجب للجسر الأول شكل (16):



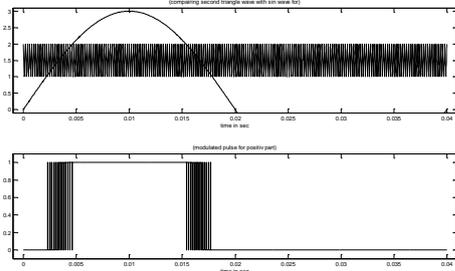
الشكل (16) نبضات القسم الموجب للجسر الأول.

- نبضات القسم السالب للجسر الأول شكل (17):



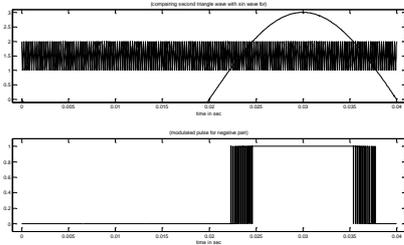
الشكل (17) نبضات القسم السالب للجسر الأول.

- نبضات القسم الموجب للجسر الثاني شكل (18):

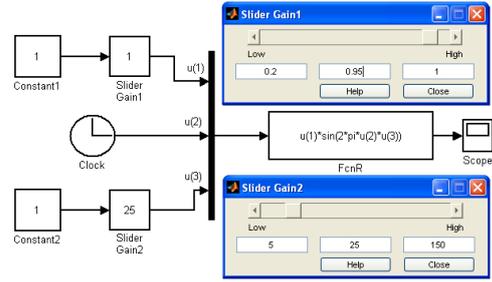


الشكل (18) نبضات القسم الموجب للجسر الثاني.

- نبضات القسم السالب للجسر الثاني شكل (19):



الشكل (19) نبضات القسم السالب للجسر الثاني.

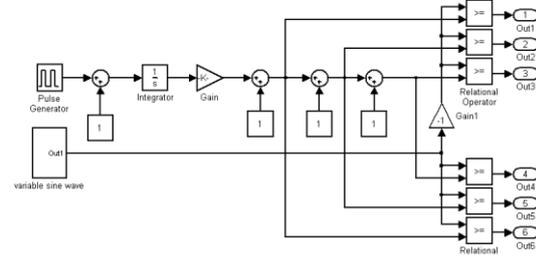


الشكل (10) مراحل توليد الموجة الجيبية.

### 2-1-3 وحدة المقارنة والمعالجة المنطقية:

تُقارَن الأمواج المثلثية الثلاث المولدة سابقاً مع النصف الموجب للموجة المرجعية الجيبية، للحصول على نبضات القيادة للقسم الموجب من كل جسر من الجسور الثلاثة، حسب الترتيب، ثم يعكس النصف السالب للموجة المرجعية ليصبح موجباً، ويُقارن أيضاً مع الموجات المثلثية الثلاث من أجل الحصول على نبضات القيادة للقسم السالب من كل جسر من الجسور وبالترتيب أيضاً.

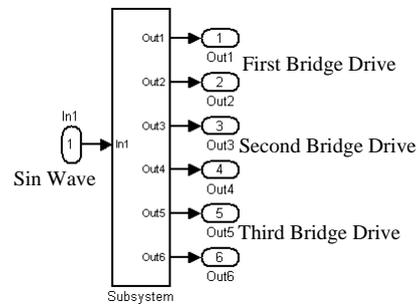
كما يبين الشكل (11).



الشكل (13) وحدة المقارنة والمعالجة المنطقية

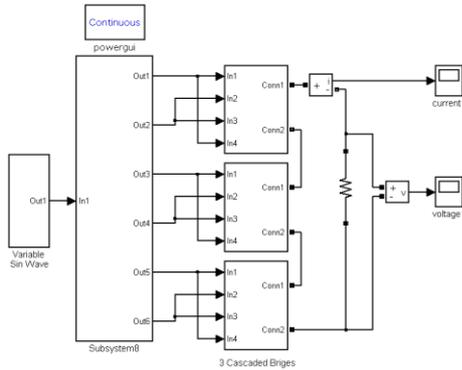
وتختصر دائرة الشكل (13) السابقة إلى المجموعة

الجزئية يوضحها الشكل (14).



الشكل (15) المجموعة الجزئية لدائرة القيادة

يتم تشكيل ثلاثة جسور أحادية توصل تسلسلياً، ويوصل الخرج النهائي إلى الحمل، ثم توصل دائرة توليد نبضات القيادة إلى العناصر المختلفة، مع مراعاة تتابع نبضات القدرح للعناصر، وفقاً للمنطق المذكور أعلاه. ليصبح الشكل النهائي لنموذج المحاكاة الحاسوبية للمبدل المتتالي سباعي السويات (Cascaded Multi-level Inverters)، الشكل (23).

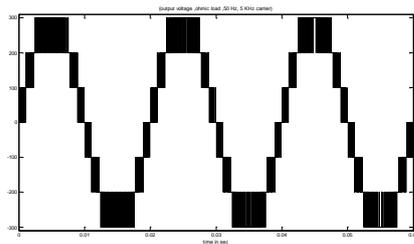


الشكل (23) المخطط النهائي للمبدل سباعي السويات.

### 3- نتائج النمذجة الحاسوبية:

تم تشغيل النموذج الحاسوبي عند ترددات مختلفة، وذلك عند حمل أومي ثابت، وفي هذه الحالة يكون شكل التيار مطابقاً لشكل التوتر.

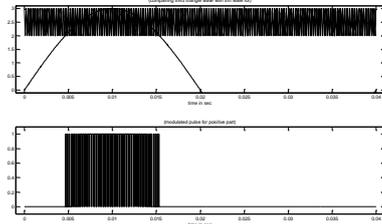
- شكل توتر الخرج عند تردد (50 Hz)، الشكل (24):



الشكل (24) توتر الخرج عند تردد (50 Hz)

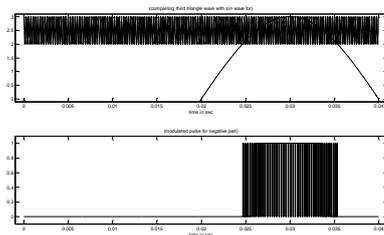
- شكل توتر الخرج عند تردد (25Hz)، الشكل (25):

- نبضات القسم الموجب للجسر الثالث شكل (20):



الشكل (20) نبضات القسم الموجب للجسر الثالث

- نبضات القسم السالب للجسر الثالث شكل (21):



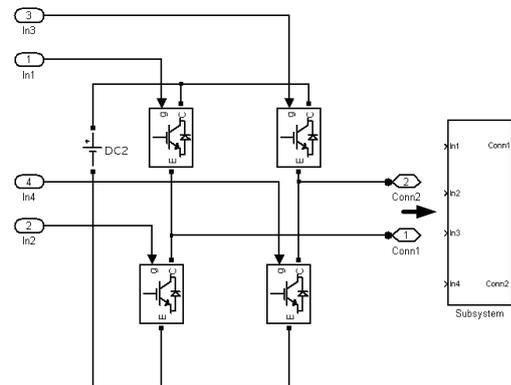
الشكل (21) نبضات القسم السالب للجسر الثالث

### 2-2- دائرة الاستطاعة للمبدل سباعي السويات:

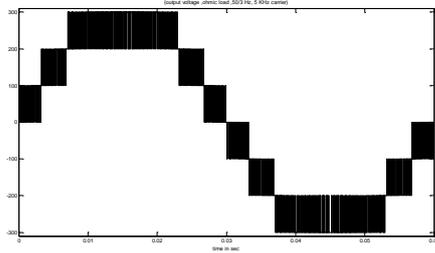
تتكون دائرة الاستطاعة من ثلاث مبدلات أحادية مستقلة توصل على التسلسل.

- جسر المبدل أحادي الطور:

يتكون جسر المبدل أحادي الطور من أربعة ترانزستورات من نوع IGBT، وكل ترانزستورين متقابلين قطرياً يقدحان بنبضة واحدة، ولقد تم اختصاره إلى مجموعة جزئية كما في الشكل (22).



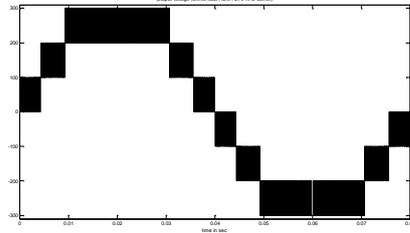
الشكل (22) جسر أحادي الطور ومجموعته الجزئية



الشكل (28) توتر الخرج عند تردد (50/3 Hz)

ولقد تم اختيار هذه القيمة من التردد لأنها تستخدم وبكثرة في أنظمة الجر الكهربائي، وبإستطاعات كبيرة ونشير إلى أن المجال الزمني للشكل هو (60 ms).

- شكل توتر الخرج عند تردد (12.5Hz)، الشكل(29):

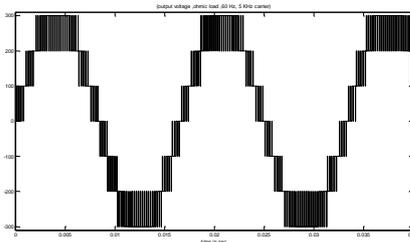


الشكل(29) توتر الخرج عند تردد(12.5 Hz)

ونشير إلى أن المجال الزمني للشكل هو(60 ms).

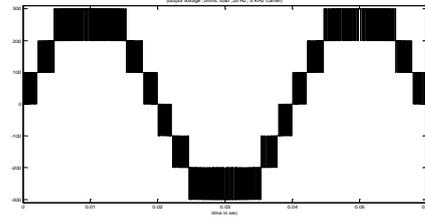
– تشغيل المبدل عند ترددات اكبر من تردد المنبع:  
وتجدر الإشارة إلى إمكانية تشغيل هذا المبدل بترددات أعلى من تردد المنبع ومثال على ذلك:

- التشغيل عند التردد (60Hz) يبينه الشكل(30).



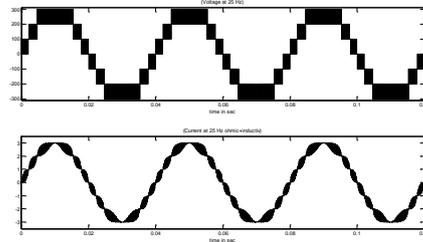
الشكل(30) توتر الخرج عند تردد(60Hz)

- شكل توتر الخرج عند تردد(70Hz)، الشكل(31):



الشكل (25) توتر الخرج عند تردد (25 Hz)

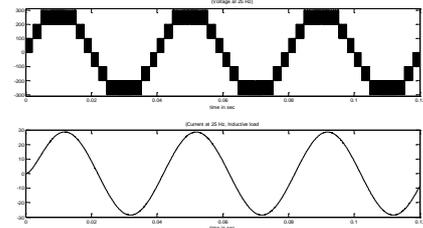
- عند التردد (25Hz)، تم إضافة حمل تحريضي صغير لبيان أثر الحمل التحريضي في شكل التيار الذي بدأ بالتحسن ليقارب الشكل الجيبي، كما يوضح الشكل (26).



الشكل (26) شكلي التوتر والتيار (25 Hz)

(بوجود حمل تحريضي صغير).

- عند التردد (25Hz) أيضاً، تم إضافة حمل تحريضي أكبر قليلاً من الحمل السابق، ونلاحظ كيف تحسن شكل إشارة موجة التيار ليصبح جيبياً وخالياً من التوافقيات، الشكل(27).



الشكل(27) شكلي التوتر والتيار(25 Hz)

(بوجود حمل تحريضي)

ونلاحظ كيف تحسن شكل إشارة موجة التيار ليصبح جيبياً وخالياً من التوافقيات.

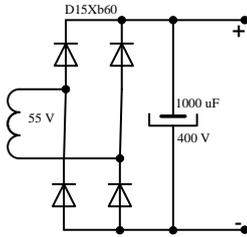
- شكل توتر الخرج عند تردد (50/3Hz)، الشكل(28)

حقيقية، وذلك باتباع مراحل التنفيذ الآتية اعتماداً على المخطط المبين في الشكلين (5) و(23).

5-1- دارة الاستطاعة لجسور التبديل:

5-1-1 وحدات التغذية المساعدة لكل جسر:

تم استخدام ثلاثة مخارج من محولة مخبرية متعددة المخارج، توتر المخرج الواحد بحدود 55 Volts، وتم تقويم كل مخرج باستخدام جسر تقويم أحادي الطور يحمل الرقم (D15Xb60)، تياره 15A وتوتره 600 Volts، وركب كل جسر على مبرد خاص، وتم ترشيح الخرج المقوم باستخدام مكثفة كيميائية (1000uF/400V) لكل مخرج، الشكل(34).



الشكل (34) وحدة التغذية المساعدة للجسر الواحد

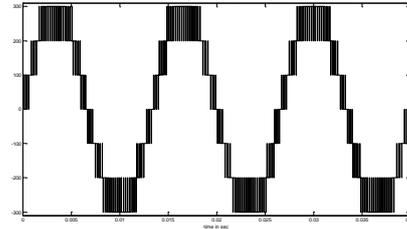
لنحصل بعدها على ثلاثة توترات مستقلة متساوية، قيمة كل منها بحدود (77 Volts)، الشكل(35).



الشكل(35) وحدات التغذية المساعدة المنفذة

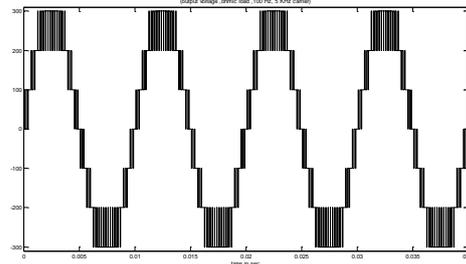
5-2- ترانزيستورات الاستطاعة:

نستخدم في دارة الاستطاعة 12 ترانزيستوراً بتيار اسمي 25 أمبيراً، وتوتر 1200 فولتاً، كل أربعة منها تشكل جسر مبدل أحادي الطور، لتصبح دارة الاستطاعة كاملة لجسر واحد كما في الشكل(36).



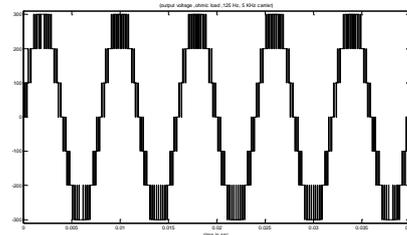
الشكل(31) توتر الخرج عند تردد(75 Hz)

• شكل توتر الخرج عند تردد(100Hz)، الشكل(32):



الشكل(32) توتر الخرج عند تردد(100Hz)

• شكل توتر الخرج عند تردد(125Hz)، الشكل(33):



الشكل(33) توتر الخرج عند تردد(125 Hz).

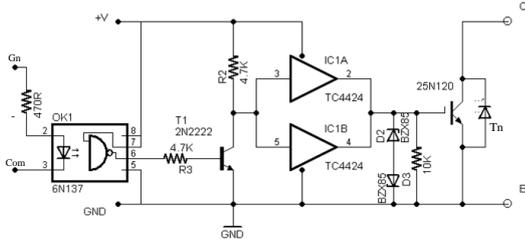
5- تنفيذ مبدل متعدد السويات مُقاد من منصة

التحكم والمراقبة (dSPACE-DS1104):

بعد أن تم إنجاز النمذجة والمحاكاة الحاسوبية للمبدل سباعي السويات من النوع المتتالي، والحصول على أشكال التوتر عند ترددات عمل مختلفة، نستخدم دارة المعالجة ذاتها التي استخدمناها في المحاكاة الحاسوبية، لقيادة مبدل مخبري يعمل في الزمن الحقيقي وتشغيله، بعد أن يتم استبدال العناصر البرمجية لدارة الاستطاعة بعناصر

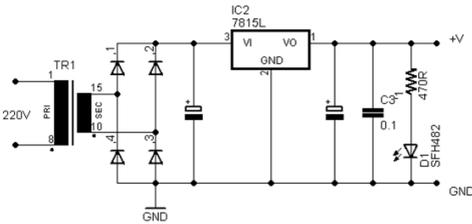
### 5-3- دائرة القيادة لترانزيستورات الاستطاعة:

استخدمت الدارة المبينة في الشكل (38) لقيادة ترانزيستورات الاستطاعة وتم اختبارها بنجاح حتى حدود 40KHz.



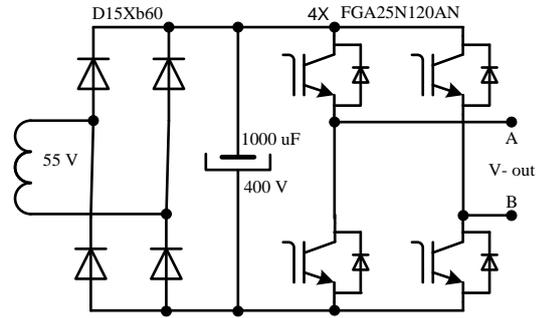
الشكل (38) دائرة القيادة والعزل لترانزيستور الاستطاعة

وكما يبدو من الشكل أعلاه أن المدخل لهذه الدارة يمكن أن يوصل إلى أي مخرج للنبضات بمستوى (5Volts)، سواء من مخرج بوابة معالج Microprocessor port أو متحكم صغري Microcontroller أو كرت توصيل Data-Aquisition. تم تجميع دائرة الشكل أعلاه على دائرة مطبوعة واحدة مضافا إليها وحدة تغذيتها الذاتية، الشكل (39)، ومبرد خاص لترانزيستور الاستطاعة ولقد جمعت هذه الدارات ضمن لوحة نهائية واحدة.



الشكل (39) تغذية دائرة القيادة والعزل

لتشكل مبدلة إلكترونية عامة، تم تطويرها على مراحل من خلال مشاريع تخرج سابقة للوصول إلى لوحة نهائية حالية متعددة الاستخدامات، ومخصصة لمخابر البحث العلمي، وطلاب الدراسات العليا.

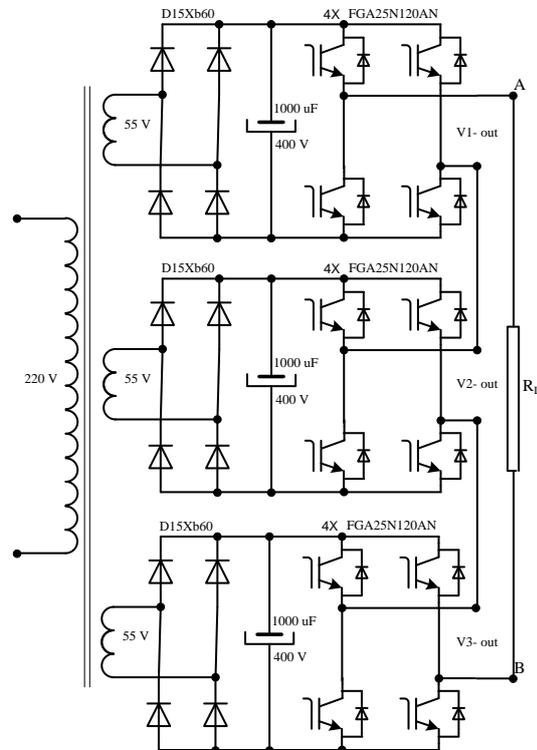


الشكل (36) دائرة الاستطاعة كاملة لجسر واحد

ولقد اخترنا ترانزيستورات نوع IGBT ذات الرقم .FGA25N120AN

### 5-3- دائرة الاستطاعة النهائية للجسور الثلاثة:

توصل الجسور الثلاثة التي تم تنفيذها بشكل تسلسلي مع مراعاة التتابع في التوصيل بحيث يتم جمع التوترات، ويوصل الخرج النهائي للجسور الثلاثة إلى حمل أومي، وذلك من أجل مقارنة الأشكال الحقيقية الناتجة للتوتر مع الأشكال الناتجة عن النمذجة والمحاكاة، الشكل (37).



الشكل (37) دائرة الاستطاعة النهائية للمبدل المنفذ

#### 5-4-1- كرت التحصيل والمعالجة (DS 1104):

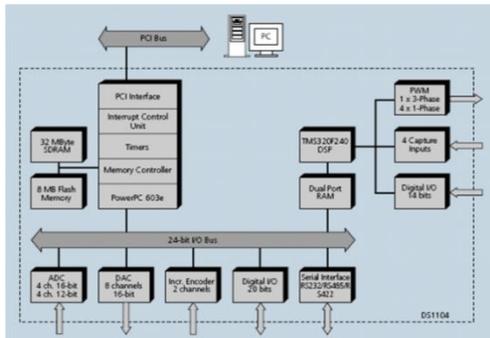
ومخططه الصندوقي موضح في الشكل (41)، والذي يتكون بشكل أساسي من معالجين:

- المعالج الرئيس Word Processor نموذج: PowerPC603e (Motorolla- microprocessor)

- معالج الإشارة الرقمية المساعد نموذج:

Digital Signal Processor (D.S.P.)  
TMS320F240 (DSP Texas Instruments)

وهما يشكلان مع بقية العناصر والذواكر، نظاماً حاسوبياً مستقلاً.



الشكل (41) المخطط الصندوقي لنظام

#### التحصيل والمعالجة DS 1104

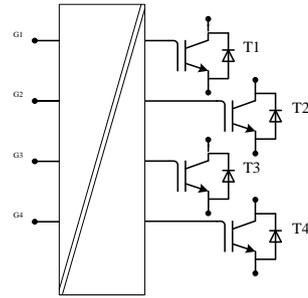
وهو مزود إضافة إلى المداخل والمخارج الرقمية والتمثالية، بعدة وظائف أخرى يمكن التعامل معها مباشرة أو من خلال برنامج (Matlab-Simulink).

وهذا ما يجعلها مناسبة لمختبرات الدراسات العليا ومراكز الأبحاث العلمية.

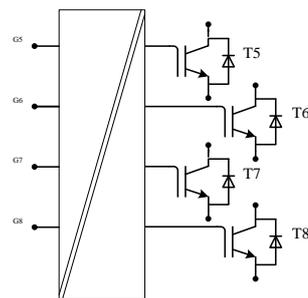
#### 5-4-2- برنامج المراقبة والتحكم Control Desk:

يمكن من خلال هذا البرنامج تشغيل وإيقاف النظام المدروس حسب الحاجة، ووضع لوحات مراقبة وتشغيل لكافة متغيرات النظام، كما يمكن تغيير الثوابت المختلفة من أجل ضبط الأداء أثناء العمل.

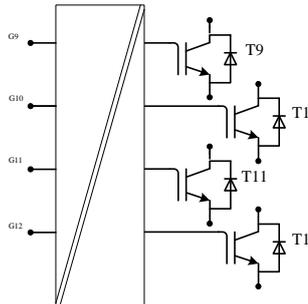
ولقد تم استخدامه لمراقبة كل من التردد والمطال المرجعيين، وتغييرهما، كما يبين الشكل (44).



الشكل (40-a) - عناصر جسر المبدل الأول



الشكل (40-b) - عناصر جسر المبدل الثاني



الشكل (40-c) - عناصر الجسر الثالث

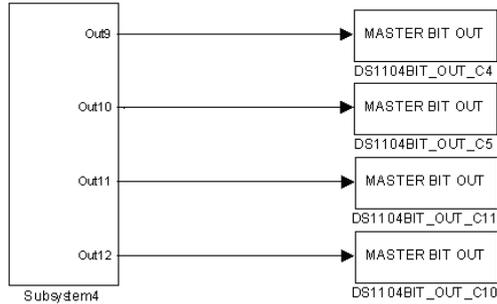
الشكل (40) العناصر المستخدمة في الجسور الثلاثة ويبين الشكل أرقام العناصر وأرقام بواباتها المختلفة.

#### 5-4-3- منصة التحصيل والتحكم في الزمن الحقيقي

(dSPACE DS1104 Platform):

تحتوي هذه المنصة على نظام تحصيل ومعالجة مستقل عن الحاسب المضيف، حيث يتم فيها نقل برنامج النمذجة والمحاكاة للنظام المدروس، من الحاسب المضيف إلى النظام المستقل (DS1104) لمعالجته، في حين يبقى الحاسب متفرغاً لأعمال أخرى مثل المراقبة والقيادة للنظام.

وتتألف هذه المنصة بشكل رئيس من:



الشكل (43-c)-توصيل نبضات قيادة الجسر الثالث

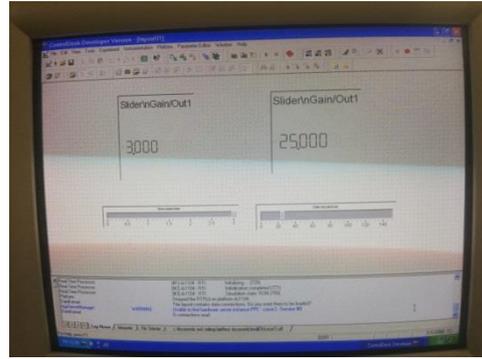
الشكل (43) توصل نبضات القيادة مع المخارج الرقمية  
5-6- مراحل التشغيل:

تم بناء برنامج العمل في الزمن الحقيقي ونقله إلى معالج نظام التحصيل والتحكم، وتم تشغيله للتأكد من صحة مواقع النبضات. بعد التأكد من سلامة النبضات وصحة مواقعها في التوصيل، تم تطبيق التغذية على دارة الاستطاعة، الشكل(45).



الشكل (45) منصة اختبار المبدل كاملة.

وتتم عملية بناء البرنامج في الزمن الحقيقي انطلاقاً من نموذج المحاكاة للنظام التحكم المدروس بصيغة (model.mdl)، حيث يتم تحويله إلى ملف تنفيذي مستقل من خلال تشكيل ملف وسيط خاص للترجمة إلى الزمن الحقيقي Real-Time Workshop File هو الملف (model.rtw)، هذا الملف يساعد على توليد ملف خاص بالنموذج المدروس بلغة C، وذلك بمساعدة من الملفات المؤقتة للنظام (system.tmf) وتدعى (Template make files).  
ثم يحول هذا الملف الناتج إلى ثلاثة ملفات:  
-الأول ملف بلغة C وهو model.c.  
-الثاني ملف ارتباط وهو model.h. يستخدمه

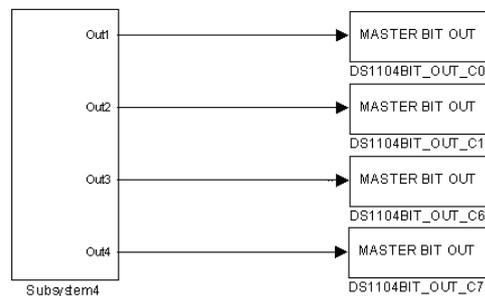


الشكل (44) واجهة برنامج القيادة والتحكم للمبدل

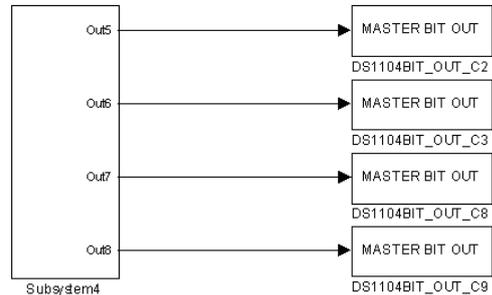
ويمكن من خلال البرنامج بناء واجهات مختلفة من أجل المراقبة والتحكم بنظام العمل أثناء التشغيل في الزمن الحقيقي.

#### 5-5- مراحل التوصيل:

- تم توصيل دارة النبضات المنفذة والمبينة في السابق رقم (23) إلى المخارج الرقمية لنظام DS1104 وذلك وفقاً للشكل (43).



الشكل (43-a)- توصيل نبضات قيادة الجسر الأول

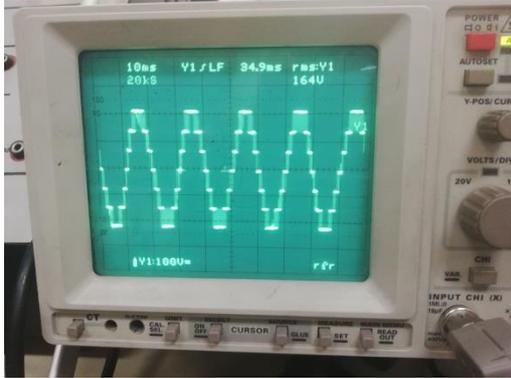


الشكل (43-b)-توصيل نبضات قيادة الجسر الثاني

والنتائج الآتي عند العمل بتردد أقل من تردد المنبع:

5-7-1- العمل عند تردد 50Hz:

شكل التوتر عند تردد (50Hz)، الشكل(48)



الشكل(48) توتر الخرج عند التردد (50Hz)

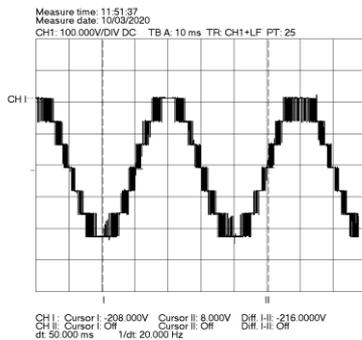
5-7-2- العمل عند تردد 25Hz:

التردد هو نصف تردد منبع التغذية ومن ثم سيهر على الشكل ضعف عدد الدورات. وشكل التوتر عند تردد (25Hz)، يبينه الشكل (49).



الشكل(49) توتر الخرج عند (25Hz) والنقل للحاسب

ويصبح الشكل على الحاسب، الشكل(50).



الشكل(50) توتر الخرج عند (25Hz)

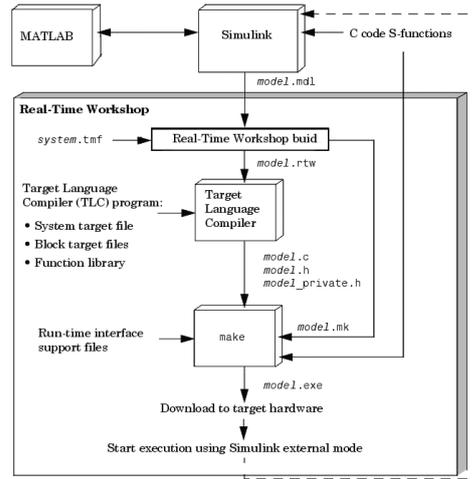
مترجم لغة C

-الثالث ملف ارتباط خاص بالنموذج المدروس

.model\_private.h

والشكل (46) يبين تتابع المراحل المختلفة لبناء برنامج

التنفيذ

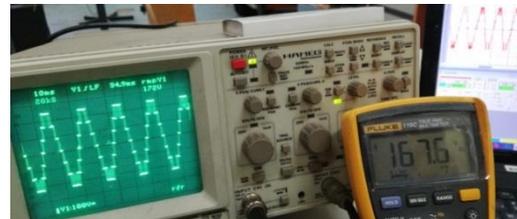


الشكل (126) المراحل المختلفة لبناء البرنامج التنفيذي

في الزمن الحقيقي

5-7- نتائج التشغيل في الزمن الحقيقي:

بعد الانتهاء من بناء النموذج التنفيذي تم التجريب العملي عند حالات عمل مختلفة، وتحصيل النتائج بواسطة راسم إشارة من النوع الرقمي نموذج (HAMEG 1705-3)، ومزود بذاكرة، ومنه نُقلت النتائج إلى الحاسب الالكتروني باستخدام البرنامج المساعد (SP107)، الشكل(47).

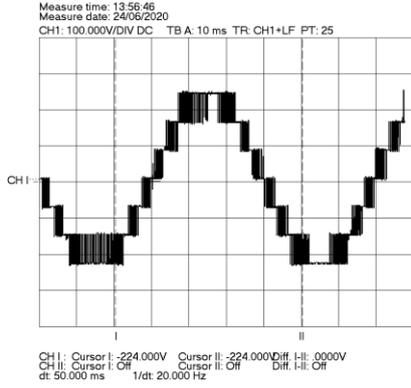


الشكل(47)الراسم المستخدم مع البرنامج المساعد

ولقد تم تشغيل هذا النموذج عند ترددات مختلفة

وذلك عند (تردد حامل 5KHz، ومطال مرجع 3V).

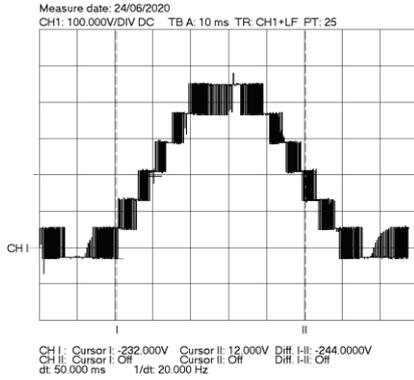
د. زياد السقا. مبدل متتالي سباعي السويات أحادي الطور مُقاد في الزمن الحقيقي باستخدام منصة التحكم (Dspace – DS1104)



الشكل (53) توتر الخرج عند التردد (50/3Hz)

4-7-5 العمل عند تردد 12.5Hz:

والدور بحدود (80 ms). الشكل (54).

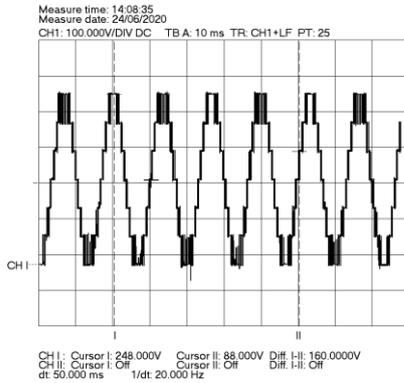


الشكل (54) توتر الخرج عند التردد (12.5Hz)

5-7-5 العمل عند تردد 75Hz:

والدور في هذه الحالة بحدود (13.33ms)، الشكل

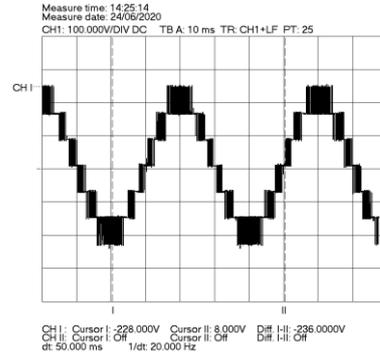
(55).



الشكل (55) توتر الخرج عند التردد (75Hz)

ولقد حاولنا تخفيض غير مطال الموجة المرجعية عند التردد (25 Hz)، إلى عدة قيم فحصنا على الأشكال:

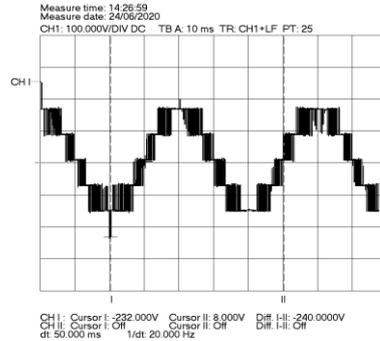
5-7-2-1 مطال المرجع 2.5Volts، ونلاحظ تضيق منطقة عمل الجسر العلوي وانخفاض في قيمة توتر الخرج من (167 Volts) إلى حوالي (160 Volts)، الشكل(51).



الشكل (51) توتر الخرج تردد (25Hz)، مطال 2.5V

5-7-2-2 مطال المرجع 2 Volts، ونلاحظ اختفاء

منطقة عمل الجسر العلوي، وانخفاض قيمة توتر الخرج إلى أقل من (100 Volts)، الشكل(52).



الشكل (52) توتر الخرج تردد (25Hz)، مطال 2V

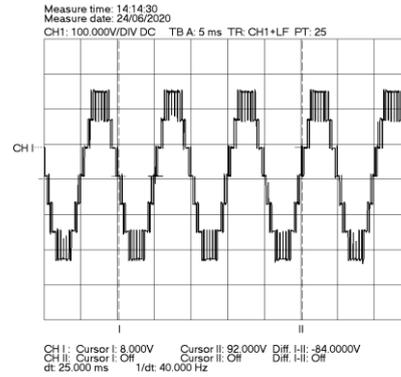
5-7-3 العمل عند تردد 50/3Hz:

شكل التوتر عند تردد (50/3Hz)، وفي هذه الحالة تم

إعادة مطال المرجع إلى قيمة (3V)، الشكل(53).

### 5-7-6- العمل عند تردد (100Hz):

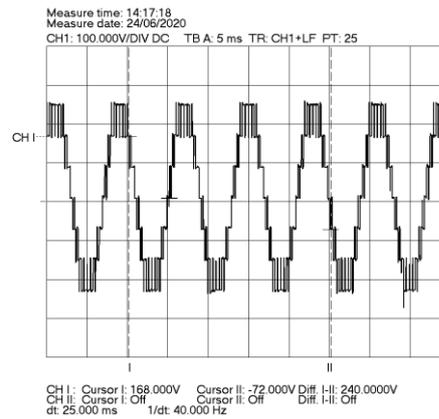
والدور في هذه الحالة بحدود (10 ms)، الشكل (56).



الشكل (56) توتر الخرج عند التردد (100Hz)

### 5-8-7- العمل عند تردد (125Hz):

والدور في هذه الحالة بحدود (8 ms)، الشكل (57).



الشكل (57) توتر الخرج عند التردد (125Hz).

### 6- نتائج البحث:

6-1- تم تنفيذ نموذج حاسوبي لمبدل متتالي أحادي الطور، سباعي المراحل باستخدام المجموعة البرمجية (Matlab-Simulink). وتشغيله، وتسجيل النتائج عند ترددات مختلفة.

6-2- تم تنفيذ نموذج مخبري للمبدل المتتالي أحادي الطور سباعي المراحل مقاد في الزمن الحقيقي، بواسطة منصة التحكم (dSPACE-DS1104)، وتم اختباره وتشغيله وتسجيل النتائج.

6-3- تم تزويد المبدل المنفذ بإمكانية تغيير كل من التردد والمطال للموجة المرجعية من خلال واجهة تحكم ومراقبة خاصة.

6-4- كانت نتائج الاختبارات العملية للمبدل المنفذ قريبة من نتائج النمذجة، مما يشجع على استخدام هذا النظام من أجل الدراسات العليا والتطوير للأنظمة الإلكترونية المختلفة وفي مختبرات الأبحاث.

6-5- تم تجميع دائرة الاستطاعة مع دارات القيادة للترانزيستورات لتشكل (مبدلة عامة) يمكن استخدامها مع منصة التحكم والمراقبة في دراسة معظم تطبيقات إلكترونيات القدرة، وتنفيذها.

- من المهم ذكره أنه يمكن الاستفادة من المبدل العام المنفذ مع منصة التحكم (dSPACE-DS1104) لتنفيذ الكثير من تطبيقات إلكترونيات القدرة، وتشغيلها، والتحكم بها لغرض النواحي البحثية و الدراسات العليا.

## المراجع References

- [9] Hamzah H. H., Ponniran A., Kasiran A. N., Harimon M. A., Gendum D. A., Yatim M. H., "A Single Phase 7-Level Cascade Inverter Topology with Reduced Number of Switches on Resistive Load by Using PWM". IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 995 (2018) 012061.
- [10] Kumari S., Kumar S. Y., "Design and Simulation Of Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter With Statcom For Industrial Pplications", Copy Right, IJAR, 2017.
- [11] Shrivastav A., Sohail A., Pandey R., Sachan Sh., Naimuddin, "Single Phase Seven Level Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter", International Journal of Engineering Science and Computing, April 2017 .
- [12]- Balamurugan C.R., Natarajan S.P., Anandhi T. S., "Single Phase Symmetrical Multilevel Inverter Design For Various Loads". Electrical and Electronics Engineering: An International Journal (ELELIJ) Vol 5, No 2, May 2016 .
- 7— مواقع الإنترنت:
- [13] (Matlab/Simulink Documentations), <http://www.mathwork.com>
- [14] (dSPACE DS1104 research and development controller board documentations and programs)
- |                    |            |                  |
|--------------------|------------|------------------|
| Received           | 2020/07/07 | إيداع البحث      |
| Accepted for Publ. | 2020/08/13 | قبول البحث للنشر |
- [1] Soomro J., Shah F., Soomro S. A., Faheem A. Ch., Ali S., "Comparative Analysis of Modular Multilevel Converter with Cascaded H Bridge Inverter using Five, Seven and Nine levels", International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume-7, Issue-5S4, February 2019.
- [2] Sankarganesh R., Mohan B. K., "Soft Computing Based Harmonic Minimization for Cascade Multilevel Inverter Based On Svpwm Control Strategy". International Journal of Computational Engineering Research (IJCER), ISSN (e): 2250 – 3005 || Volume, 09 || Issue, 6 || June– 2019.
- [3] Matam M. B., Venkata A. K. D., Mallapu V. K., " Analysis and implementation of impedance source based Switched Capacitor Multi-Level Inverter", Engineering Science and Technology, an International Journal 21 (2018) 869–885 .
- [4] Utomo1 W. M., Abu Bakar A., Alias S., Sy Yi S., Muhammad I. S., Mudjanarko S. W., Sukoco A., Yonis M. ,Taufik T., "Modeling of A Single Phase 7-Level Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter". International Journal of Engineering & Technology, 7 (2.6) (2018) 327-330.
- [5] Swaroopan N. M. J. , Magesh T., Vinith A., Yuvaraj N., Naveen C., "Implementation of Single Phase Cascaded Multilevel Inverter with Multi-Carrier PWM Technique Connected to Grid", International Journal of Engineering and Techniques - Volume 4 Issue 2, Mar-Apr 2018.
- [6] Chandran B. P., Selvakumar A. I., Mathew F. M., "Integrating multilevel converters application on renewable energy sources-A survey", JOURNAL OF RENEWABLE AND SUSTAINABLE ENERGY 10, 065502 (2018).
- [7] Shaikh R. R., Rana R., "Microcontroller Based Single-Phase Seven-Level Inverter for PV System", DOI: 10.1109/ICEETS.2016.7583770, ResearchGate, Conference Paper · April 2016.
- [8] Yarlagadda A. K., Eate V. K., Kishore B. Y. S., Chakraborti A., "A Modified Seven Level Cascaded H Bridge Inverter"., 2018 5th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON).