

محاكاة مبدل مصفوفي من أحادي الطور إلى أحادي الطور في الزمن الحقيقي وتشغيله باستخدام كرت التحصيل (PCL1711-ADVANTEC)

د. زياد السقا (1)

الملخص

يعدُّ تحويل أشكال القدرة والتحكم بها من أهم العمليات في مجال الهندسة الكهربائية، ويتم ذلك باستخدام مبدلات مُقادة بعناصر من إلكترونيات القدرة. ولقد تم تطوير العديد من أنواع هذه المبدلات في مجالات التقويم، والتعريج، والمقطعات، ومبدلات التردد، وغيرها. ويمكن للمبدلات المصفوفية (Matrex-Converters) أن تستخدم في كافة التطبيقات المذكورة، دون الحاجة إلى عناصر كبيرة لتخزين القدرة. ومن هذه المبدلات ما يستخدم في قيادة المحركات التحريضية والتزامنية، حيث يعمل هذا المبدل في هذه الحالة على تبديل شكل الاستطاعة المتناوبة للدخل ذات التوتر والتردد معين، إلى استطاعة خرج ذات توتر وتردد مختلف، أكبر أو أصغر أو يساوي تردد الدخل، وذلك بشكل مباشر وبمرحلة واحدة.

في هذا البحث تم اختيار تطبيق مبدل التردد المصفوفي من أحادي الطور إلى أحادي الطور، حيث بُدئ بمحاكاة هذا المبدل باستخدام المجموعة البرمجية (Matlab/Simulink)، واختباره عند حالات عمل مختلفة وسُجّلت النتائج، ثم نُفِّذ المبدل مخبرياً باستخدام عناصر ترانزستورية حقيقية من نوع IGBT، مع دارات القيادة اللازمة لها، واستُخدمت لقيادته في الزمن الحقيقي دائرة القيادة ذاتها المستخدمة في المحاكاة، وذلك بمساعدة كرت تحصيل من النموذج (PCL1711) وبرنامج (Matlab/Simulink)، ولقد أُجريت مجموعة اختبارات على الأداء العملي للمبدل المنفذ، مثل تغيير تردد الخرج وتوتره. وتمت مقارنة النتائج الحقيقية مع نتائج المحاكاة وكانت متماثلة.

الكلمات المفتاحية: المبدل المصفوفي، قيادة محرك تحريضي، التحكم في الزمن الحقيقي، Matlab/Simulink.

(1) أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

Simulation and Implementation a Single Phase Matrix-Converter to Single Phase In Real Time using DAQ (PCL1711 – ADVANTEC)

Dr. Ziad Al Sakka ⁽¹⁾

Abstract

The most important processes in electrical engineering is the transformation and control of energy. This job is done by power electronic controlled converters. Good numbers of converter families have been developed such as rectifiers, inverters, choppers, cycloconverters etc .[1].

The Matrix Converters (MCs) can be used in all above mentioned applications, without the need to large energy storage elements, Some of them are used in driving induction and synchronous motors ,it converts the type of alternating power of the input with certain voltage and frequency, to an output power with a different Voltage and frequency directly, and in a single stage.[2]

In this paper, a single phase to single phase Matrex-Converter was designed and simulated, and tested in different cases, then it was implemented using real IGBT transistor with their drive circuit, and the same drive circuit of the simulation was used to control the real time simulation using data acquisition card (DAS) type (PCL1711), and (Matlab/Simulink).

Many tests were made for the performance of the executed Matrex -converter, like changing the output frequency and voltage, The real results were compared with the simulated ones, they were similar, and a single phase induction motor at a lower speed was tested.

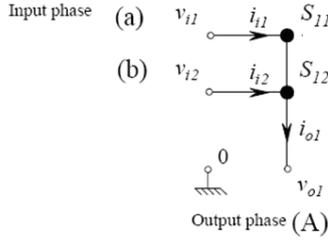
Key words: matrix converter, Induction motor drive, real time Control , Matlab/Simulink

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

المبدلات المصفوفية:

يبين الشكل (4) مخططاً رمزياً لمبدل من ثنائي الطور

إلى أحادي الطور ، ويستخدم فيه قاطعان ثنائياً بالاتجاه.



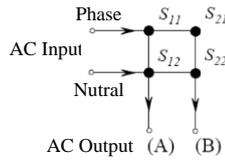
الشكل (4) مخطط رمزي لمبدل مصفوفي من ثنائي إلى

أحادي الطور [2].

1-4- مبدل من أحادي الطور إلى أحادي الطور:

يبين الشكل (5) مخططاً رمزياً لمبدل مصفوفي من

أحادي الطور إلى أحادي الطور، ويستخدم فيه أربعة قواطع ثنائية الاتجاه .

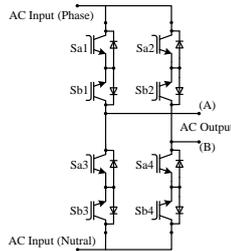


الشكل (5) مخطط رمزي لمبدل مصفوفي من أحادي إلى

أحادي [4].

كما يبين الشكل (6) الدارة الكاملة لمبدل مصفوفي من

أحادي الطور إلى أحادي الطور، وهو النموذج الذي تم اعتماده في هذا البحث.



الشكل (6) مخطط كامل لمبدل مصفوفي من أحادي إلى

أحادي [4].

2- القواطع الإلكترونية ثنائية الاتجاه :

تعد المبدلات المصفوفية من أنواع مبدلات التردد ذات التبديل القسري، حيث تستخدم قواطع إلكترونية ثنائية الاتجاه للحصول على تبديل مباشر دون وساطة رابط التوتّر المستمر (DC-Link) [2], [3].

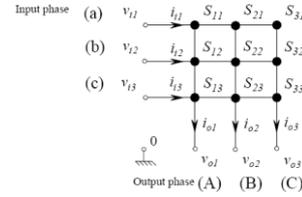
1- أشكال المبدلات المصفوفية :

تقسم إلى عدة أنواع حسب عدد أطوار الدخل والخرج [3]:

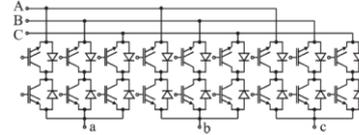
1-1- مبدل من ثلاثي الطور إلى ثلاثي الطور:

يبين الشكل (1) مخططاً رمزياً لمبدل من ثلاثي الطور

إلى ثلاثي الطور، حيث تعبر فيه كل نقطة تقاطع عن قاطع إلكتروني ترانزستوري ثنائي الاتجاه [1]. ويستخدم فيه تسعة قواطع ثنائية الاتجاه.



الشكل (1) مخطط رمزي لمبدل مصفوفي من ثلاثي إلى ثلاثي

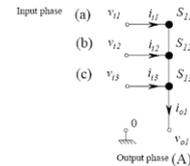


الشكل (2) مخطط مبدل مصفوفي من ثلاثي إلى ثلاثي.

1-2- مبدل من ثلاثي إلى أحادي:

يبين الشكل (3) مخططاً رمزياً لمبدل من ثلاثي الطور

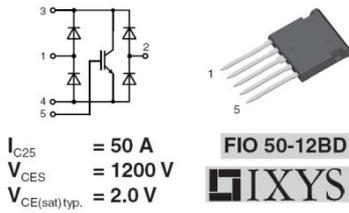
إلى أحادي الطور، ويستخدم ثلاثة قواطع ثنائية الاتجاه [2].



الشكل (3) مخطط رمزي لمبدل مصفوفي من ثلاثي إلى أحادي

1-3- مبدل من ثنائي الطور إلى أحادي الطور:

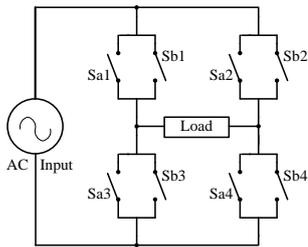
د. زياد السقا. محاكاة مبدل مصفوفي من أحادي الطور إلى أحادي الطور في الزمن الحقيقي.....



الشكل (9) قاطع ثنائي الاتجاه بترانزيستور وحيد.

3- تتابع العمل في المبدل الأحادي/أحادي:

بفرض لدينا جسر المبدل الموضح بالشكل (10).

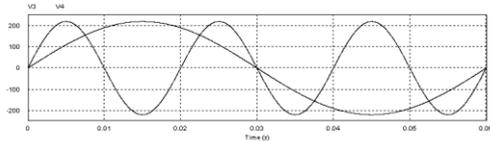


الشكل (10) الجسر الكامل لمبدل مصفوفي

ومن أجل الحصول على تردد خرج 25Hz:

لدينا أربع فترات زمنية تعمل فيها القواطع مع التعديل

الجيبى لعرض النبضة الشكل (11):



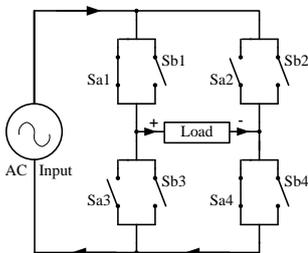
الشكل (11) شكل التردد 50Hz و 25Hz يبين فترات

العمل المختلفة للعناصر

حيث:

- الفترة الأولى: يعمل فيها القاطعان (Sa1, Sa4).

ويوضحها الشكل (12).

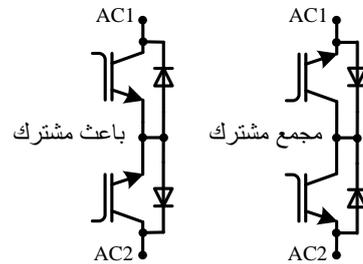


الشكل (12) القسم الأول من نصف الموجة الموجب

- الفترة الثانية: يعمل فيها القاطعان (Sb3, Sb2).

تشكل القواطع الإلكترونية ثنائية الاتجاه من وصل ترانزيستورين من نوع IGBT (مع كل منهما ديود عكسي تفرعي مدمج)، بشكل تسلسلي متعاكس ويكون الوصل [3]:
 - الطريقة الأولى: طريقة الباعث المشترك، وتمتاز أنها تحتاج لتغذية واحدة مشتركة من أجل قيادة كلا الترانزيستورين من وحدة تغذية مستقلة.

- الطريقة الثانية: طريقة المجمع المشترك، وتمتاز أنها تسمح بتركيب الترانزيستورين على مبرد واحد دون الحاجة إلى العزل. الشكل (7).

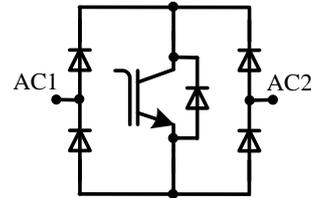


الشكل (7) توصيل ترانزيستورين على التسلسل.

- الطريقة الثالثة: طريقة جسر الديودات الأحادية

وترانزيستور وحيد الشكل (8)، حيث يسمح بمرور

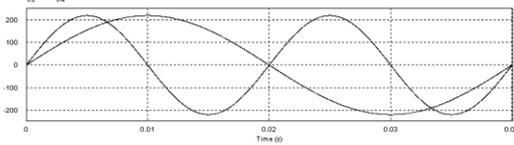
التيار بالاتجاهين [4].



الشكل (8) قاطع ثنائي الاتجاه باستخدام ترانزيستور وحيد.

وتجدر الإشارة إلى أن الشركات المنتجة للعناصر الإلكترونية أخذت تنتج عناصر خاصة لتخدم هذا النوع من المبدلات بكافة أنواعه، ونذكر أحد هذه العناصر التي تخدم المبدل المصفوفي والمكونة من ترانزيستور وحيد وجسر ديودات أحادي الطور من شركة IXYS ويحمل الرقم (FIO 50-12BD)، ويحمل المواصفات الموضحة في الشكل (9) [12].

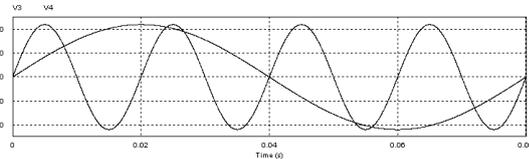
أما من أجل الحصول على تردد خرج $50/3\text{Hz}$ ،
فلدينا ست فترات زمنية تعمل فيها القواطع، ثلاثة منها
للقسم الموجب، وثلاثة أخرى للقسم السالب من موجة
الخرج مع التعديل الجيبي لعرض النبضة، الشكل (16):
يبين فترات العمل المختلفة للعناصر:



الشكل (16) شكل التردد 50Hz و $50/3\text{Hz}$
ويخلص الجدول الآتي فترات العمل عند تردد $50/3\text{Hz}$:
جدول فترات عمل العناصر عند تردد خرج $50/3\text{Hz}$

Out($50/3$ Hz)	Positive part			Negative part		
	Time(m.s)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
Sa1	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
Sb1	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON
Sa2	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
Sb2	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
Sa3	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
Sb3	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
Sa4	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
Sb4	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON

أما من أجل الحصول على تردد خرج 12.5Hz ،
فلدينا ثماني فترات زمنية تعمل فيها القواطع، أربعة منها
للقسم الموجب، وأربعة أخرى للقسم السالب من موجة
الخرج مع التعديل الجيبي لعرض لنبضة، الشكل (17)
يبين فترات العمل المختلفة للعناصر:



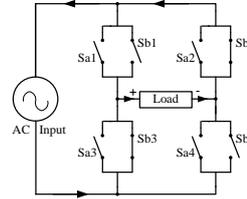
الشكل (17) شكل التردد 50Hz و 12.5Hz

وهذا ما يبينه الجدول الآتي [5]

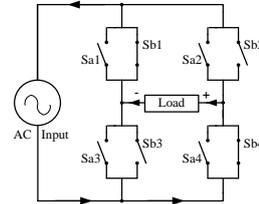
جدول فترات عمل العناصر عند تردد خرج 12.5Hz

Out(12.5Hz)	Positive part				Negative part				
	T(m.s)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80

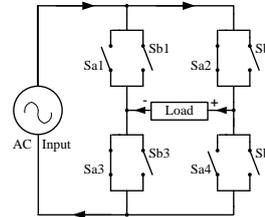
ويوضحها الشكل (13) .



الشكل (13) القسم الثاني من نصف الموجة الموجب
- الفترة الثالثة: يعمل فيها القاطعان (Sb4,Sb1).
ويوضحها الشكل (14) .



الشكل (14) القسم الأول من نصف الموجة السالب
- الفترة الرابعة: يعمل فيها القاطعان (Sa2,Sa3).
ويوضحها الشكل (15) .



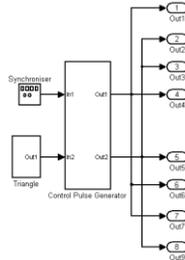
الشكل (15) القسم الثاني من نصف الموجة السالب
ويخلص الجدول الآتي فترات العمل المختلفة للعناصر
عند تردد خرج 25Hz

جدول فترات عمل العناصر عند تردد خرج 25Hz

Out(25Hz)	Positive part			Negative part
	Time(m.s)	0-10	10-20	20-30
Sa1	ON	OFF	OFF	OFF
Sb1	OFF	OFF	ON	OFF
Sa2	OFF	OFF	OFF	ON
Sb2	OFF	ON	OFF	OFF
Sa3	OFF	OFF	OFF	ON
Sb3	OFF	ON	OFF	OFF
Sa4	ON	OFF	OFF	OFF
Sb4	OFF	OFF	ON	OFF

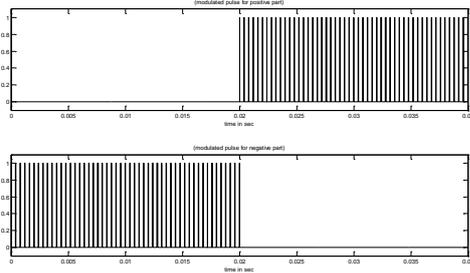
د. زياد السقا. محاكاة مبدل مصفوفي من أحادي الطور إلى أحادي الطور في الزمن الحقيقي.....

Generator subsystem) ويوزع المخرجان إلى ثمانية مخارج توصل إلى بوابات الترانزيستورات الثمانية وبالترتيب المناسب كما تبين الدارة في الشكل (20).



الشكل (20) الدارة النهائية الكاملة لتوليد النبضات

ويبين الشكل (21) نبضتي القيادة لكل من الجزء الموجب والجزء السالب للموجة المرجعية المطلوبة لتردد خرج المبدل) حالة 25Hz، وتردد الموجة المثلية الحاملة 2.5KHz، ومطال الموجة الجيبية المرجعية (0.95V).

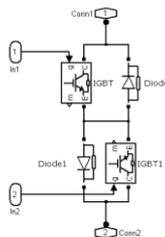


الشكل (21) شكل نبضتي القيادة لتردد خرج 25Hz (التردد الحامل 2.5KHz والمطال 0.95V).

3-4- دارة الاستطاعة للمبدل أحادي الطور:

يُشكّل قاطع إلكتروني ثنائي الاتجاه باستخدام

ترانزيستورين وديودين كما يبين الشكل (22):



الشكل (22) قاطع إلكتروني ثنائي الاتجاه

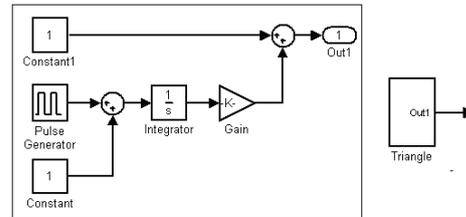
Sa1	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
Sb1	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
Sa2	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
Sb2	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
Sa3	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
Sb3	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
Sa4	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
Sb4	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF

4- المحاكاة الحاسوبية :

تم تنفيذ المحاكاة وفقاً للمراحل الآتية:

4-1- توليد الموجة المثلية (Triangle-wave):

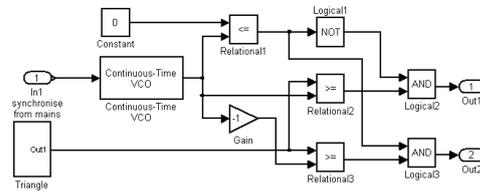
تولد الموجة المثلية من تكامل موجة مربعة، ثم يتم ضبط المطال الأعظمي إلى +1 فولت ليتم ضغطها إلى مجموعة جزئية (subsystem)، سميت (Triangle) كما تبين الدارة في الشكل (18).



الشكل (18) مراحل توليد الموجة المثلية

4-2- توليد نبضات القيادة:

تولد لموجة الجيبية المرجعية بالتردد والمطال المطلوبين من مولد تردد مقاد بالتوتر (Voltage Controlled Oscillator) تتم مزامنته مع تردد الشبكة من خلال مدخل التحكم لخارجي لمولد النبضات بحقق صورة عن تردد الشبكة بمطال مصغر، كما يبين الشكل (19).

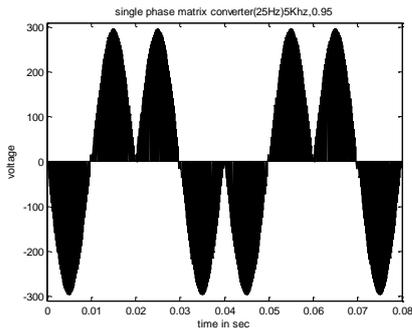


الشكل (19) توليد نبضات القيادة للجسر

تعالج الإشارة المرجعية الناتجة من أجل الحصول في الخرج على نبضتين متتاليتين بينهما 180 درجة معدلتان نبضياً بتردد الموجة المرجعية المطلوبة. تم ضغط الدارة السابقة إلى مجموعة جزئية (Control Pulse

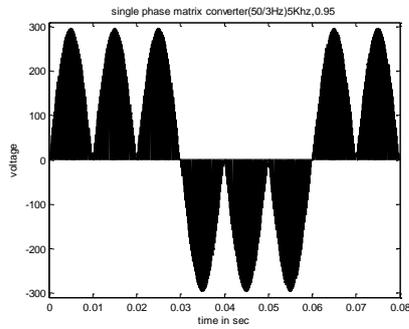
5- نتائج المحاكاة:

تم اختبار نموذج المحاكاة في حالات عمل مختلفة عند تردد حامل 5KHz, ومطال مرجع 0.95Volts: 5-1- العمل عند تردد أقل من تردد المنبع (25Hz) ونلاحظ أنّ شكل التوتر يحتوي على قمتين خلال كل نصف دور الشكل (26).



الشكل (26) التوتر عند تردد 25Hz

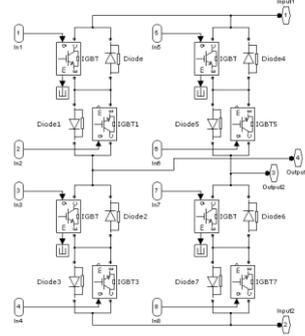
5-2- العمل عند تردد أقل من تردد المنبع (50/3Hz) ونلاحظ أنّ شكل التوتر يحتوي على ثلاثة قمم خلال كل نصف دور الشكل (27).



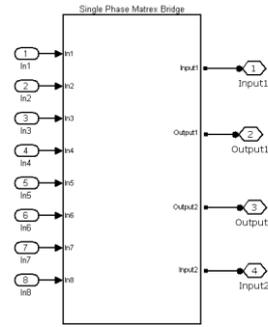
الشكل (27) التوتر عند تردد 50/3Hz

5-3- العمل عند تردد أقل من تردد المنبع (12.5Hz) ونلاحظ أنّ شكل التوتر يحتوي على أربعة قمم خلال كل نصف دور الشكل (28).

ويُشكّل جسر المبدل المصفوفي المطلوب من أربعة قواطع ثنائية الاتجاه كما يبين الشكل (23).

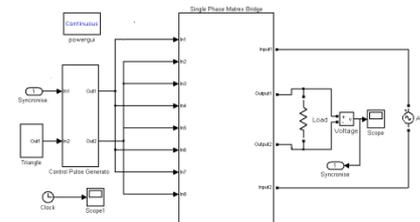


الشكل (23) شكل دارة الاستطاعة للمبدل المصفوفي أحادي الطور (Single Phase Matrix Converter) ويتم ضغط الجسر السابق إلى مجموعة جزئية (Single Phase Matrix Bridge subsystem) كما يبين الشكل (24).



الشكل (24) دارة الاستطاعة بشكل مجموعة جزئية من أجل تسهيل عملية الانتقال إلى النمذجة في الزمن الحقيقي للمبدل.

وتصبح الدارة الكاملة للمبدل المصفوفي أحادي الطور كما في الشكل (25).

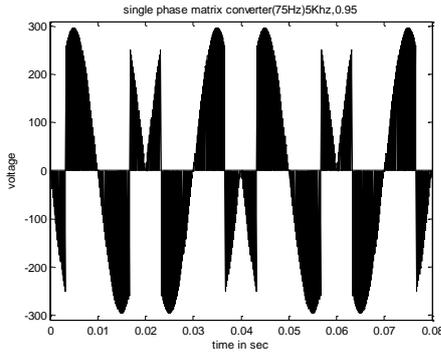


الشكل (25) الشكل النهائي لنموذج المبدل المصفوفي

د. زياد السقا. محاكاة مبدل مصفوفي من أحادي الطور إلى أحادي الطور في الزمن الحقيقي.....

5-6- العمل عند تردد (75Hz):

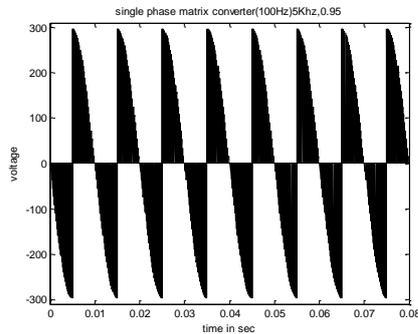
في هذا الشكل تمت إضافة إزاحة مبدئية على الإشارة المرجعية للحصول على شكل توتر خرج متناظر، الشكل (31).



الشكل (31) التوتر عند تردد 75Hz

5-7- العمل عند تردد المنبع (100Hz):

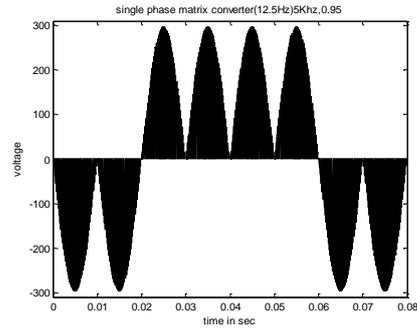
ولأنه من المضاعفات الصحيحة لتردد المنبع نحصل في الخرج على شكل متناظر، الشكل (32).



الشكل (32) التوتر عند تردد 100Hz

6- المحاكاة في الزمن الحقيقي [6]:

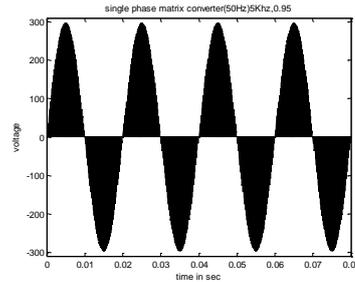
تفيد النمذجة الرياضية والمحاكاة الحاسوبية لأي نظام، في دراسة هذا النظام وتصميمه، والتأكد من أدائه، وتسجيل النتائج المختلفة للمحاكاة، وهي تعطينا فقط مؤشراً مبدئياً عن أداء هذا النظام، إلا أنها لا تعطي أي مدلول عن الأداء الفيزيائي المتكامل لهذا النظام عند تنفيذه على الواقع، إضافة إلى أنه عندما تبدأ عملية تصنيع النموذج الفيزيائي الأولي لهذا النظام (prototype)، من المهم معرفة الأزمنة الحقيقية التي يتعامل فيها النظام مع المحيط



الشكل (28) التوتر عند تردد 12.5Hz

5-4- العمل عند تردد مساو لتردد المنبع (50Hz)

ونلاحظ أن شكل التوتر يحتوي على قمة واحدة خلال كل نصف دور بحيث يتطابق مع تردد المنبع، ويمكن التحكم بقيمة التوتر من خلال تغير مطال التوتر المرجعي، الشكل (29).

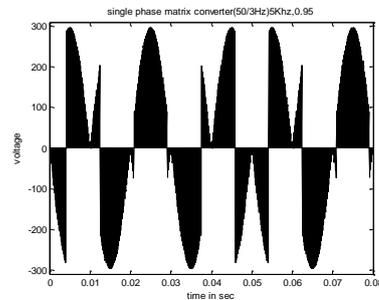


الشكل (29) التوتر عند تردد 50Hz

5-5- العمل عند تردد أكبر من تردد

المنبع (60Hz):

ونلاحظ عند كل نصف دور من توتر الخرج يظهر أجزاء من موجة توتر المنبع تتتابع لتشكيل موجة توتر الخرج بالتردد المطلوب، ويمكن تغيير الشكل بإزاحة مبدئية للتوتر المرجعي، الشكل (30).



الشكل (30) التوتر عند تردد 60Hz

إضافة إلى الكلفة المادية. وسنذكر فيما يأتي وبالتفصيل المبدأ الأساسي للطرائق المختلفة والتي قمنا باختبار أدائها من أجل الوصول إلى الطريقة المناسبة لقيادة نظام التحكم وتشغيله في المبدل المصنوعي أحادي الطور إلى أحادي الطور (Single Phase to Single Phase Matrex).

ظهرت المحاكاة في الزمن الحقيقي في برنامج Matlab، (الإصدارات حتى 6.5) بشكل مجموعة برمجية تعمل تحت بيئة نظام التشغيل (Dos Real - Time) Target، وكانت تدعم كرت تحصيل وحيد هو DAS1601، وهو من صنع شركة (Keithley Metra Byte)، وقد تم إجراء اختبارات عديدة على هذا النظام، والذي لم يعد موجوداً في الإصدارات الأحدث.

ثم قامت الشركة بإصدار مجموعة برمجية أخرى للمحاكاة في الزمن الحقيقي تعمل تحت بيئة نظام النوافذ (Windows)، وهي المجموعة البرمجية (Real-Time Windows Target)، والتي تدعم العديد من أنظمة التحصيل المختلفة، والتي هي من إنتاج شركات متعددة. وهذه الطريقة التي اعتمدها في إنجاز هذا البحث.

ثم ظهرت طريقة محاكاة الزمن الحقيقي المستقل (Real Time Interface)، تعتمد هذه الطريقة على أنظمة مستقلة مزودة بمعالجين رئيسيين المعالج الأول هو معالج كلمات (Word Processor)، والمعالج الثاني هو معالج إشارة رقمية (Digital Signal Processor).

1-6- محاكاة الزمن الحقيقي في بيئة النوافذ

Real Time Windows Target

العمل في الزمن الحقيقي في بيئة النوافذ (Windows) هو الحل المناسب لنمذجة ومحاكاة واختبار الكثير من أنظمة التحكم، ففي هذه الطريقة يستخدم حاسب وحيد كمضيف وهدف بأنه واحد.

إذ إنه يتم استخدام الحاسب الشخصي مع بيئة (MATLAB\ Simulink)، لتشكيل نماذج حاسوبية من

الخارجي. إذ إنه غالباً ما تكون الأزمنة التي تتم فيها عملية المحاكاة أكبر بكثير من زمن الفترة المدروسة، فقد يمتد زمن التنفيذ لمحاكاة فترة مدتها أقل من ثانية، مدة تتجاوز عدة دقائق، كما أن الزمن اللازم لتنفيذ المحاكاة غالباً ما يكون أكبر بكثير من الزمن الحقيقي لأداء النظام، وهنا ظهرت الحاجة إلى المحاكاة في الزمن الحقيقي، وبدأت الشركات المصنعة لأنظمة التحصيل الإلكترونية بتزويد منتجاتها ببرامج إضافية خاصة تدعم البرامج المختلفة للنمذجة والمحاكاة من أجل تحقيق العمل في الزمن الحقيقي للنماذج المدروسة.

ومن أهم البرامج المستخدمة في النمذجة والمحاكاة (EASY5, SIMULINK, System - Build)، اخترنا العمل على برنامج Simulink الذي يشكل قسم المحاكاة من برنامج الـ Matlab. لدى القيام بنمذجة نظام تحكم ما من أجل دراسة أدائه، يقوم برنامج Matlab بتخزين هذا النموذج ضمن ملف خاص لاحقته .mdl. ونختار الاسم له وليكن model، ويصبح اسم الملف كاملاً model.mdl، ويمكن استدعاء هذا الملف من أجل تنفيذ المحاكاة.

ومن أجل الانتقال من النمذجة إلى المحاكاة في الزمن الحقيقي، يستخدم نظام تحصيل معلومات (Data Acquisition System)، ويتم ربط النموذج الخاص بنظام التحكم المدروس مع العالم الخارجي من خلال نظام التحصيل، فتوصل الإشارات الخارجية والتي قد تنتج عن لواقط أو حساسات أو مبدلات قياس، إلى المداخل التمثيلية لنظام التحصيل وذلك بعد المعالجة وإجراء التعديلات المناسبة عليها لتلائم هذه المداخل. وتوصل المخارج التمثيلية إلى المشغلات (Actuators)، أو إلى دارات القيادة للتجهيزات الخارجية المتعلقة بنظام التحكم.

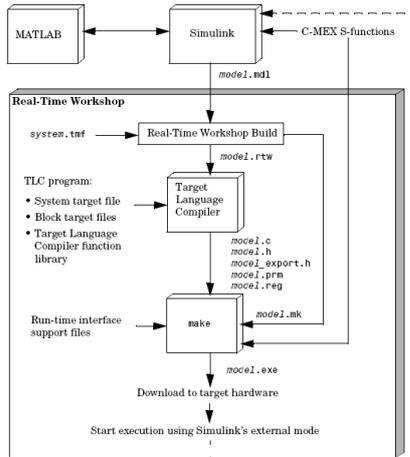
وتجدر الإشارة إلى وجود طرق عديدة لتحقيق المحاكاة في الزمن الحقيقي، تختلف من حيث البنية، وبيئة العمل،

د. زياد السقا. محاكاة مبدل مصفوفي من أحادي الطور إلى أحادي الطور في الزمن الحقيقي.....

يبدأ العمل من أجل تحويل ملف نموذج النظام المدرس model.mdl إلى ملف تنفيذي مستقل، بتشكيل ملف وسيط Real - Time Workshop File هو model.rtw، هذا الملف يساعد على توليد ملف النموذج المدرس بلغة C، وذلك بمساعدة ملفات النظام Template make files وهي من نوع system.tmf، وموجودة في إحدى مكتبات "ورشة عمل الزمن الحقيقي". ثم يحول هذا الملف الناتج إلى ثلاثة ملفات:

- ملف بلغة C، model.c.
- ملف ارتباط مع مترجم لغة C، model.h.
- ملف ارتباط خاص بالنموذج المدرس model_private.h.

ويبين الشكل (33) المخطط الصندوقي لمراحل بناء البرنامج حتى الوصول إلى الملف التنفيذي .



الشكل (33) مراحل بناء البرنامج التنفيذي

يجب أن يتم اختيار طريقة الحل الرياضي ذي الخطوة الثابتة Fixed Step Solver، وضبط زمن المحاكاة إلى اللانهاية (inf). حتى يكون ملف النموذج الخاص بالنظام المدرس model.mdl قابلاً للعمل في الزمن الحقيقي. ومن التطبيقات الأساسية لمحاكاة الزمن الحقيقي في بيئة النوافذ:

خلال عناصر Simulink، ثم إجراء المحاكاة في النمط الطبيعي للبرنامج Normal Mode. ويمكننا توليد برنامجاً تنفيذياً خاصاً لنموذج هذا النظام باستخدام المجموعة البرمجية ضمن Simulink، وتدعى "ورشة الزمن الحقيقي"، (Real - Time Workshop)، وبرنامج الترجمة للغة C أو C++، ويتم الربط مع أحد كروت التحصيل المتوفرة، (يمكن استخدام أي C/C++compiler).

هذا البرنامج التنفيذي يمكننا من تشغيل النظام المدرس في الزمن الحقيقي وذلك من خلال اختيار نظام المحاكاة في النمط الخارجي (External Mode)، لعمل برنامج Simulink، لكي يتم الربط مع كروت التحصيل.

إن التكامل بين النمط الخارجي لبرنامج Simulink والزمن الحقيقي في بيئة النوافذ، يسمح باستخدام عناصر Simulink المختلفة، ومكتباته من أجل التخاطب مع النظام الحقيقي، الذي يسمح بالإمكانات المختلفة لمتابعة النظام، مثل:

6-1-1- مراقبة الإشارة Signal monitoring:

إذ إنه يمكن استخدام رواسم الإشارة التي نستخدمها من أجل مراقبة الإشارة في المحاكاة، من أجل مراقبة الإشارة أثناء تشغيل التطبيقات في الزمن الحقيقي.

6-2-1- توليف المحددات (Parameters Tuning)

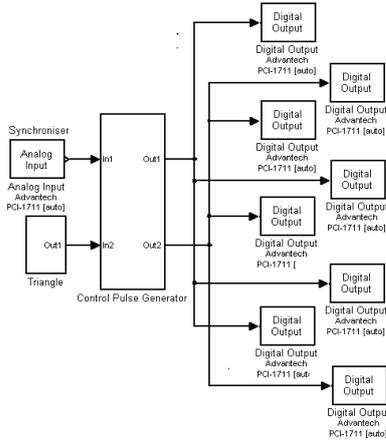
يمكن استخدام صناديق الحوار للعنصر من أجل تغيير المحددات أثناء التشغيل في الزمن الحقيقي.

وفي هذه الطريقة يبقى الحاسب محجوراً فقط لهذه العملية ولا يمكن أثناءها تشغيل أي برنامج آخر، أما عملية توليد البرنامج التنفيذي لنموذج التحكم فتتم بمساعدة ورشة عمل الزمن الحقيقي".

6-2- ورشة عمل الزمن الحقيقي

(Real-Time Workshop) :

د. زياد السقا. محاكاة مبدل مصفوفي من أحادي الطور إلى أحادي الطور في الزمن الحقيقي.....



الشكل (37) المخطط الرمزي للترانزيستورات

الاستطاعة مع قيادتها المعزولة

3-7- عناصر العمل في الزمن الحقيقي:

من أجل توليد أوامر التحكم اللازمة لقيادة المبدل تم استخدام طريقة النمذجة في الزمن الحقيقي وهذه الطريقة تحتاج إلى:

7-3-1- حاسب إلكتروني مزوّد بنسخة حديثة من برنامج (Matlab/Simulink)، وتتضمن بيئة العمل في الزمن الحقيقي (Real Time Windows Target).

7-3-2- كرت تحصيل نموذج PCL1711 يركب ضمن الحاسب، مبين في الشكل (38)، وهو مزود بمجموعة من المداخل والمخارج التماثلية، ومجموعة أخرى من المداخل والمخارج الرقمية [11].



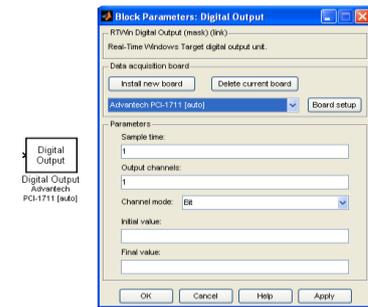
الشكل (38) كرت التحصيل PCL1711 ADVANTEC

7-4-4- دائرة القيادة في الزمن الحقيقي:

تم استخدام دائرة توليد نبضات القيادة الموضحة في الشكل (20) السابق بعد فصل عناصر الاستطاعة واستبدالها بالمخارج الرقمية لكرت التحصيل من أجل تشغيل القواطع الإلكترونية، ويستخدم المدخل التماثلي من أجل تحصيل توتر المنبع من خلال محولة لتخفيض التوتر (6/220 فولت) ليلائم مجال توتر المدخل التماثلي فتصبح الدارة كما في الشكل (39).

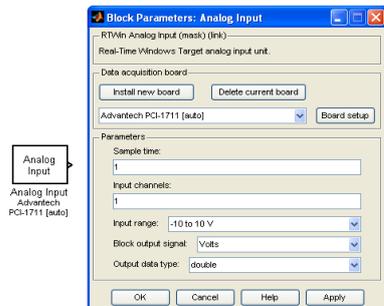
الشكل (39) دائرة القيادة في الزمن الحقيقي.

ويوضح الشكل (40) واجهة تعريف أحد المخارج الرقمية لكرت التحصيل المستخدم ضمن بيئة برنامج (Simulink)، ومن خلالها يتم اختيار المخرج المناسب لقيادة كل ترانزيستور.

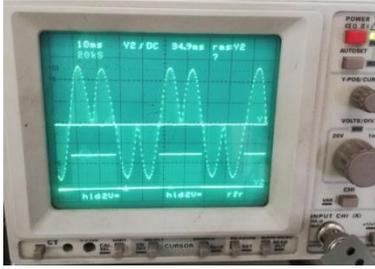


الشكل (40) واجهة تعريف أحد المخارج الرقمية

كما يبين الشكل (41) واجهة التعريف لأحد المداخل التماثلية لكرت التحصيل المستخدم من أجل تحصيل إشارة التزامن، ويمكن من خلالها اختيار مجال وطبيعة توتر حتى تصبح إشارة الدخل ضمن الحدود المسموحة لكرت التحصيل.



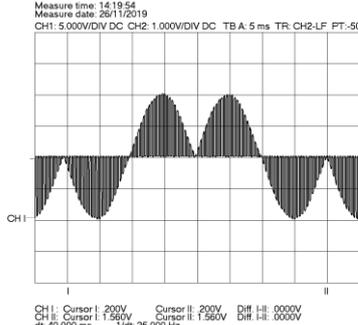
الشكل (41) واجهة تعريف أحد المداخل التماثلية



الشكل (45) توتر الخرج عند تردد 25Hz

بعد إزاحة التزامن بمقدار $(\pi/2)$.

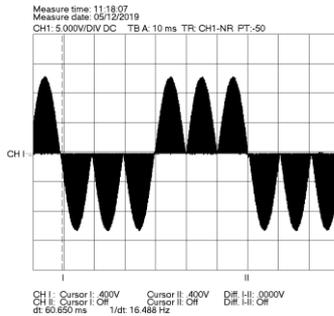
ثم نقلت هذه الإشارة إلى الحاسب من خلال برنامج SP107 كما يبين الشكل (46). حيث يظهر التطابق بين نتائج المحاكاة الموضحة في الشكل (26) والشكل الحالي عند التردد ذاته.



الشكل (46) توتر الخرج عند تردد 25Hz

3-5-7- العمل عند تردد 50/3Hz:

تم الحصول على التوتر الموضح في الشكل (47) ويلحظ وجود ثلاثة أنصاف موجة من توتر المنبع لتشكّل القسم الموجب من موجة الخرج، بالإضافة إلى ثلاثة أنصاف لتشكّل القسم السالب، وهي مطابقة لنتيجة المحاكاة الموضحة في الشكل (27).



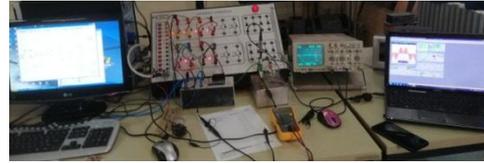
5-7- نتائج التشغيل في الزمن الحقيقي:

بعد الانتهاء من بناء النموذج التنفيذي أصبح لدينا النظام الآتي الشكل (42):



الشكل (42) مخطط صندوقي للنظام المستخدم

وهو نظام مرّن متعدد الاستخدامات، وبعد التوصيل تم التجريب، وتم تحصيل النتائج بواسطة راسم إشارة رقمي نوع (HAMEG 1705-3)، ومجسّ مزود بتخميد عشر مرات، ونقلت النتائج إلى الحاسب باستخدام البرنامج المساعد (SP107)، والشكل (43) يبين منصة الاختبار كاملة.



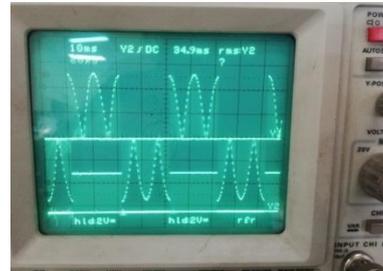
الشكل (43) منصة الاختبار كاملة

ولقد تم تشغيل هذا النموذج في حالات عمل مختلفة

وذلك عند تردد حامل 5KHz، ومطال مرجع 0.95V وكانت النتائج الآتية عند العمل بتردد أقل من تردد المنبع عند حمل أومي.

1-5-7- العمل عند تردد 25Hz:

تم تحصيل الإشارة بواسطة الراسم، وظهرت على الراسم الإشارة الموضحة في الشكل (44).



الشكل (44) توتر الخرج عند تردد 25Hz

2-5-7- العمل عند تردد 25Hz مع إزاحة $(\pi/2)$:

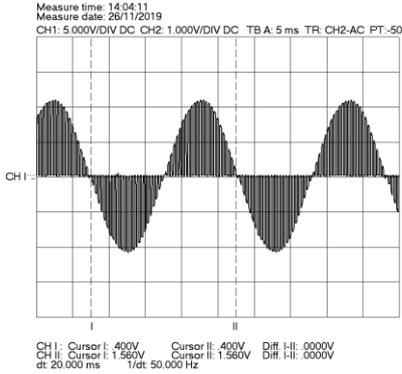
عند إزاحة توتر التزامن المرجعي بزواوية $(\pi/2)$. ينتج لدينا الشكل (45).

د. زياد السقا. محاكاة مبدل مصفوفي من أحادي الطور إلى أحادي الطور في الزمن الحقيقي.....

الشكل (50) عند تردد 50Hz (0.95V , 10KHz)

وعند تخفيض التردد الحامل إلى 5KHz يصبح شكل

التوتر كما هو مبين في الشكل (51) .



الشكل (51) عند تردد 50Hz (0.95V , 5KHz)

هذا ويمكن تخفيض قيمة توتر الخرج عند التردد

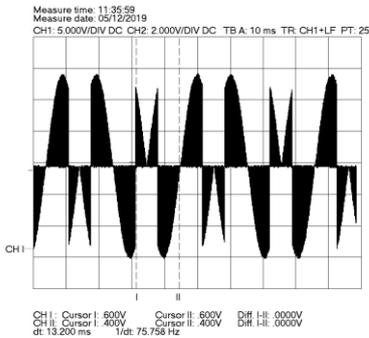
الأساسي من خلال تغيير مطال التوتر المرجعي.

7-5-6- العمل عند تردد 75Hz:

عند العمل على التردد 75Hz (وهو ليس من

المضاعفات الصحيحة لتردد المنبع) يظهر لدينا توتر

الخرج كما في الشكل (52) بعد إزاحة المرجع.



الشكل (52) عند تردد 75Hz (0.95V , 5KHz)

7-5-7- العمل عند تردد 100Hz:

يبين الشكل (53) توتر الخرج عند تردد 100Hz

وتظهر فيه إحدى نبضات القيادة الصادرة من الحاسب

عند تردد حامل 10KHz، ومطال الموجة المرجعية

0.95Volts. وحيث إن هذا التردد من المضاعفات

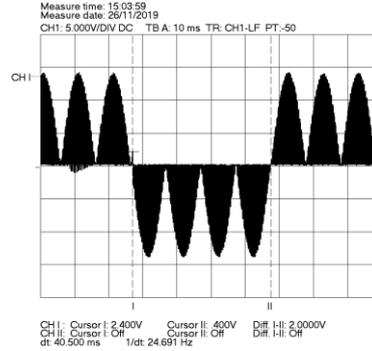
الصحيحة لتردد المنبع نجد أن شكل توتر الخرج يبقى

متناظراً.

الشكل (47) توتر الخرج عند تردد 50/3Hz

4-5-7- العمل عند تردد 12.5Hz:

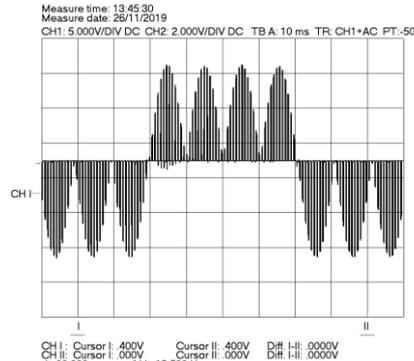
يظهر الشكل (48) توتر الخرج عند التردد 12.5Hz



الشكل (48) عند تردد 12.5Hz

وعند تخفيض التردد الحامل إلى 2.5KHz يظهر أثر

تغييره بشكل واضح كما يبينه لدينا الشكل (49).



الشكل (49) عند تردد 12.5Hz (2.5 KHz)

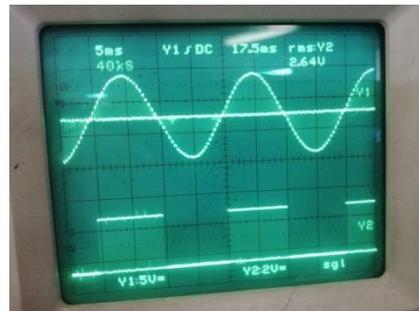
7-5-5- العمل عند تردد مساو لتردد المنبع

50Hz:

الشكل (50) يبين نتيجة العمل عند تردد مساو لتردد

المنبع 50Hz، وتظهر فيه إحدى نبضات القيادة عند تردد

حامل 10KHz، ومرجع 0.95Volt.



الشكل (55) عند تردد 100Hz (0.95V, 5KHz)

8- نتائج البحث :

8-1- نمذجة مبدل مصفوفي أحادي الطور، ومحاكاته، وتشغيله كمبدل للتردد وتسجيل النتائج عند ترددات مختلفة أصغر وأكبر ومساوية لتردد المنبع، باستخدام طريقة تعديل عرض النبضة جيبياً.

8-2- دراسة مفصلة ومعقدة للمحاكاة في الزمن الحقيقي توضّح المراحل المتباعدة للوصول إلى النموذج التنفيذي الذي يعمل في الزمن الحقيقي.

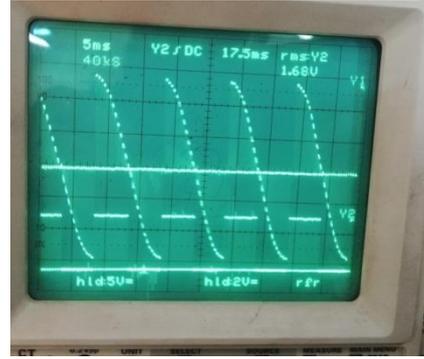
8-3- التوصل إلى تنفيذ نموذج مخبري كامل لمبدل مصفوفي من أحادي الطور إلى أحادي الطور (1ph-1ph)، مقاد في الزمن الحقيقي، بواسطة كرت تحصيل (PCL1711)، والمجموعة البرمجية (Matlab/Simulink)، ويمكن قيادة هذا النموذج بطرق تناسب التطبيقات المختلفة لهذا المبدل من خلال تغيير نظام القيادة برمجياً، ليناسب التطبيق المختار.

ولقد اخترنا قيادته كمبدل للتردد هبوطاً وصعوداً.

8-3- التحقق من عمل المبدل وتشغيله عند ترددات مختلفة، وتسجيل شكل التوتر عند كل تردد بشكل مباشر من راسم الإشارة، ثم تحصيلها من الراسم برمجياً إلى الحاسب باستخدام البرنامج (SP107).

8-4- بمقارنة أشكال التوتر الناتجة عن المحاكاة مع أشكال التوتر الناتجة عن المبدل المنفذ عملياً كانت النتائج متشابهة بشكل كبير.

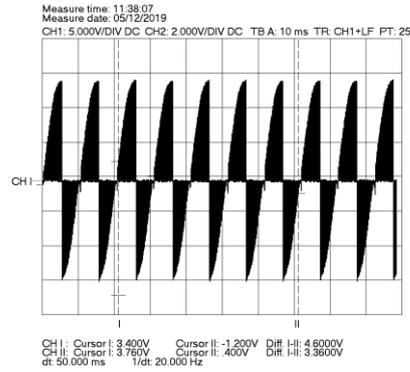
8-5- التوصل إلى نموذج مخبري مرن يمكن استخدامه في البحث العلمي لتطبيقات مختلفة من أنظمة إلكترونيات القدرة.



الشكل(53) عند تردد 100Hz (0.95V, 10KHz)

وبعد إزاحة توتر المرجع يبقى شكل توتر الخرج متناظراً.

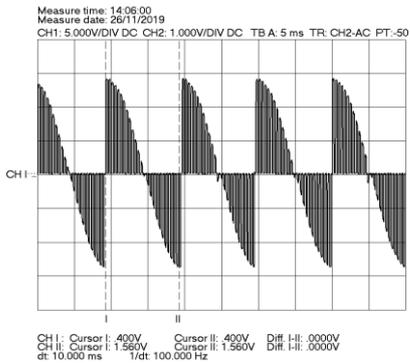
ولكن بعكس الشكل السابق وهذا ما يبينه الشكل (54).



الشكل(54) عند تردد 100Hz (0.95V, 10KHz).

وعند تخفيض تردد الموجة المثلثية الحاملة والتي تقارن مع الموجة المرجعية من أجل تشكيل نبضات القيادة لعناصر المبدل من 10KHz إلى 5KHz، يصبح لدينا شكل توتر الخرج كما يبينه الشكل(55).

ونلاحظ كيف تقسم نصف موجة المنبع إلى النصف لتشكل القسم الموجب من موجة توتر الخرج، والنصف الآخر يشكل القسم السالب.



د. زياد السقا. محاكاة مبدل مصفوفي من أحادي الطور إلى أحادي الطور في الزمن الحقيقي.....

المراجع References

- [1] P. Sweety Jose, N. Chandra Deepika S.N.Nisha, "APPLICATIONS OF SINGLE PHASE MATRIX CONVERTER", PROCEEDINGS OF ICETECT 2011.
- [2] P. Wheeler, Jose Rodriguez,R. Jose, "Matrix converter: A technology review", IEEE Transactions on Industrial Electronics. May 2002.
- [3] I. Zahirrudin, H. Mustafar, S. Mohamad, "Implementation of Single-Phase Matrix Converter as a Direct AC-AC Converter with Commutation Strategies" Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi Mara, 40450 Shah Alam, Malaysia.
- [4] P. Subha Karuvelam, M. Rajaram, "Real time Implementation of SHE PWM in Single Phase Matrix Converter using Linearization Method", J Electr Eng Technol.2015; 10(4): 1683-1692.
- [5]I. Zahirrudin,K. H. Mustafar,M. MAhmad, "Implementation of Single - Phase Matrix Converter as a Direct AC-AC Converter Synthesized Using Sinusoidal Pulse Width Modulation with Passive Load Condition", IEEE PEDS 2005.
- [6] user manual "Real-TimeWorkshop®,For Use with SIMULINK", Mathwork.com
- [7] user manuale "Real-Time Windows Target, For Use with Real-Time Workshop", Mathwork.com.
- [8] M. H. Rashid," Power Electronics Circuits, Devices and Application", 6th edition, Copy right 2009, Prentice Hall, Inc Upper Saddle River, NJ.
- [9] N. MOHAN, T.M. UNDELAND, W.P. ROBBINS, "Power Electronics Converters Applications and Design", JOHN WILEY & SONS, INC. 2003
- [10] Bimal K. Bose "Power Electronics and Motor Drives Advances and Trends", opyright © 2006, Elsevier Inc. All rights reserved.

مواقع الإنترنت

[10]-(Matlab/Simulink Documentations),

<http://www.mathwork.com>

[11]- (PCL1711- Data Acquisition Card)

<http://www.advantec.com>

[12]-(FIO 50-12BD),

<http://www.ixvpower.com>

Received	2019/12/18	إيداع البحث
Accepted for Publ.	2020/6/3	قبول البحث للنشر