

استخدام مرشحات الطاقة الفعالة لتحسين جودة الطاقة

الدكتور علي أحمد محمود*

(قبل للنشر في 2006/8/27)

□ الملخص □

هذا العمل يقترح طريقة بسيطة للتحكم بالمرشح الفعال من خلال استخدام المنظم التقليدي (Proportional PI Integral) للحصول على إشارة خرج بأقل خطأ استاتيكي ممكن. إن طريقة التحكم المقترحة بتيار خرج المرشح الفعال تستخدم إشارة دخل (كإشارة مرجعية) عبارة عن إشارة في المحاور d-q من خلال تحويل إشارة التيار الفعلية المتناوبة ثلاثية الطور a, b, c وذلك لتعويض التوافقية الخامسة 5th والسابعة 7th. وبينت الدراسة بالنمذجة والتطبيق المخبري أن المرشح الفعال يعمل بفعالية ودقة جيدة لإلغاء التوافقية الخامسة والسابعة الناجمتين عن الأحمال اللاخطية.

الكلمات المفتاحية: Active filter, distortion, power quality, harmonic, nonlinear load.

* أستاذ مساعد في قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية سوريا.

Using Active Power Filters to improve Power Quality

Dr. Ali Ahmad Mahmoud *

(Accepted 27/8/2006)

□ ABSTRACT □

This paper proposes a simple current control for Active Filters based P+Resonant compensator used in conjunction with traditional (Proportional Integral) PI. The proposed current control system is designed to operate with a single dq reference frame, synchronous with 50 Hz supply voltage, for the compensation of 5th and 7th harmonics. Another major advantage of this strategy is the ability to eliminate the external disturbance from the 5th and 7th harmonic components caused by power supply. The principle of the proposed control method and the design procedure is here presented. Simulation and experimental results confirm the effectiveness of the suggested approach.

Key words: Active Filter, distortion, power quality, harmonic, nonlinear load.

* Associate Professor, Department of Electrical Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

أن تشوه موجة جهد التغذية الكهربائية في المنشآت الصناعية الصغيرة وورش الانتاج المختلفة بالتوافقيات العليا أضحت مشكلة هامة متزايدة وذلك بالنسبة لكل من موزعي الطاقة ومستهلكيها [1, 2, 3, 6].
إن أهم التوافقيات المساهمة في هذا التشوه لنظم الطاقة المذكورة هي: توافقيات التيار الخامسة والسابعة والحادية عشرة والثالثة عشرة ومثل هذه التوافقيات تنتج من قبل الأحمال اللاخطية مثل جسور التقويم الديودية ذات مكثفات التنعيم (Capacitively Smoothed diode Rectifiers).

هذه المقومات والتي تعتبر المصدر الاساسي للتوافقيات تنتشر بشكل واسع في شبكات نظم الطاقة، وذلك نظرا لاستخدامها في مصادر التغذية الكهربائية للأجهزة الكهربائية دائمة الوصل مثل أجهزة الكمبيوتر، وكذلك في مكونات جميع أنظمة تنظيم السرعة في نظم القيادة الكهربائية، والمكونة من عناصر الكترونيايات القدرة الكهربائية [2, 3].
من المصادر الهامة الأخرى لتوافقيات التيار يمكن أن نذكر الخواص (ballast) المستخدمة في المصابيح الفلوريسانتيّة وكذلك الأفران التحريضية، تجهيزات اللحام القوسية، تجهيزات القيادة الكهربائيّة.

إن التشوه بالتوافقيات نتيجة تيار الأحمال اللاخطية يتطلب قيم أعلى للاستطاعة الاسمية الظاهرية للتجهيزات (higher KVA) ويؤدي بدوره إلى زيادة في ضياعات نقل الطاقة كل ذلك سينتج عنه حتما زيادة في كلفة الـ الكيلواط المرسل عبر شبكات نقل القدرة [3, 4, 5].

هناك العديد من المشاكل تظهر داخل نظام الطاقة بسبب وجود توافقيات الجهد والتيار. إن معظم أنظمة نقل الطاقة الكهربائيّة تتصف بأنها تحريضية نظرا لوجود مجموعة من المحولات على طول مسار شبكة التغذية.
تستخدم أيضا مجموعة المكثفات داخل نظام توزيع الطاقة لتحسين معامل الاستطاعة الرديّة كما تستخدم أيضا بجانب أنظمة التحكم التحريضية.

إن هذه المكثفات ستكون حساسة جداً لتوافقيات الجهد. فالمكثفات الواقعة تحت جهد يحوي التوافقية الخامسة بنسبة 4% من القيمة الاسمية ويحوي جهد التوافقية السابعة بنسبة 3% من القيمة الاسمية سيولد في هذه المكثفات تيارات للتوافقية الخامسة مقدارها 20% من التيار الاسمي وللتوافقية السابعة بمقدار 21% من التيار الاسمي للتوافقية الاساسية. هذا الأمر سيتطلب بدوره استخدام مكثفات ذات تيار إسمي أعلى. كما أن المفاوיד في المحولات سترتفع نتيجة ارتفاع القيمة الفعالة للجهد وكذلك القيمة الفعالة للتيار.

كما أن وجود هذه التوافقيات يؤدي إلى ارتفاع الضياعات الناجمة عن التيارات الإحصارية والتي بينت التجارب أنها تتناسب مع مربع التردد.

لا يمكن أيضاً إهمال آثار هذه التوافقيات على عمل المحركات الكهربائيّة فالمحركات التي تتغذى على جهود تحوي توافقيات سينجم عنها تشوه في الحقل المغناطيسي مما يؤدي إلى تذبذب العزم، كما يؤدي ذلك إلى تحريض تيارات إضافية في الدائر ذات ترددات عالية ينجم عنها ارتفاع في المفاوיד وبالتالي ارتفاع في سخونة المحرك وانخفاض مردوده كما يؤدي تذبذب العزم إلى زيادة في اهتزاز المحرك وارتفاع في الضجيج الصوتي الناجم عنه.
أثار أخرى في نظم الطاقة نتيجة لوجود التوافقيات وهي العمل الكاذب لتجهيزات الحماية الكهربائيّة والحاجة إلى استخدام منصهرات أعلى من القيم الاسمية المحسوبة. كما تؤدي التوافقيات إلى اضطراب في عمل أجهزة القياس، وارتفاع في مفاويد العازلية للكابلات الأرضية وكذلك التشويش على نظم الاتصالات [6].

ان مواصفات نظام القدرة نفسه مهمة جدا لتحديد آثار التوافقيات الناجمة عن الأحمال اللاخطية عليه. وبما أن غالبية نظم الطاقة تتمتع بمميزات تحريضية ويتم عادة فيها تعويض الاستطاعة الردية باستخدام المكثفات، فإذا ولدت الأحمال توافقيات التيار باتجاه النظام فإن هذه المكثفات والتي تظهر موصلة على التفرع مع مفاعلة النظام X_S ، تشكل هذه المكثفات X_C مع المحارضة X_S دائرة طنين تتعلق بشكل أساسي بقيمة X_C [3]، وهذا الأمر سيسبب هبوطا كبيرا للجهد عبر مفاعلة النظام في حال حدثت حالة الطنين لأي توافقية من توافقيات الحمل اللاخطي.

إن الاسلوب المتبع والمعروف لمعالجة أثر التوافقيات هو التعامل مع هذه التوافقيات على مستوى نظام التغذية الكهربائية. ويتم ذلك باستخدام المرشحات غير الفعالة. يتم تصميم هذه المرشحات غير الفعالة وذلك كمرشحات تمرير حزمية (tuned band pass filters) بحيث تبدي ممانعة منخفضة لتمرير التوافقيات المولدة من الأحمال اللاخطية. إجمالاً فإن المرشحات المستقلة (كل مرشح مؤلف من ملف تحريضي أحادي ومكثف) ويتم تصنيعها من أجل التوافقيات (الخامسة والسابعة والحادية عشرة والثالثة عشرة)، فضلاً عن وجود تاسيسات لمعوضات الاستطاعة الردية ومرشحات تردد منخفض للتوافقيات العليا. كل ذلك سيكون موصول إلى نقطة التجميع العامة لشبكة التغذية الكهربائية (PCC (Point Of Common Connection).

ولإعطاء فكرة سريعة عن فعالية الحل باستخدام المرشحات غير الفعالة، فقد بينت دراسة لشركة التركيبات الصناعية في البرازيل أن تجاربها أثبتت أنه و بعد أن أُضيف حمل جديد وهو عبارة عن مقوم ثابستوري إلى محولة باستطاعة 1 MVA ، 60 Hz قد سجلت المشاكل التالية: تعثر تشغيل تجهيزات القطع والوصل Switchgear، فشل عمل المكثفات وانهارها، العمل الكاذب لتجهيزات الحماية [17].

إن البديل الأساسي للمرشحات غير الفعالة هو استخدام المرشحات الفعالة وذلك لتقليل مقدار التشوه بالتوافقيات.

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في تعريفه بالمرشحات الفعالة وأنواعها واستخداماتها في تحسين جودة التغذية الكهربائية وذلك من خلال اختيار طريقة التحكم بالمرشح لإنتاج توافقيات التعويض لإلغاء بعض التوافقيات المشوهة لنظام الطاقة. كما يبين البحث أهمية استخدام النمذجة التمثيلية بمساعدة Matlab and Simulink في دراسة وتصميم المرشحات الفعالة من حيث السهولة في اختيار عناصر النمذجة والسرعة في إمكانية تعديل بارامترات النظام لدراسة أثرها في محددات جودة نظام الطاقة.

طريقة البحث والمواد المستخدمة:

لقد أنجز هذا البحث اعتماداً على دراسة العديد من البحوث المنجزة في هذا المجال والتوقف عند نتائجها وتوصياتها. كما تم الاعتماد على الحزمة البرمجية Matlab and Simulink في وضع النموذج التمثيلي للمرشح الفعال ودارات التحكم به واستخلاص النتائج.

انجز هذا البحث خلال الفترة من 2005/8/25 حتى 2006/6/1 في معهد الهندسة الكهربائية والإلكترونية في جامعة نوتنغهام (بريطانيا)، وقسم هندسة الطاقة الكهربائية في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين.

1 - المرشحات الفعالة:

لقد ظهرت بحوث تتناول المرشحات الفعالة وتم تصميمها وتجريبها وتحسينها وتداولها تجاريا خلال زمن أقل من ثلاثين سنة. تتميز هذه المرشحات المصممة اعتمادا على التيار بقدرتها على تعويض تشوهات التيار مثل توافقيات التيار والاستطاعة الردية، وكذلك تيار الحيادي. كما تستخدم اعتمادا على قاعدة تشوه الجهد لتعويض توافقيات الجهد وكذلك خفقان (رجفان) الجهد (Voltage Flickers) وانحراف الجهد (Voltage Sags) وانتفاخ الجهد (Swell) وكذلك عدم الاتزان (imbalances).

تصنف المرشحات الفعالة إلى مجموعتين رئيسيتين، أحادية الطور وثلاثية الأطوار. المرشحات الفعالة ثلاثية الأطوار يمكن أن تكون ذات وصلة خط حيادي أو بدون ذلك. تستخدم المرشحات الفعالة أحادية الطور لتعويض مشاكل جودة الطاقة الناجمة عن الأحمال أحادية الطور مثل وحدات التغذية بالتيار المستمر. أما المرشحات الفعالة ثلاثية الطور فتستخدم من أجل الأحمال اللاخطية عالية الاستطاعة مثل نظم القيادة الكهربائية لتنظيم السرعة وكذلك المبدلات AC/DC.

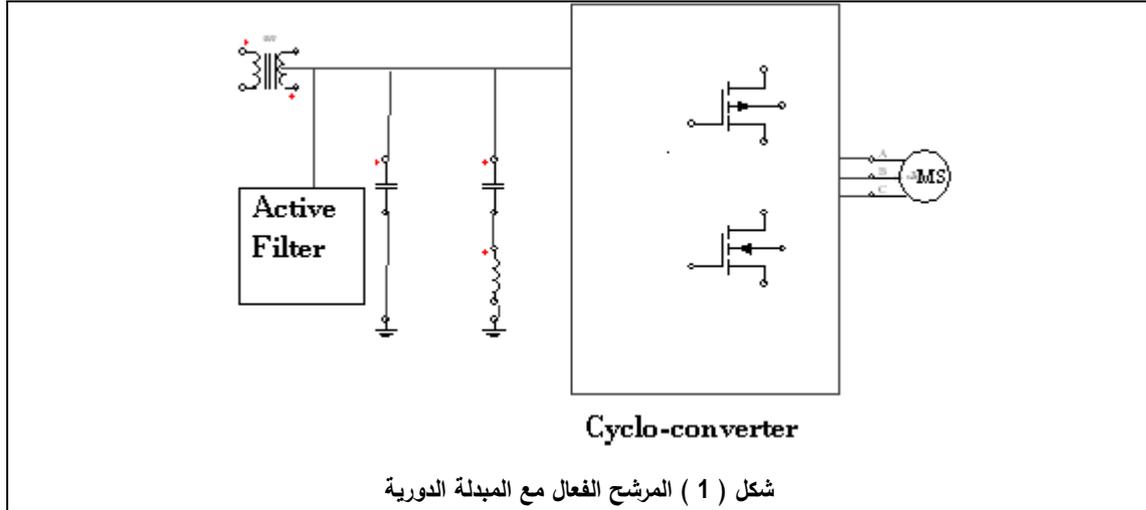
2 - تطبيقات المرشحات الفعالة:

إن المرشحات الفعالة صممت وأنشأت أساساً لتعويض توافقيات التيار والجهد وأصبحت الآن تحظى بمجموعة كبيرة من الوظائف والتطبيقات. إن هذه المرشحات التي بنيت على شكل دارات تحكم هندسية يمكنها أن تعوض: توافقيات التيار، توافقيات الجهد، الاستطاعة الردية، عدم توازن الحمل (Load Imbalance)، تيار الخط الحيادي، عدم توازن الجهد (Voltage imbalance)، تنظيم الجهد (Voltage Regulation)، رجفان الجهد (Voltage Flicker)، ارتخاء الجهد (Voltage age Sag)، انتفاخ الجهد (Voltage age Swell).

وكما تم التنويه سابقاً بأن المرشحات الفعالة يتم تركيبها بالقرب من الأحمال اللاخطية عالية الاستطاعة مثل الأفران الكهربائية وأنظمة التيار المستمر عالية الجهد (HVDC) - (High Voltage DC Systems). إن لهذه المرشحات بعض التطبيقات الخاصة في مثل هذه التجهيزات. فعلى سبيل المثال يمكن استخدام المرشحات الفعالة من جهة التوتر المتناوب AC لتخفيض توافقيات التيار متغيرة التردد والناجمة عن كل من المبدلة والقالبية كما هو مبين في الشكل (1) [8]. حيث إنه في مثل هذه الحالات لا يمكن استخدام المرشحات غير الفعالة بنجاح وذلك بسبب تغير التردد.

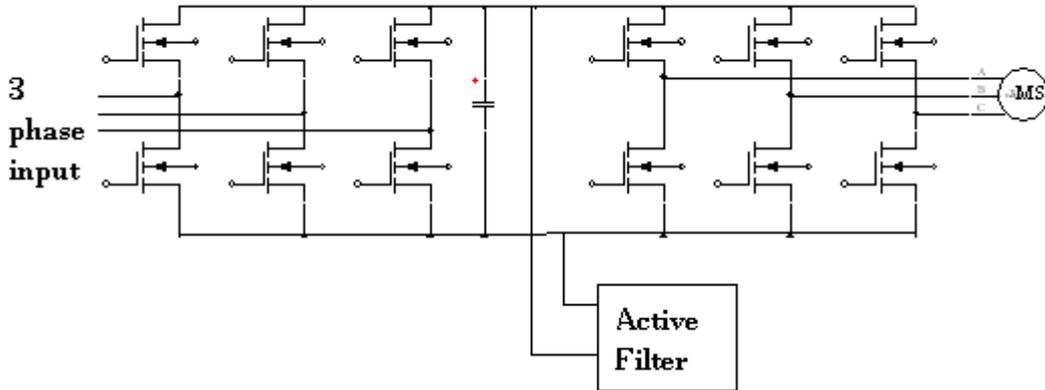
2 - 1 أنظمة القيادة الكهربائية لضبط السرعة Adjustable Speed Drives:

في أنظمة القيادة للمحركات التحريضية يحدث تداخل (تشويش) (Interference) بين التوافقيات وأنظمة التخميد، هذا التداخل يقود إلى تشغيل خاطئ لهذه التجهيزات. يمكن في مثل هذه الأنظمة استخدام المرشحات غير الفعالة البسيطة ذات مجال التردد المنخفض ولكنها ستكون ذات أحجام كبيرة وأوزان أيضاً كبيرة. على سبيل المثال فإن مرشح تردد منخفض غير فعال LC بتردد انكسار 5 kHz من أجل محرك تحريضي باستطاعة 1.5 MW يملك وزن قدره 5 طن [9].



2 - 2 - الغاء مكثفات DC DC Capacitor Cancellation

تتيح المرشحات الفعالة إمكانية الاستغناء عن المكثفات الكبيرة الحجم وغير الموثوقة والغالية الثمن [10]، كما هو مبين في الشكل (2). هذا المرشح الفعال يلغي توافقيات الجهد في وصلة الـ DC للمبدلة DC/AC ويجعل جهد الوصلة DC ناعما وبالتالي فإن جودة جهد الخرج المتناوب AC ستكون أفضل.



شكل (2) المرشح الفعال في مبدلات DC/AC

2 - 3 - أنظمة الجهد العالي المستمر HVDC Systems

إن الفلتر الفعال يستخدم من جهتي التوتر المتناوب AC والمستمر DC في أنظمة الجهد العالي المستمر وذلك لحذف توافقيات الجهد من جانب التوتر DC وحذف توافقيات التيار من جهة AC [11].
درجة التوافقيات الجهد من الجانب DC هي $12n$ حيث $(n = 1, 2, 3, \dots)$ ودرجة توافقيات التيار من AC هي $(n = 1, 2, 3, \dots)$.

2 - 4 - مجموعات الطاقة كبيرة الاستطاعة النقالة: High- Power Locomotives

تولد مجموعات الطاقة كبيرة الاستطاعة النقالة توافقيات تيار وذلك من مجموعات مبدلات DC/AC محدثة ضياعات كبيرة في المقومات AC/DC الشكل (3) وفي المحولات. إن استخدم المرشحات الفعالة في هذه الحالة يمثل الحل الأمثل لتخميد هذه التوافقيات [12].

2 - 5 - التوليد المستقل: Isolated Generations

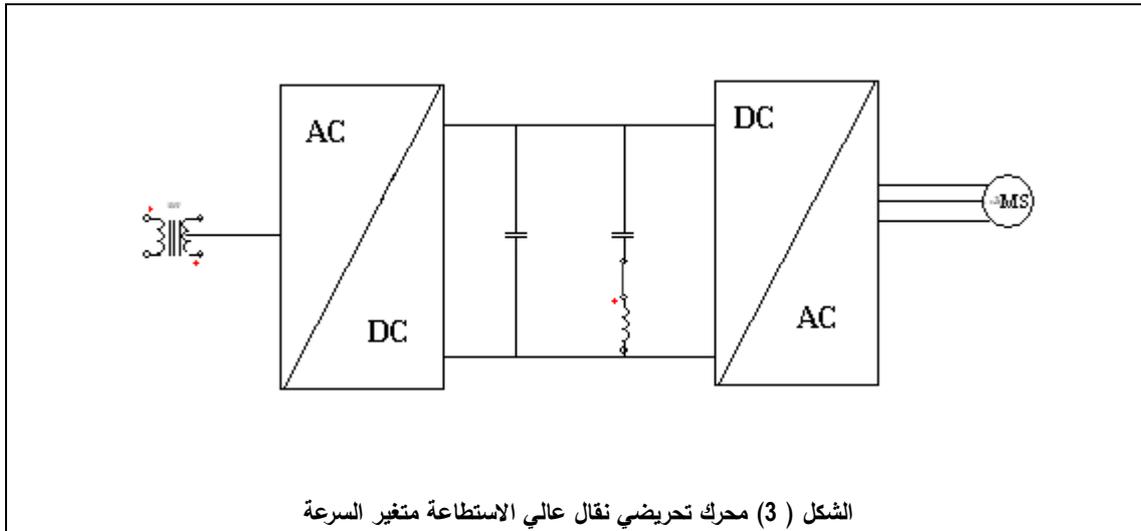
تتمتع دارات المولدات المستقلة بمردود عالي عند عملها بتردد متغير. في هذه المولدات تحدث ضياعات كبيرة في المولدات بسبب توافقيات التيار الناجمة عن الأحمال اللاخطية كما تسبب هذه التوافقيات تشوه في موجة الجهد، هذه التشوه لا يمكن معالجته بالمرشحات غير الفعالة [13]. في محطات التوليد الريحية النموذجية لابد من تركيب مرشح فعال لمنع تدفق التوافقيات باتجاه الشبكة الكهربائية وذلك عند الربط مع الشبكة [14].

2 - 6 - الأحمال التجارية: Commercial Loads

في المباني التجارية حيث تكثر الأحمال غير الخطية مثل أجهزة الكمبيوتر والطابعات الليزرية وأجهزة الإنارة الفلورسنتية والتجهيزات الالكترونية الأخرى، يمكن الاستفادة من المرشحات الفعالة لتعويض توافقيات التيار والتيار الردي وتيار الخط الحيادي وكذلك عدم توازن الحمولة. كما أن المرشح الفعال يساعد في الوقت نفسه على منع آثار توافقيات الجهد وانتفاخه أو ارتخائه والقادمة من الشبكة الكهربائية على هذه الأحمال.

2 - 7 - تطبيقات أخرى:

يستخدم المرشح الفعال لاختداد خفقان الجهد الذي ينجم في منشآت اللحام القوسية وذلك باستخدام مرشح فعال عالي الاستطاعة ذو تردد عالي. يستخدم المرشح الفعال أيضا في أنظمة التوليد المغناطيسية - الهيدروديناميكية (Magneto-Hydrodynamic power generation Systems) [16]. إن الدقة العالية للمغانط ذات التيار المستمر (DC Magnet) والتي تستخدم لتسريع الجزيئات تحتاج إلى تيار دخل مستمر ذو تنظيم عالي الدقة. مثل هذا التيار يمكن الحصول عليه باستخدام مرشح فعال تفرعي.



3 - تصنيف المرشحات الفعالة: Classification of Active Filters

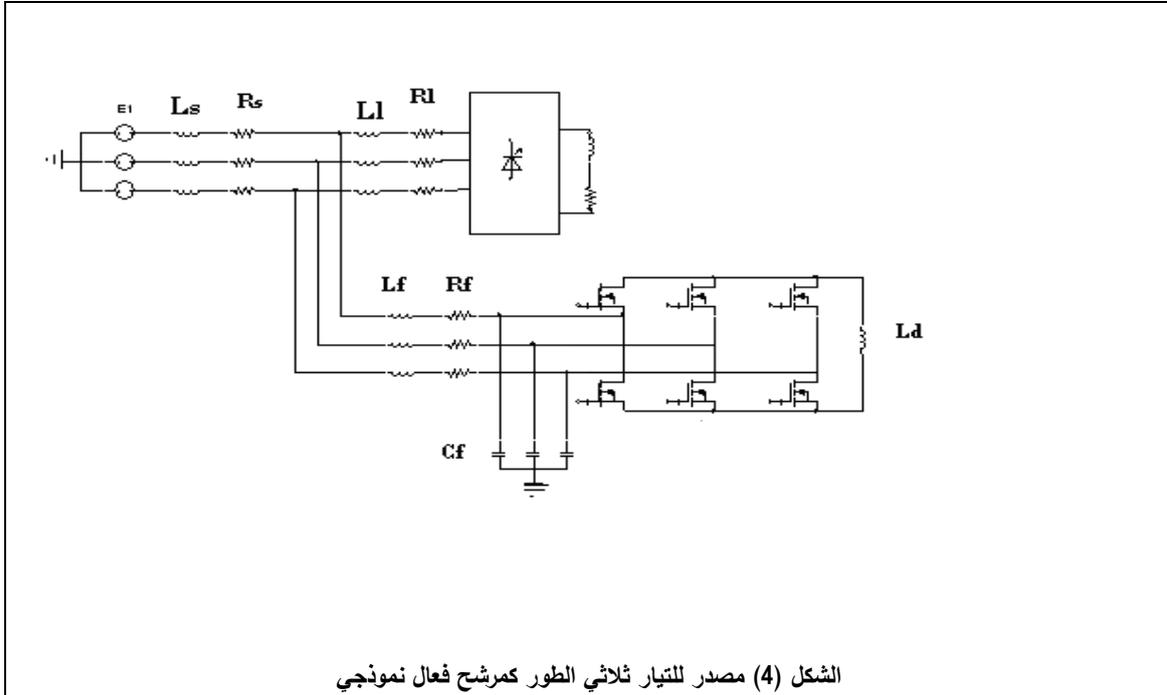
تصنف المرشحات الفعالة بشكل أساسي إلى نوعين رئيسيين: المرشح الفعال كمصدر للتيار، والمرشح الفعال كمنبع للجهد. أ - المرشحات الفعالة كمصدر للتيار (CSAFs) Current Source Active Filters: وهي تستخدم المحارضة كعنصر تخزين للطاقة. ب- المرشحات الفعالة كمصدر للجهد (VSAFs) Voltage Source Active Filters: تستخدم المكثف كعنصر تخزين للطاقة. يعتبر المرشح VSAFs أرخص وأسهل استعمالاً و تحكماً بالمقارنة مع المرشح CSAFs.

3 - 1 - المرشحات الفعالة كمنابع للتيار: Current Source Active Filters

إن الأحمال اللاخطية تنتج تيارات غير جيبية. هذه التيارات تسبب بمرورها في ممانعة المصدر هبوطاً لاخطياً في الجهد وبنتيجة ذلك تظهر توافقيات في موجة جهد مصدر التغذية، إن المرشح الفعال كمصدر للتيار مصمم ليولد تيار توافقيات مساو لتيار توافقيات الحمل ومعاكس له وبذلك يبقى المصدر بعيداً عن تأثيرات تيارات توافقيات الحمل. إن المرشح الفعال CSAFs يستخدم تجهيزات تخزين الطاقة المستمرة كمنبع للتيار. وهو يمكن أن يكون وحيد الطور منخفض الاستطاعة كما يمكن أن يكون ثلاثي الطور عالي الاستطاعة.

المرشحات ثلاثية الطور عالية الاستطاعة يمكن أن تكون ثلاثية النواقل أو رباعية النواقل. في الشكل (4) مبين مرشح ثلاثي الطور ثلاثي النواقل حيث: L_S, R_S : مقاومة ومحارضة مصدر التغذية، L_L, R_L : مقاومة ومحارضة الحمل. L_F, R_F : مقاومة ومحارضة المرشح.

هناك العديد من طرق التحكم بالمرشح CSAFs. أكثر هذه الطرق شيوعاً هي نظام التعديل النبضي بالتيار PWM current control. في الدارة المبينة بالشكل (4) هناك دوماً عنصر في الجهة العليا من الشكل وعنصر في الجهة السفلى من الشكل يعملان معاً (في نفس الوقت). وفي النظام ثلاثي الأطوار ثلاثي الأسلاك يمكن أن نكتب:



الشكل (4) مصدر للتيار ثلاثي الطور كمرشح فعال نموذجي

$$i_{sa} + i_{sb} + i_{sc} = 0 \quad (1)$$

$$i_{sa}^* + i_{sb}^* + i_{sc}^* = 0 \quad (2)$$

حيث:

i_{sa} : تيار الطور من جهة مصدر التغذية.

i_{sa}^* : التيار المرجعي (التيار المطلوب الحصول عليه).

بالطرح نحصل على العلاقة:

$$\Delta i_{sa} + \Delta i_{sb} + \Delta i_{sc} = 0 \quad (3)$$

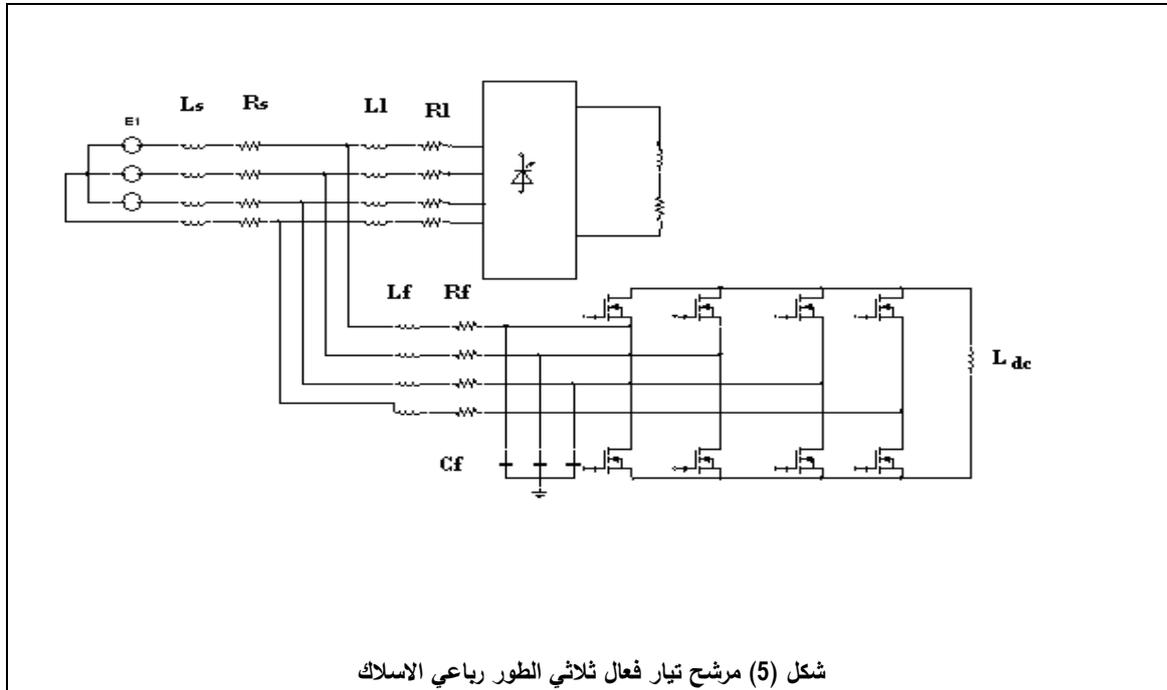
إن المقادير $\Delta i_{sa}, \Delta i_{sb}, \Delta i_{sc}$ لا تملك نفس الإشارة. وفي الحقيقة عندما تكون إحداها ذات قيمة عظمى سالبة تكون الأخرى ذات قيمة عظمى موجبة [26]. على نظام التحكم أن يؤمن تحريض تيار في الوقت نفسه عبر الطورين اللذين يملكان القيمة العظمى الموجبة والسالبة فإذا لم يكن هناك انزياح في الطور لتيار المصدر عن التيار المرجعي فإن كلا القاطعين في الفرعين سيعملان في الوقت نفسه.

في النظام ثلاثي الطور رباعي الأسلاك شكل (5) يمكن تعويض عدم اتزان الحمل بوساطة عمل قاطع في أحد الأطوار وقاطع آخر في الخط الحيادي.

يجب أن يكون التيار المستمر الاسمي لمحارضة تخزين الطاقة في المرشح الفعال CSAFs أكبر من القيمة العظمى لتوافقيات التيار.

إذا كان التيار المستمر للمحارضة (I_{dc}) صغيراً فإن المرشح الفعال لن يفي بالغرض. كما أن (I_{dc}) يجب أن لا يكون كبيراً جداً لأنه في هذه الحالة سيتسبب بضيعات كبيرة في L_{dc} والمرشح.

يجب اختيار L_{dc} كبيرة بما فيه الكفاية لتحديد تموجات التيار. في المرشح CSAFs تتذبذب الطاقة بين L_{dc} والنظام وعندما يكون الجهد عبر L_{dc} موجبا يتناقص التيار فيها وعندما يكون سالبا يتزايد التيار فيها. هذا التزايد والتناقص يتسبب في تموج التيار عبر L_{dc} وبافتراض أن قيمة هذا التموج ΔI يمكن أن نكتب:



شكل (5) مرشح تيار فعال ثلاثي الطور رباعي الاسلاك

$$\Delta W_{L_{dc}} = \frac{1}{2} L_{dc} ((I_{dc} + \Delta I)^2 - (I_{dc} - \Delta I)^2) = 2\Delta I \cdot L_{dc} I_{dc} \quad (4)$$

حيث $\Delta W_{L_{dc}}$: تغير الطاقة في المحارضة L_{dc} [30، 31].

وبالنتيجة:

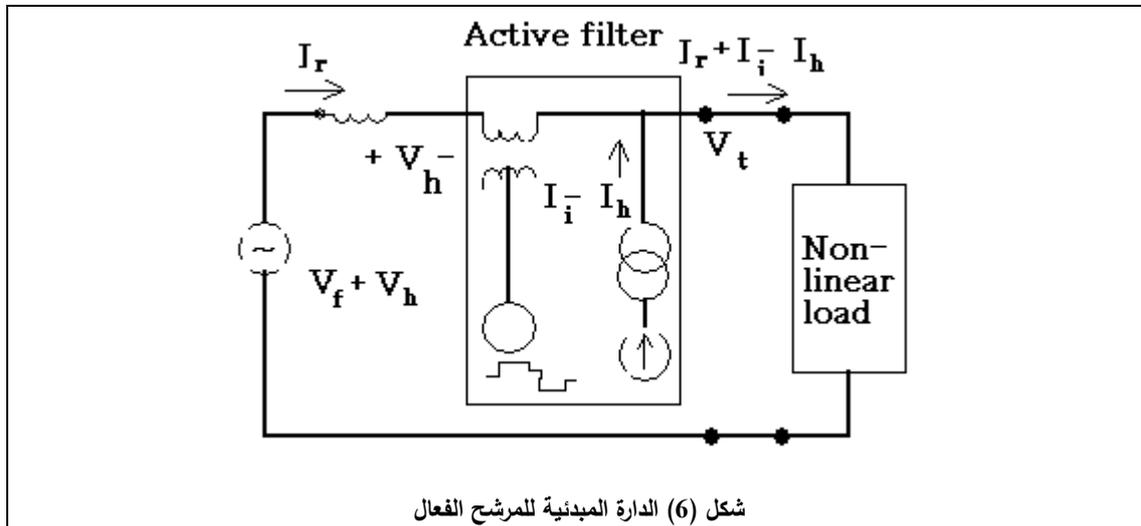
$$L_{dc} = \frac{\Delta W_{Ldc}}{2\Delta I \cdot I_{dc}} \quad (5)$$

3 - 2 - المرشحات الفعالة كمصادر للجهد : Voltage Source Active Filters

النموذج الأكثر شيوعاً للمرشح الفعال هو استخدام معرج التوتر كمصدر للجهد (Voltage Source Inverter) وقد تم تصميمه وتحسينه واستخدامه منذ عدة سنوات وهو الآن متداول في السوق التجارية. هذا النوع من المرشحات هو أرخص سعراً وأسهل من حيث عملية التحكم وذلك بالمقارنة مع مصادر التيار كمرشحات فعالة. كما أن مفاقيدها أقل بالمقارنة مع CSAFs ويمكن استخدامها في مستويات متعددة وبتصميمات مختلفة. يستخدم المرشح الفعال VSAFs المكثف كعنصر تخزين للطاقة ذات التيار المستمر DC ويصنع أحادي الطور وثلاثي الطور بثلاثة أسلاك وبأربعة أسلاك. مثل هذا المرشح ملائم للاستخدام في مجموعات التغذية عديمة الانقطاع (UPS).

4 - مبدأ عمل المرشح الفعال:

يبين الشكل (6) الحالة العامة عندما يكون مصدر التغذية يعطي إشارة لا جيبية مؤلفة من موجة التردد الأساسي ومجموعة من التوافقيات على الشكل $V_f + V_h$ ، ويغذي هذا المصدر حملاً لا خطياً. تيار الحمل يمكن أن يتكون من المركبة الفعلية لتيار التوافقية الأساسية I_r والمركبة الرديئة لتيار التوافقية الأساسية I_i والتيار التوافقيات I_h . المرشح الفعال النموذجي سيعوض جميع توافقيات تيار الخط وكذلك توافقيات تيار مصدر التغذية I_h وتوافقيات جهد مصدر التغذية V_h . كما أن هذا المرشح يمكن أن يعوض المركبة الرديئة للتيار I_i دون تأثير على المركبة الرديئة لتيار الحمل I_r . وهكذا يكون المرشح الفعال مولداً لتوافقيات التيار والجهد ومعوذاً للاستطاعة الرديئة.



شكل (6) الدارة المبدئية للمرشح الفعال

6- الدارة المبدئية لمرشح التيار التفرعي الفعال:

يبين الشكل (7) الدارة المبدئية لمرشح التيار التفرعي الفعال، سيتم في هذا العمل توضيح عمل هذه الدارة وسيتم اختبار ذلك عن طريق استخدام التمثيل في الحزمة البرمجية Matlab (Simulink with Matlab). حيث تتكون هذه الدارة المبدئية من:

- معرج (inverter) كمصدر للتيار.

• نظام تعديل نبضي PWM Modulation.

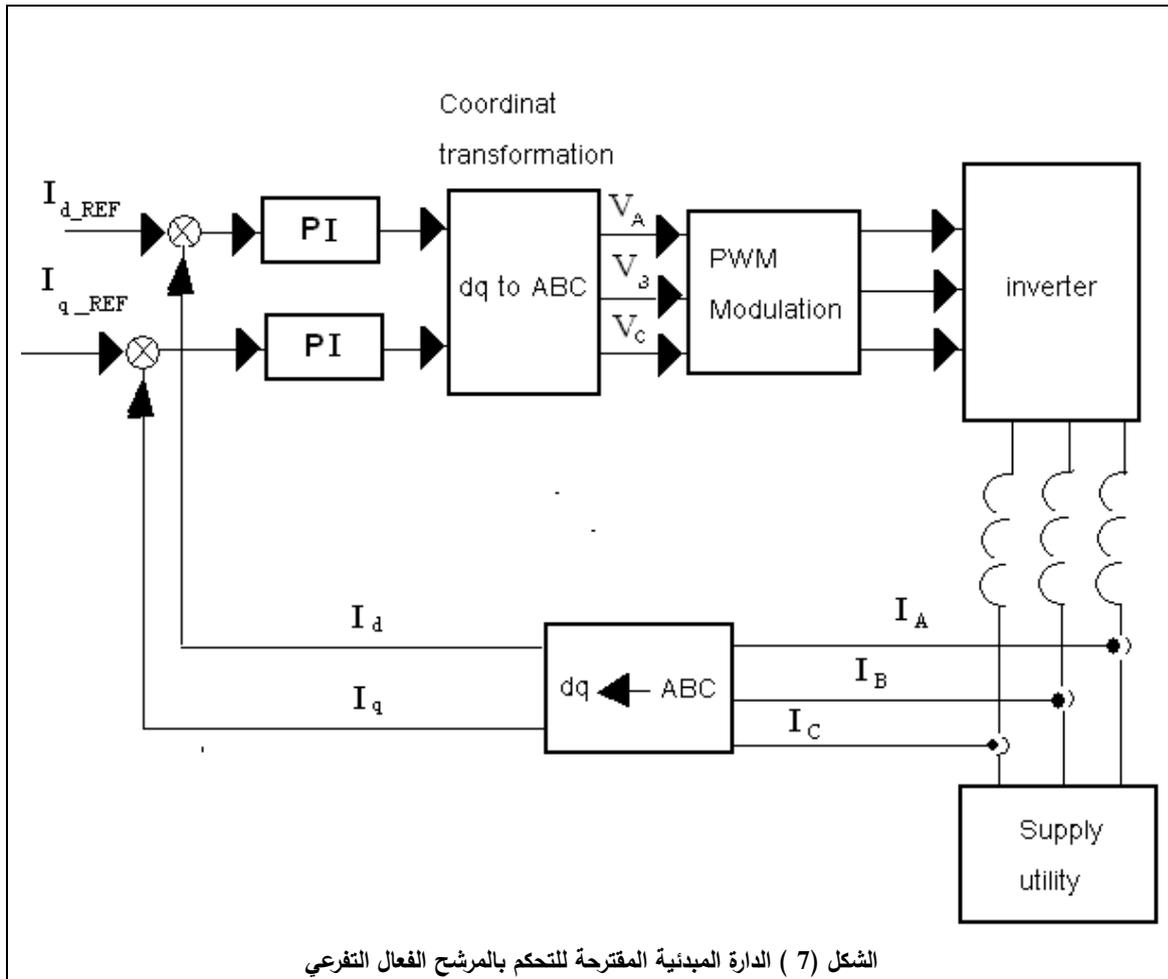
• محول من نظام المحاور dq إلى ABC والعكس.

• منظم تناسبي تكاملي PI.

في هذا العمل تم ضبط عمل المنظم التناسبي PI وذلك لتقليل الخطأ الستاتيكي كما تم اختيار تحويل الإشارات من نظام المحاور ثلاثي ABC إلى نظام المحاور d-q وذلك بالنسبة للإشارة المرجعية ولإشارة التغذية العكسية. حيث الإشارات I_{d_REF} و I_{q_REF} تمثل الإشارة المرجعية والمقاسة من دخل الحمل اللاخطي المشوه. لم يتم في هذا العمل التطرق إلى عملية القياس وطريقته إنما تم افتراض أنه تم الحصول عليها وطبقت على دخل نظام التحكم. ثم تم تحويلها من النظام ثلاثي الطور إلى النظام d-q.

كما تم مراقبة إشارة خرج المعرج عن طريق مرشحات طنينية لمراقبة توافقيات خرج هذا المعرج (منبع التيار التفرعي) ومحاولة قيادتها باتجاه القيمة المرجعية وذلك عن طريق المنظم PI.

إن عملية التحويل من المحاور ABC إلى المحاور d-q تسمح للمنظم PI التعامل مع إشارة مستمرة DC بدلا من الإشارة المتناوبة وبالتالي القدرة على الغاء الخطأ الستاتيكي.



الشكل (8) يبين تمثيل لطور واحد من أطوار المعرج باستخدام مكتبة Matlab حيث يمثل المفتاح Switch عمليات وصل وفصل العناصر الالكترونية للمعرج ويمثل المقدار $\frac{1}{0.01S + 0.01}$ تابع النقل لطور من أطوار دائرة المعرج وذلك انطلاقا من معادلة كيرشوف لطور واحد:

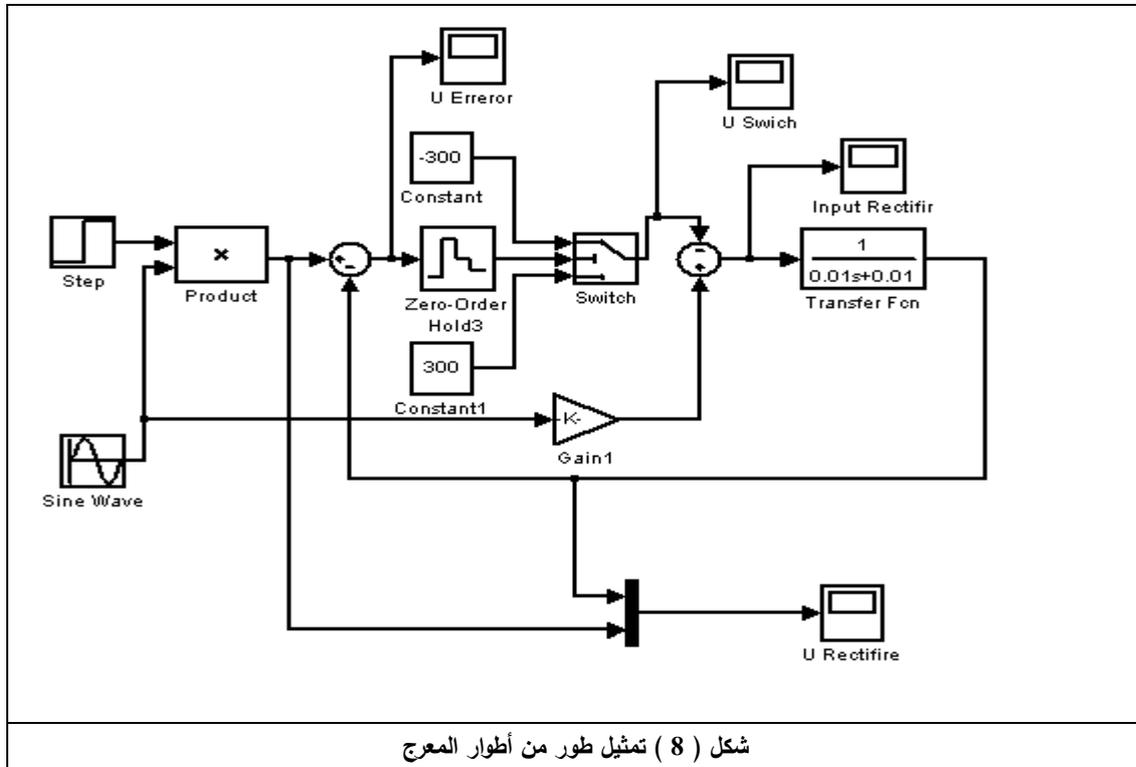
$$U = R.I + L.\frac{dI}{dt}$$

حيث: L تمثل المحارضة الذاتية المكافئة الكلية لطور واحد.

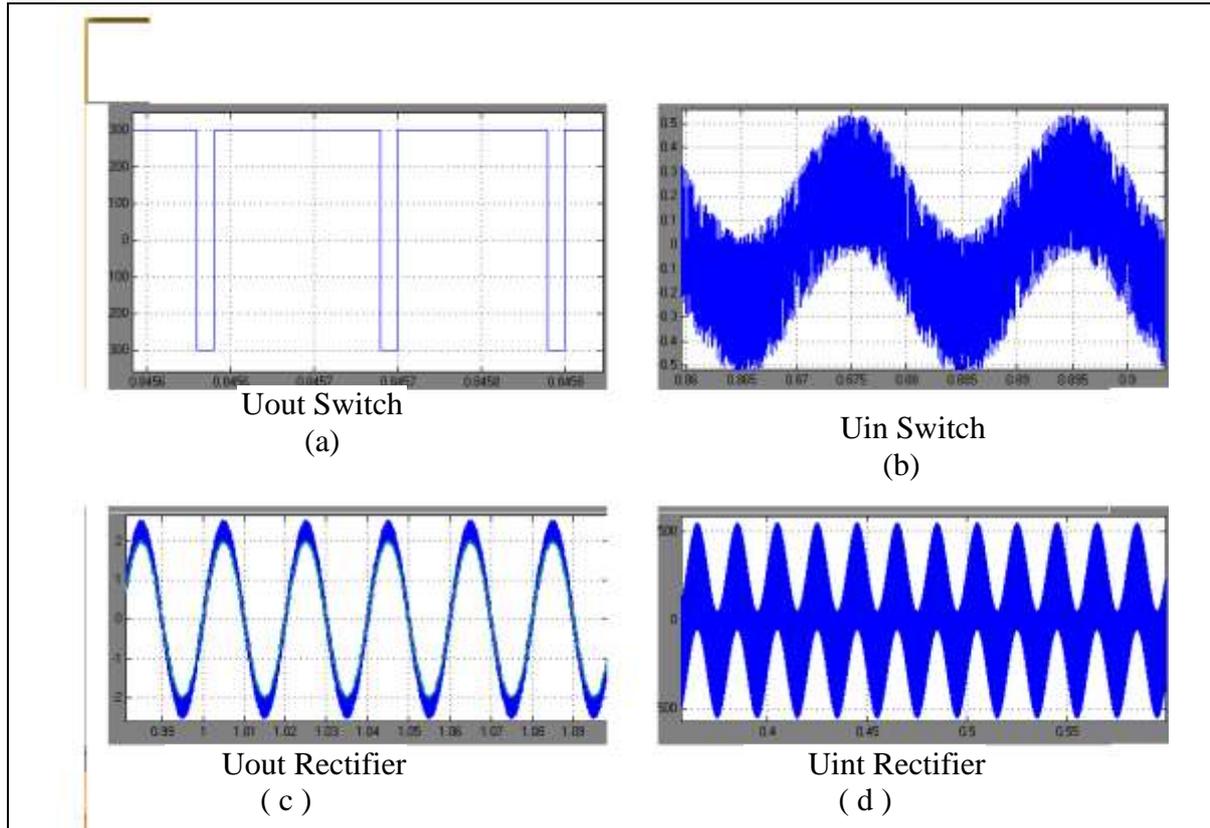
R: المقاومة الكلية المكافئة لطور واحد.

وبالانتقال إلى مستوي لابلاس نجد:

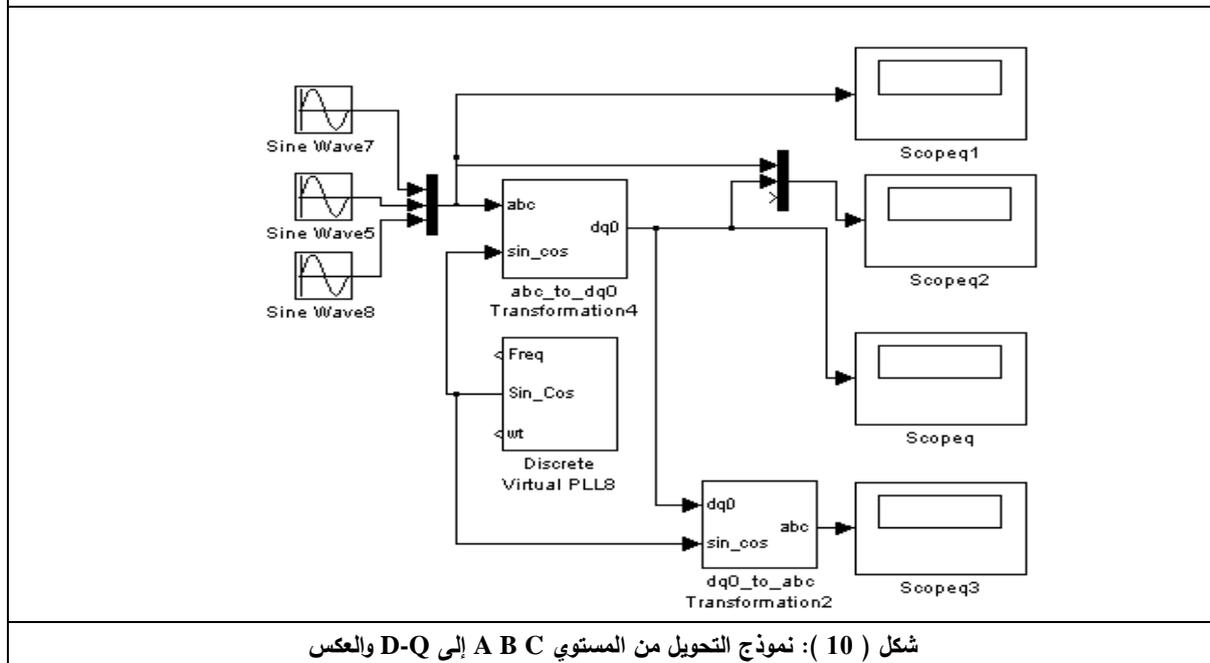
$$U(s) = [R + L.S].I(s) \Rightarrow G(s) = \frac{I(s)}{U(s)} = \frac{1}{L.S + R}$$



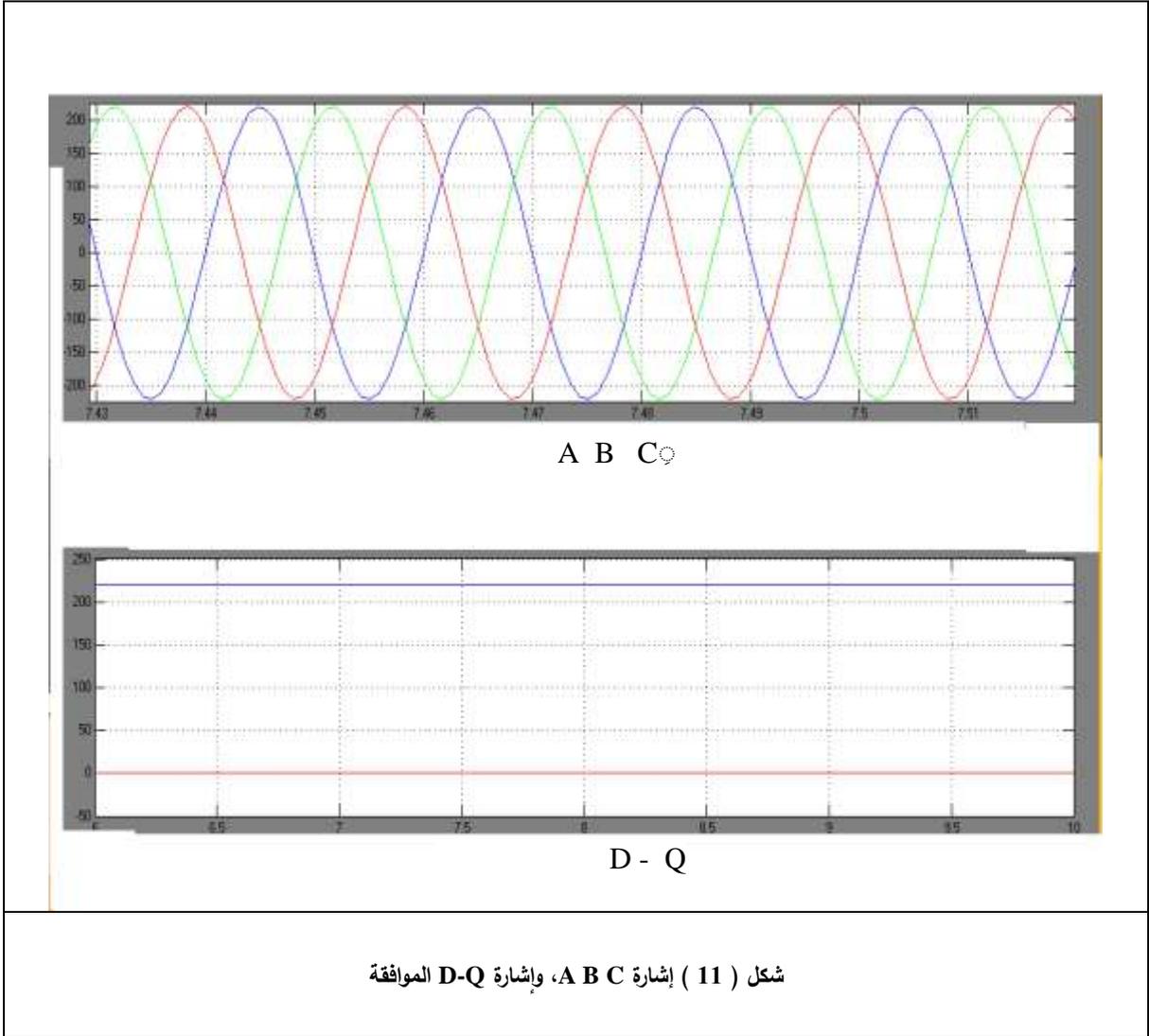
يبين الشكل (10) تمثيل عملية التحويل للإحداثيات باستخدام مكتبة matlab. تحويل الإشارة المتناوبة ثلاثية الطور ABC والتي تمثلها الإشارات Sine Wave7 و Sine Wave5 و Sine Wave8 إلى الإحداثيات d_q حيث تظهر الإشارات ABC على راسم الإشارة Scopeq1 كما تظهر الإشارات d_q على راسم الإشارة Scopeq، كما تم في نفس الشكل التحويل المعاكس من d_q إلى ABC. الشكل (11) يبين شكل الإشارة ثلاثية الطور ABC والإشارة d_q ويظهر من هذه الأشكال كيف أن الإشارة المتناوبة ثلاثية الطور المتوازنة تم تحويلها إلى إشارة مستمرة.



شكل (9): إشارات عناصر نموذج تمثيل القالبية: a - خرج مفتاح الوصل والفصل، b - دخل مفتاح الوصل والفصل، c - خرج تابع النقل الممثل لعناصر القالبية، d - دخل تابع النقل للقالبية

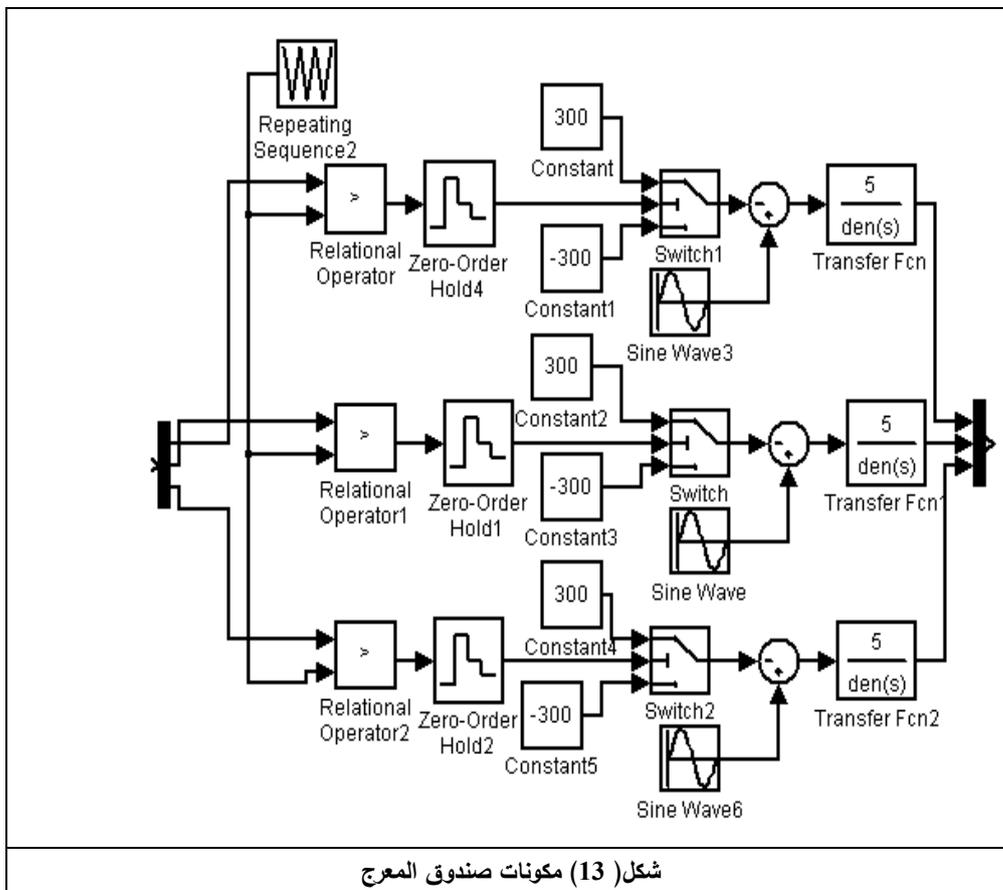
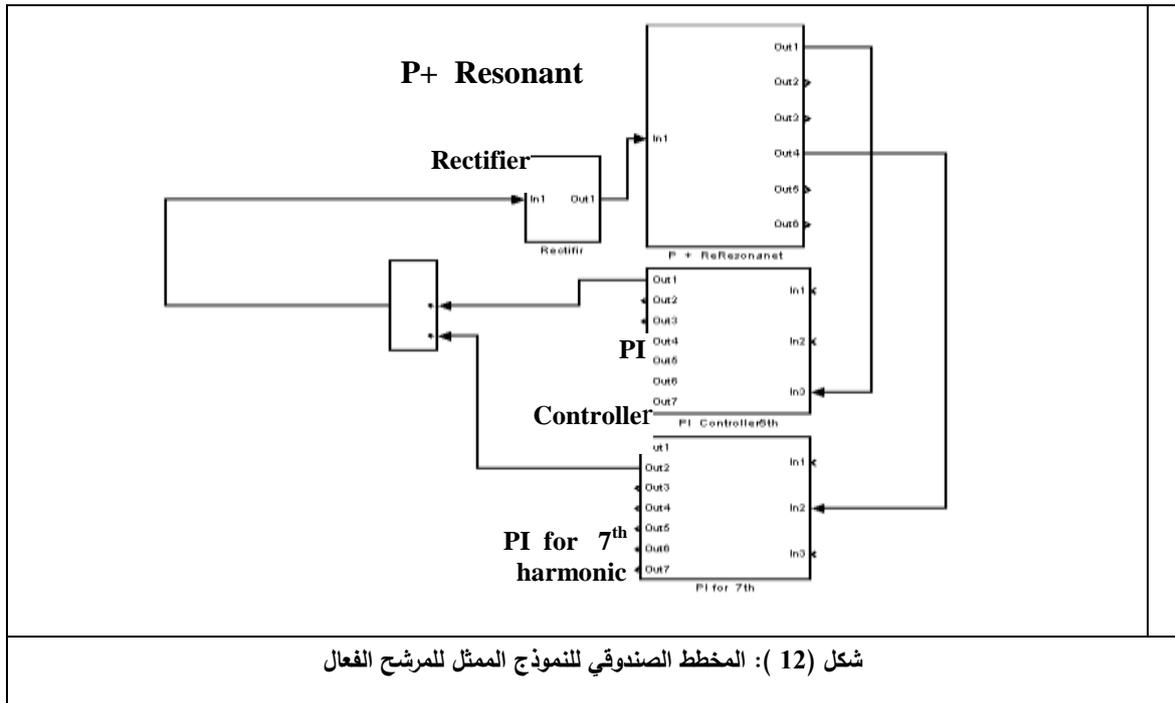


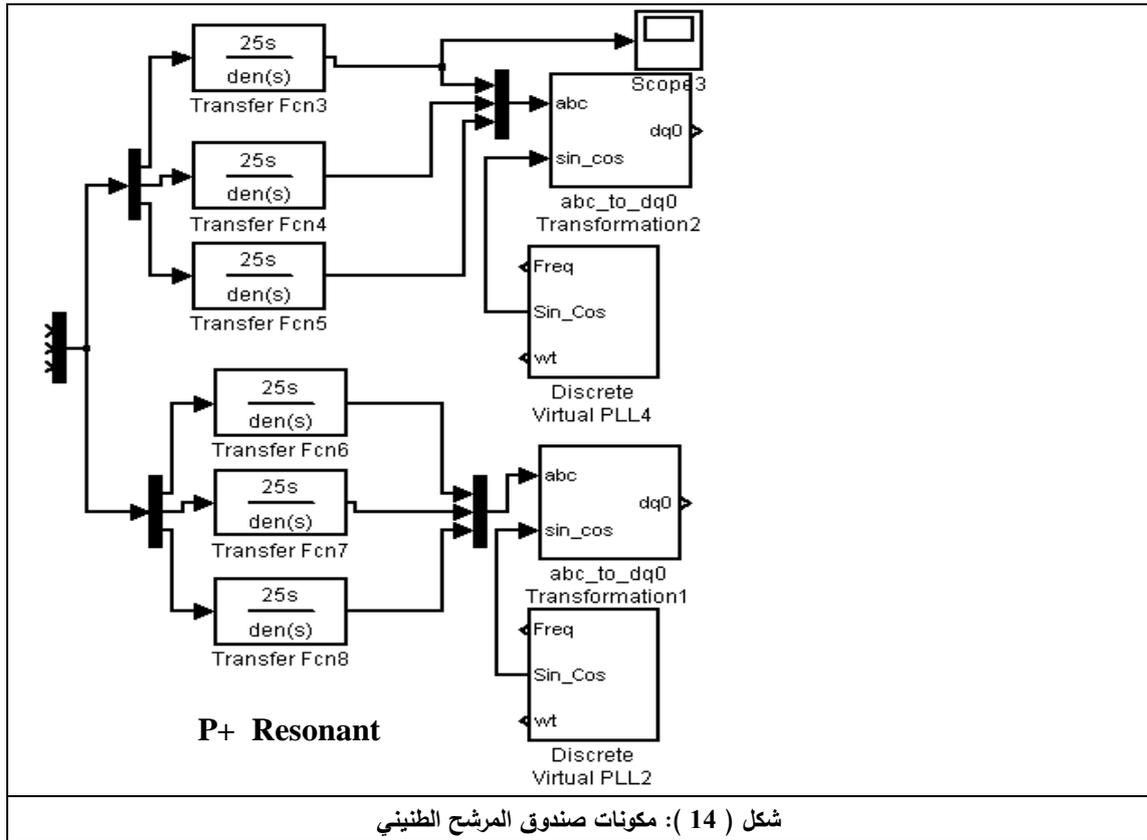
شكل (10): نموذج التحويل من المستوي A B C إلى D-Q والعكس



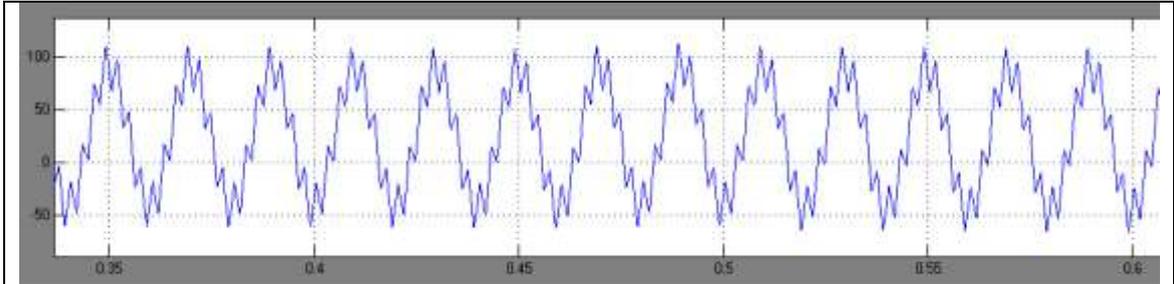
شكل (11) إشارة A B C ، وإشارة D-Q الموافقة

يمثل الشكل (12) التمثيل الصندوقي باستخدام matlab لمرشح التيار الفعال التفرعي ثلاثي الطور مع عناصر التحويل من المحاور ABC إلى d_q والعكس كما يضم تمثيل للمنظم PI وتمثيل المرشحات الطنينية الخاصة باستخلاص توافقيات خرج المرشح. كما توضح الأشكال (13) و (14) محتويات صناديق الشكل (12). تم تصميم المرشحات الطنينية باستخدام برنامج جاهز (Filter Solutions Ver 10.0) حيث يتم إدخال تردد التوافقية المطلوب الحصول عليها. وتم استخدام مرشحات للتوافقيات الخامسة والسابعة.

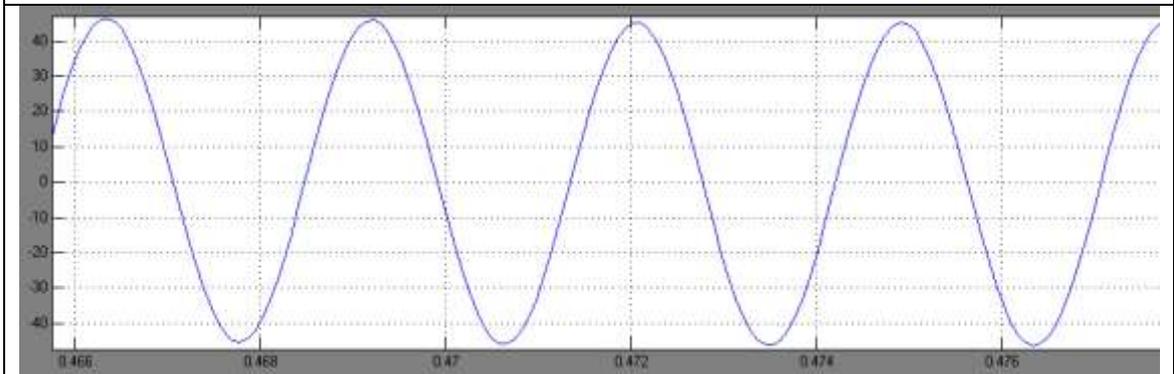




يمثل الشكل (15) إشارة خرج المرشح الفعال والتي تمثل بنفس الوقت دخلا للمرشح الطنيني الخاص بالتوافقية الخامسة لمراقبتها، كما يمثل الشكل (16) خرج المرشح الطنيني للتوافقية الخامسة.

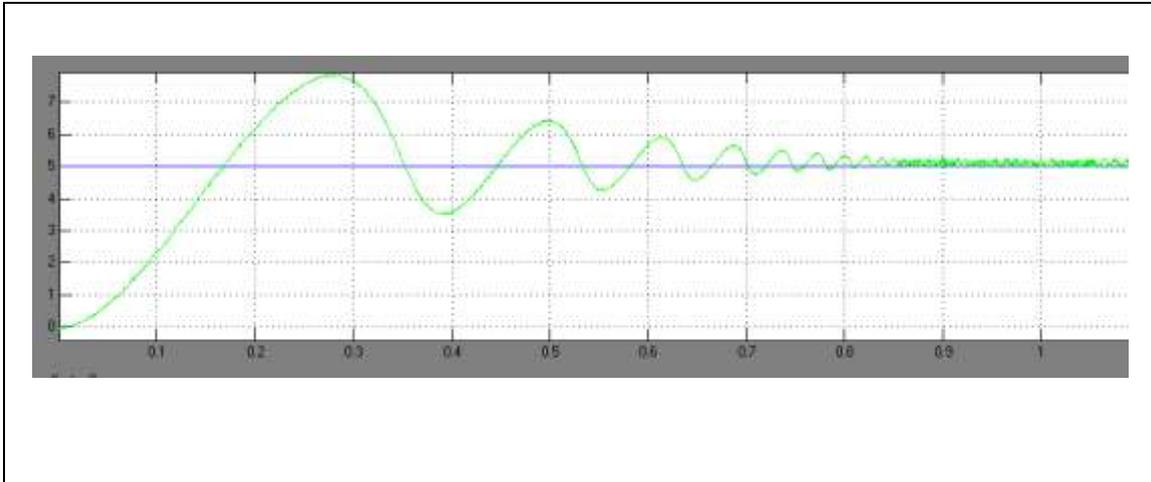


شكل (15) إشارة دخل مرشح التوافقية الخامسة الطنيني

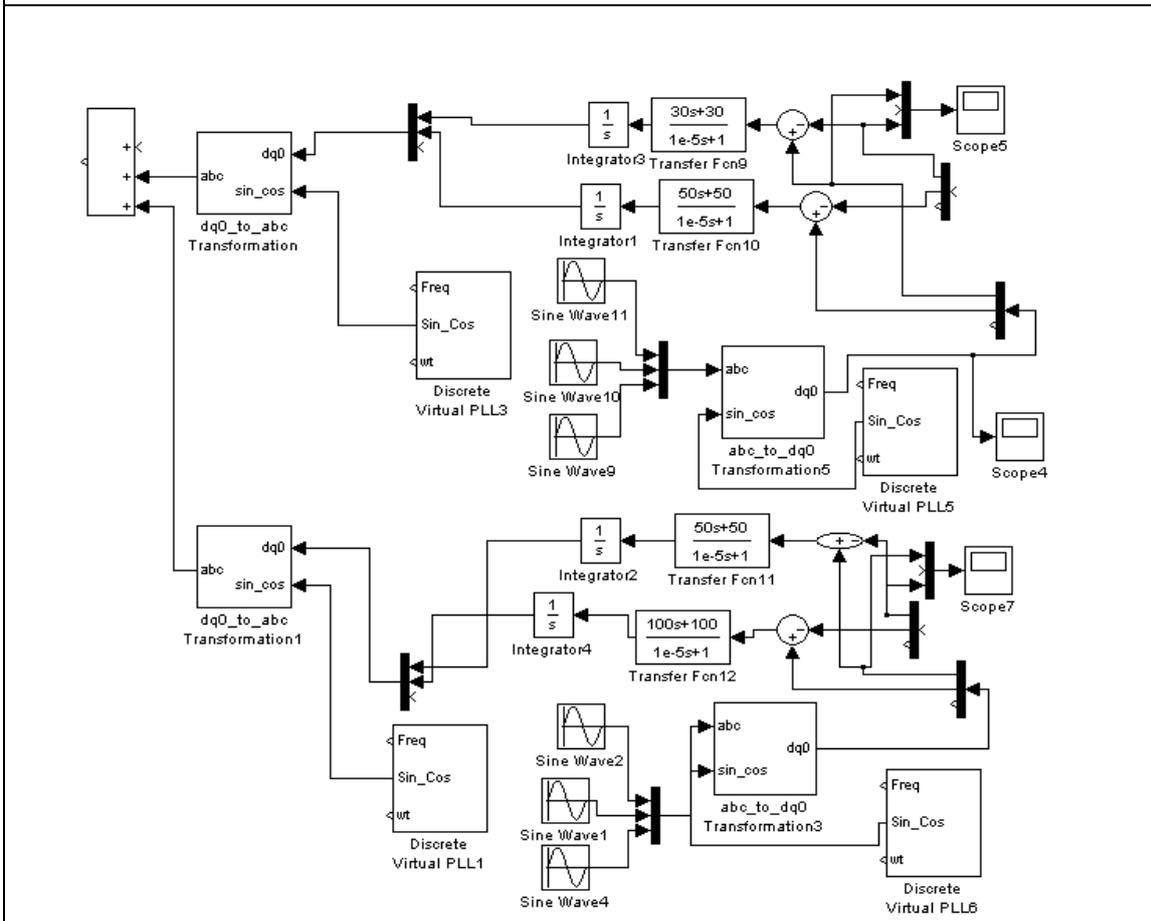


شكل (16) إشارة خرج مرشح التوافقية الخامسة الطنيني

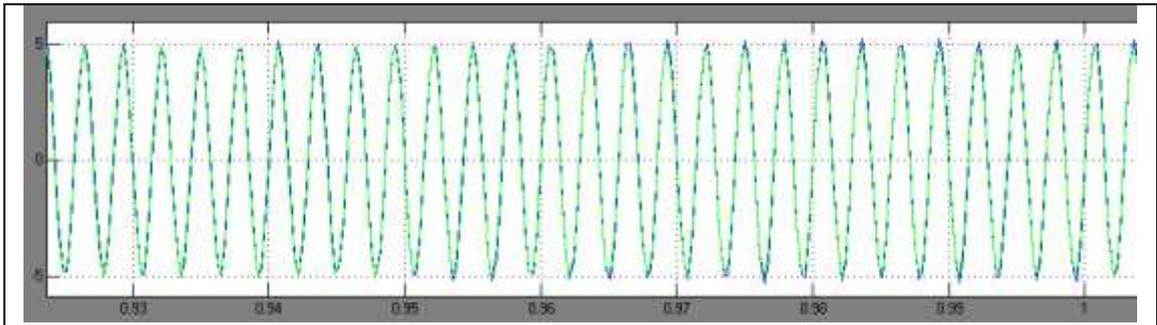
يمثل الشكل (17) إشارة دخل المرشح الفعال والتي هي بالأساس عبارة عن إحدى توافقيات الإشارة المرجعية المستخلصة من الإشارة المشوهة بعد تحويلها إلى المستوي d_q وإشارة خرج المرشح الفعال ويتضح من الشكل أنه بعد انقضاء الحالة العابرة نحصل على إشارة خرج للمرشح مطابقة لإشارة الدخل (المرجعية).



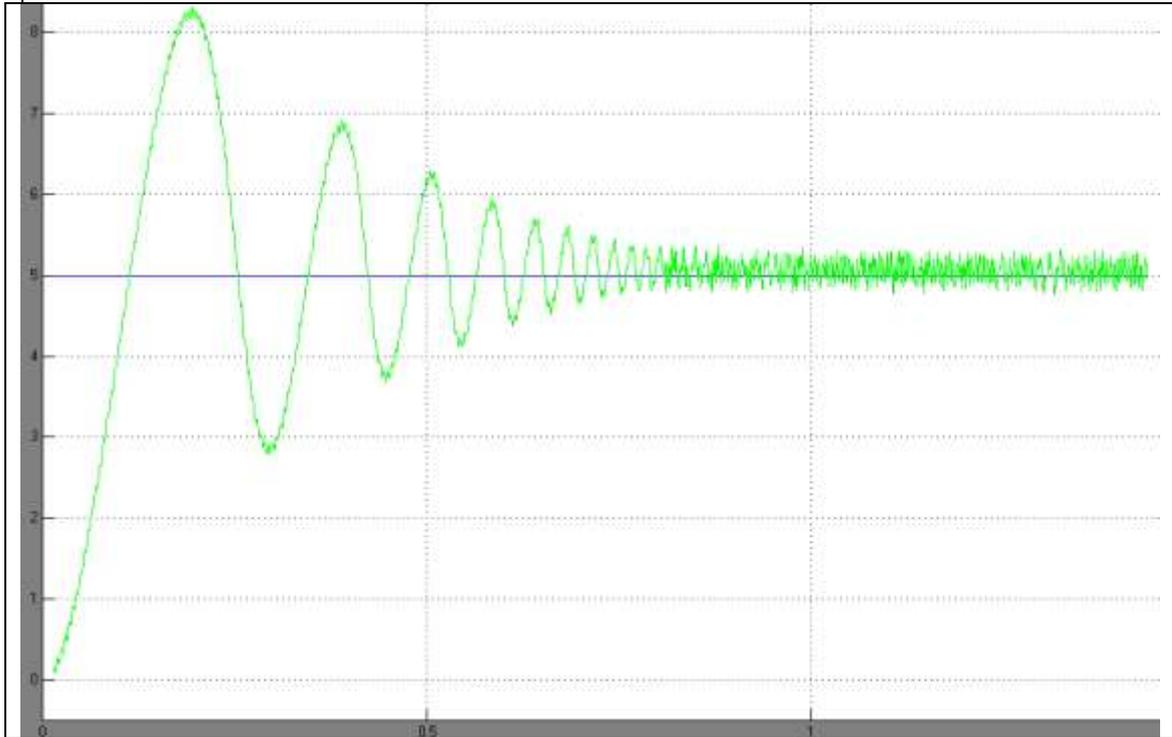
شكل (17) : إشارة خرج المنظم PI في المحاور D – Q بالمقارنة مع الإشارة المرجعية (تعويض 5th) (scope 5)



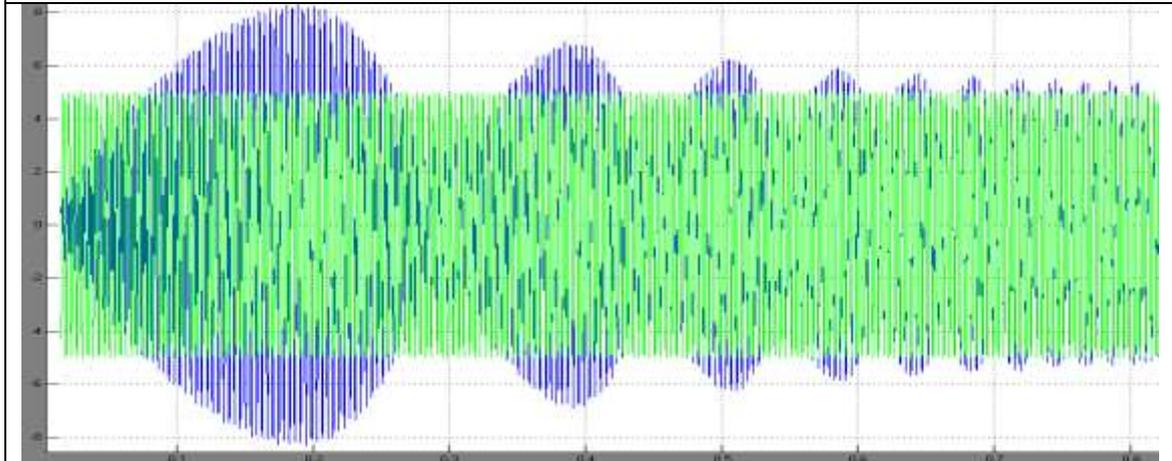
شكل (18) : تمثيل المنظم PI مع التحويل من A B C إلى D-Q والعكس



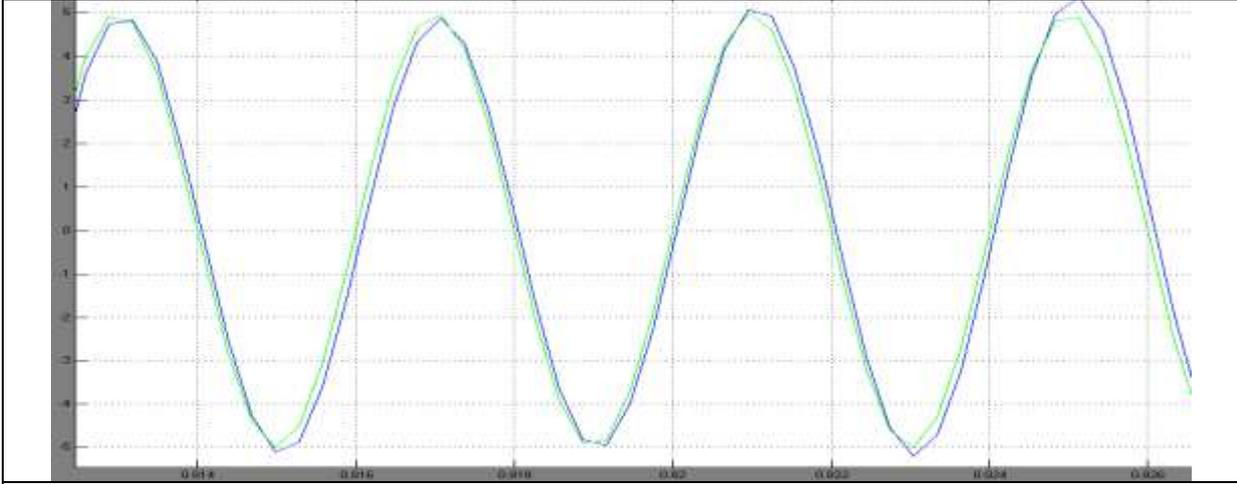
شكل (19): إشارة خرج المنظم PI المستقرة بعد التحويل للمستوي A B C بالمقارنة مع الإشارة المرجعية المتناوبة



شكل (20) خرج منظم التوافقية السابعة في المحاور D- Q (scope7)



شكل (21) خرج منظم التوافقية السابعة في المحاور A B C (الحالة العابرة)



شكل (21) خرج منظم التوافقية السابعة في المحاور ABC (الحالة المستقرة)

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1 - استخدمت في هذا العمل المرشحات الطنينية لاستخلاص إشارات التحكم الخاصة بالمرشح الفعال.
- 2 - إن استخدام المنظم (Controller) التناسبي التكاملي PI ساعد على قيادة خرج المرشح الفعال بشكل يتطابق مع الإشارة المرجعية وبعد زمن قليل نسبياً.
- 3 - تم من خلال المرشح الفعال المقترح توليد التوافقية الخامسة 5th والسابعة 7th اللازمين لتعويض مثل هذه التوافقيات المشوهة وبدقة جيدة.
- 4 - نقترح متابعة هذا العمل لتوليد توافقيات أعلى وبنفس الدقة مثل التوافقيات 11th و 13th.

المراجع:

- 1 - TA SHORT, Power technologies inc., ‘Harmonics and IEEE519’, Webpage: <http://www.pti-us.com/pti/consult/papers/harmonics/harmonics.htm>. Septeber 17 , 1992.
- 2 - SWAMY, M.M., MTE Corporation, ‘Harmonic reduction using broad band filters’, Webpage: <http://www.mtecorp.com/bbhf.html>.
- 3 -DUGAN, RC., Mcgranaghan, Bealy, MF. And HW, *Electrical power systems quality*, Chapter 5, McGraw-hill, 1996.
- 4 – ARRILLAGA, J. BRADLY, D. A., and BODER, PS., *Power system harmonics conf. 1995*.
- 5 – AKAGI, H., "New trends in active filters", European Power Electronics Conf., 1995.
- 6 – ARSOY, A., ALPIN, SM., "Modeling and Simulation of Power system harmonics", IEEE Product, 1998.
- 7 – GUILLE, AE., and PATERSON, W., *Electrical power systems*, Volume 1, Second Edition, Pergammon, 1982.
- 8 - RAY, WF., "The definition and importance of power factor for power electronic converters", European power Electronics Conference, 1989.
- 9- SHIMAMURA, T., KUROSAWA, R., HIRANO, M. and UCHINO, H., *Parallel operation of active and passive filters for variable speed cycloconverter drive systems*, in Proceedings of the 15th IEEE industrial Electronics Society Conference, vol. 1, 1989.
- 10 - BROCHE, C., LOBRY,J.,COLIGNON,P., and LABART,A., *Harmonic reduction in DC-link current of a PWM induction motor drive by active filtering*, IEEE Transactions on Power Electronics, 7(4), 1992.
- 11- BOSE, B.K. and KASTHA,D., *Electrolytic capacitor elimination in power electronic system by high frequency active filter*, in Proceedings of the IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, vol. 1, 1991.
- 12-ZHANG, W. and ASPLUND, G., *Active DC filter for HVDC systems*, IEEE. Transactions on Computer Applications in Power, 7 (1), 1994.
- 13 -Meyer, M., *Active Power filters for inverter locomotives-a concept for improved efficiency and low distortion currents*, in Proceeding of the 23rd IEEE Power Electronics Specialists Conference, vol. 1, 1992,.
- 14 -ROUND, S.D. and DUKE, R.M., *Active filter optimization for efficient variable frequency remote generation*, in Proceedings of the IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, vol. 2, 1993.
- 15 -DONLON, J., Motto, E., MAJUMDAR, G., MORI, S., TAYLOR, W., and Xu R., *A new converter/inverter system for wind power generation utilizing a new 600 Amp, 1200 volt intelligent IGBT power module*, in Proceedings of the IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, vol. 2, 1994.
- 16 -NABEA, A. and YAMAGUCHI, M., *Suppression of flickers in arc-furnace supply system by an active capacitance-a novel voltage stabilizer in power systems*, in Proceeding of the power conversion Conference, Yokohama, 1993.
- 17 – E Kassik, ‘Development of a passive filter network to reduce the harmonic voltage distortion at a commercial refrigeration plant’, Internal Report, INEP, UFSC, Brazil, 1998.