

تحسين أداء المرشحات الفعّالة التفرعية في الشبكات الكهربائية

الدكتور بسام عطية*

ضحى جديد**

(تاريخ الإيداع 6 / 8 / 2014. قَبْلَ للنشر في 15 / 3 / 2015)

□ ملخّص □

يتم في هذا البحث دراسة تأثير تحسين شروط عمل نظام التحكم بالمرشح الفعّال على تحسين أدائه في تعويض التوافقيات وتحسين جودة الطاقة الكهربائية. حيث يتم تحويل مدخلات نظام التحكم المتغيرة إلى قيم ثابتة مع الزمن. يتم اعتماد مطالات التوافقيات العليا كقيم مرجعية (قيم مقاسة) لنظام التحكم، بحيث يقوم المرشح بالعمل على تخفيض قيمها وبالتالي تحسين قيمة عامل التشوّه التوافقي الكلي (Total Harmonic Distortion (THD).

الكلمات المفتاحية:

Active Power filter, Harmonics, power quality, set point ,control systems, MATLAB

simulink

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

**ماجستير - قسم الأتمتة الصناعية - كلية الهندسة التقنية - جامعة تشرين - طرطوس - سورية.

Improving Parallel Active Filters' performance by enhancing control system's work conditions

Dr. Bassam Atiah*
Douha Jdeed**

(Received 6 / 8 / 2014. Accepted 15 / 3 / 2015)

□ ABSTRACT □

This paper presents the effects of enhancing control systems' work conditions on active power filter performance in improving power quality. We will convert the changeable inputs of the controllers into static ones. The high harmonics' amplitude will be the set-values of the controllers, so the active filter reduces them into zero and then THD will be in its permitted limits.

Key words: Active Power filter, Harmonics, power quality, set point ,control systems, MATLAB simulink

*Assistant Professor, Department Mechanic & Electric Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**Master Degree, Department of Automation Industrial, Faculty of Technical Engineering, Tishreen University, Tartous, Syria

مقدمة:

تتزايد مشكلة التوافقيات الناتجة عن أحمال مستهلكي الطاقة المتصلة مع شبكة التغذية الكهربائية بسبب تزايد وجود الأحمال اللاخطية الإلكترونية فيها وخاصة الأحمال التي تحوي على مبدلات قدرة إلكترونية مثل الكومبيوترات والتلفازات ووحدات الشحن UPS وأنظمة التحكم بسرعات وعزوم المحركات والتي تتزايد حساسيتها للتوافقيات مع تطورها [1]، مما جعل الحاجة لتقليل هذه التوافقيات ملحّة، وقد بدأ العمل على تقليل التوافقيات منذ عشرات السنين، واستخدمت المرشحات الفعّالة مع نظم تحكم مختلفة.

سيتم في هذا البحث دراسة تأثير تحسين شروط عمل المتحكم على تحسين عمل المرشح الفعّال في تقليل الخطأ والتشوّه الأعظمي ووضع نماذج تحاكي عمل المرشح الفعّال باستخدام الـ MATLAB واختبار هذا المرشح مع دارة تقويم ومبدلة ثايرستورية كأحمالٍ لاختبارها وسيتم تقييم جودة الترشيح والتحقق من النتائج في تحسين شكل الموجة.

أهمية البحث وأهدافه:

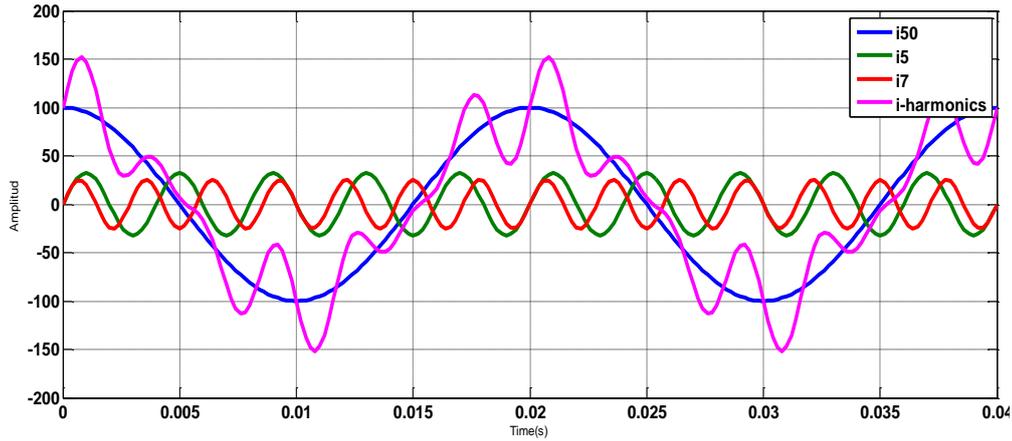
- 1- تحسين أداء المرشحات الفعّالة من خلال تحسين شروط عمل المتحكم، حيث تم اختيار المتحكم التناسبي التكاملـي PI.
- 2- تحسين جودة الطاقة وتقليل نسبة التشوّه الأعظمي في التيار THD من خلال تحسين أداء المرشح الفعّال.
- 3- اقتراح طريقة جديدة لاشتقاق التيارات المرجعية للمتحكم في المرشح الفعّال تعتمد على قياس مطالات التوافقيات العليا الخامسة والسابعة والحادية عشرة.
- 4- اقتراح طريقة جديدة لحساب اشارات دخل المتحكم تعتمد على قيم مطالات التوافقيات العليا ومقارنتها مع نقطة مرجعية ثابتة مع الزمن وتبيان مدى أهمية هذه النقطة.
- 5- وضع نماذج تحاكي عمل المرشح الفعّال باستخدام MATLAB.
- 6- اختبار المرشح الفعّال مع طريقة التحكم الجديدة بوجود دارة تقويم ومبدلة ثايرستورية بقيم متغيرة لزوايا الفتح، والتحقق من النتائج في تحسين التشوّه التوافقي THD.

طرائق البحث ومواده:

أنجز هذا العمل اعتماداً على دراسة العديد من البحوث السابقة في هذا المجال والاطلاع على نتائجها. تم استخدام بيئة MATLAB في وضع النماذج التي تحاكي المرشح الفعّال وأنظمة التحكم واستخلاص النتائج.

1 - التوافقيات Harmonics:

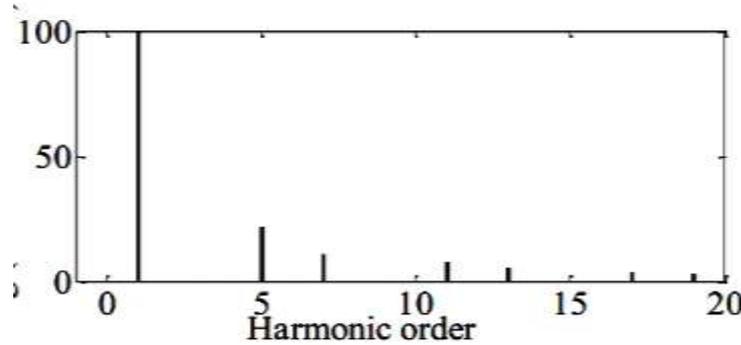
التوافقيات هي إشارات بترددات من مضاعفات التردد الأساسي، وتسبب تشوّه الإشارة الجيبية. يمكن اعتبار التشوّه التوافقي كتلوث في نظام القدرة الكهربائية يسبب مشاكل في حال تجاوزت بعض التوافقيات حدود معينة. يبين الشكل (1) مركبة أساسية بتردد 50Hz وتوافقياتها الخامسة والسابعة.



الشكل (1): إشارة جيبية بتردد 50Hz وتوافقياتها الخامسة 250Hz والسابعة 350Hz.

2- تحليل التوافقيات في مجال التردد:

يستخدم التحليل في مجال التردد بشكل كبير في تحليل ونمذجة نظم الطاقة التي تعمل تحت تأثير التوافقيات [4]، ويتم فيه تحليل التوافقيات وفق تحويل فوريير السريع الرقمي Digital FFT الذي يعطي المعلومات الكاملة عن التوافقيات من خلال الطيف التوافقي الذي يحدد رتب ومطالات التوافقيات كما في الشكل (2)، حيث يعبر عن التوافقيات بمطالاتها التي تكون كنسب مئوية من مطال المركبة الأساسية [3].



الشكل (2): الطيف التوافقي لإشارة ملوثة بالتوافقيات.

3- الآثار السلبية للتوافقيات:

زيادة التسخين نتيجة زيادة الضياعات الحديدية والنحاسية، تسخين كابلات نقل الطاقة، نتائج خاطئة لعناصر القياس، زيادة تسخين وضياعات المفاتيح الإلكترونية.....

4- جودة الطاقة الكهربائية:

تعرف جودة الطاقة بأنها مقدار يقيس الأثر الناتج عن أي تغير يطرأ على التيار أو الجهد أو التردد ويؤدي إلى أضرار في أجهزة المستهلك من تلف وخلل في الأداء [2، 6]. يمكن ملاحظة مشاكل جودة الطاقة من خلال أحد الأعراض التالية:

1- رجفان المصابيح Lamp flicker.

2- التعتيم المتكرر Frequent blackouts.

3- تلف أجهزة التحسس والقياس Sensitive-equipment frequent dropouts.

4- ظهور جهود غير متوقعة على الأرضي.

5- تسخين زائد للأجهزة.

6- تداخل الاتصالات Communications interference.

5- معايير قياس جودة الطاقة الكهربائية:

1- التشوه التوافقي الكلي (THD) Total Harmonic Distortion:

يقيس THD التشوه التوافقي للإشارة، ويعطى بالعلاقة: [8]

$THD\% = 100 \cdot \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{Hn}^2}}{I_{H1}}$	(1)
<p>حيث:</p> <p>n: رتبة التوافقية.</p> <p>I_{Hn}: تيار التوافقية ذات الرتبة n.</p> <p>I_{H1}: تيار التوافقية ذات التردد الأساسي.</p>	

ينتج التشوه التوافقي عن وجود إشارات بتكرارات من مضاعفات التردد الأساسي، ويعد THD المقدار الأكثر استخداماً في تحديد التوافقيات.

6- المعايير التي تضبط التشوه التوافقي:

قامت بعض الدول المتطورة بوضع توصيات ومعايير لضبط التوافقيات والتشوهات الناتجة عنها ضمن مستويات محددة بهدف الحد من انتشارها والمحافظة على جودة الطاقة.

في أمريكا، تم تطبيق المعيار IEEE Std 519 لضبط التوافقيات والتشوه التوافقي الناتج عنها ضمن حدود معينة، ويطبق هذا المعيار على التيارات والجهود عند نقطة الوصل المشتركة Point of Common Coupling (PCC) [8، 9] أثناء تصميم بارامترات النظام وتعبّر عن أسوأ حالة للعمل الطبيعي، ويبين الجدول (1) حدود تشوه التيار التوافقي للأحمال اللاخطية عند PCC [8، 9].

الجدول 1: المعيار الأمريكي لحدود تشوهات التيار IEEE Std 519 للأحمال اللاخطية في PCC.

Maximum Harmonic Current Distortion % of Fundamental (تشوه التيار التوافقي الأعظمي كنسبة مئوية من المركبة الأساسية)						
Harmonic Order (Odd Harmonics) (رتبة التوافقية الفردية)						
$I_{sc}/I_L(SCR)$	<11	11<=h<=17	17<=h<=23	23<=h<=35	h<=35	THD
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50-100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.5	5	2	1	15

>1000	15	7	6	2.5	1.4	20
-------	----	---	---	-----	-----	----

حيث:

I_{sc} : تيار دائرة القصر الأعظمي في نقطة التوصيل المشتركة PCC.

I_L : تيار الحمولة الأعظمي الأساسي للمستهلك في PCC.

7- التحكم بالتوافقيات وحلول مشاكل جودة الطاقة باستخدام المرشحات الفعّالة:

1- المرشحات الفعّالة:

تربط المرشحات الفعّالة مع شبكة التغذية الكهربائية عند PCC لتعويض توافقيات التيار والجهد الناتج عن ربط أحمالٍ لخطيةٍ مع الشبكة في النقطة PCC، حيث تحذف المرشحات الفعّالة التوافقيات عن طريق توليد تيارات أو جهود مساوية بالقيمة ومعاكسة بالطور لتلك التوافقيات وحققها في الشبكة عند PCC لتعود تيارات وجهود الشبكة جيبية نظامية وخالية من التوافقيات من النقطة PCC وحتى المنبع.

تتألف المرشحات الفعّالة بشكل عام من قالبية inverter وعنصر لتخزين الطاقة وتربط إلى الشبكة عن طريق ملفات خطية إضافةً إلى نظام تحكم بالقالبية، ولها أنواع مختلفة يمكن تصنيفها حسب نوع القالبية وعدد أطوارها وطريقة الربط مع الشبكة.

يبين الشكل (3) مرشح فعال تفرعي (Active Power Filter (APF)) ثلاثي الطور مصمم لتعويض توافقيات

تيار حمل لخطية ثلاثي الطور متوازن، ويمكن وضع المعادلات الأساسية للنظام والمرشح الفعال وفق التالي:

$$V_a = V_{fa} + R_f \cdot i_{fa} + L_f \cdot \frac{di_{fa}}{dt} \quad (2)$$

$$V_b = V_{fb} + R_f \cdot i_{fb} + L_f \cdot \frac{di_{fb}}{dt} \quad (3)$$

$$V_c = V_{fc} + R_f \cdot i_{fc} + L_f \cdot \frac{di_{fc}}{dt} \quad (4)$$

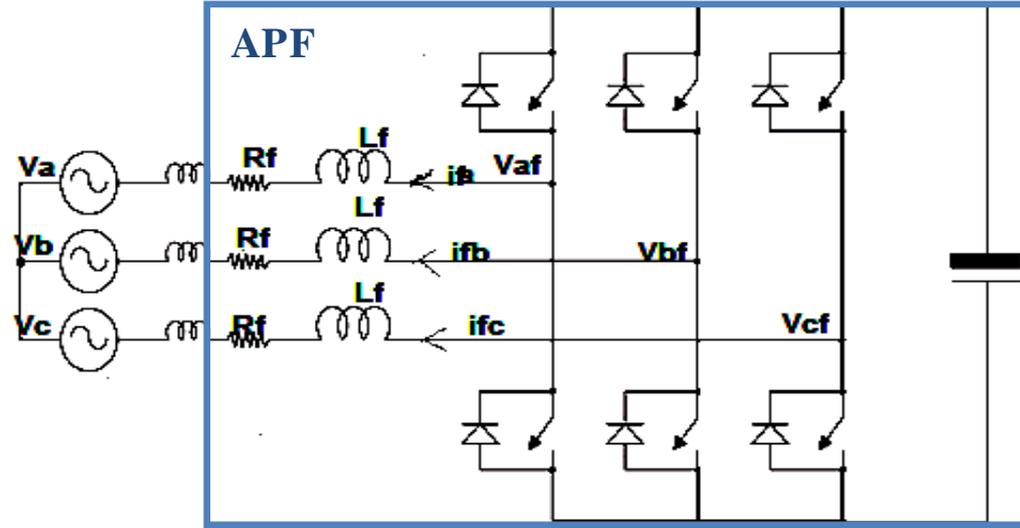
حيث: $V_{a,b,c}$: جهد المنبع لكل من الأطوار الثلاثة.

$V_{fa,fb,fc}$: الجهد على خرج المرشح الفعال.

R_f : مقاومة المرشح الفعال.

L_f : تحريضية المرشح الفعال.

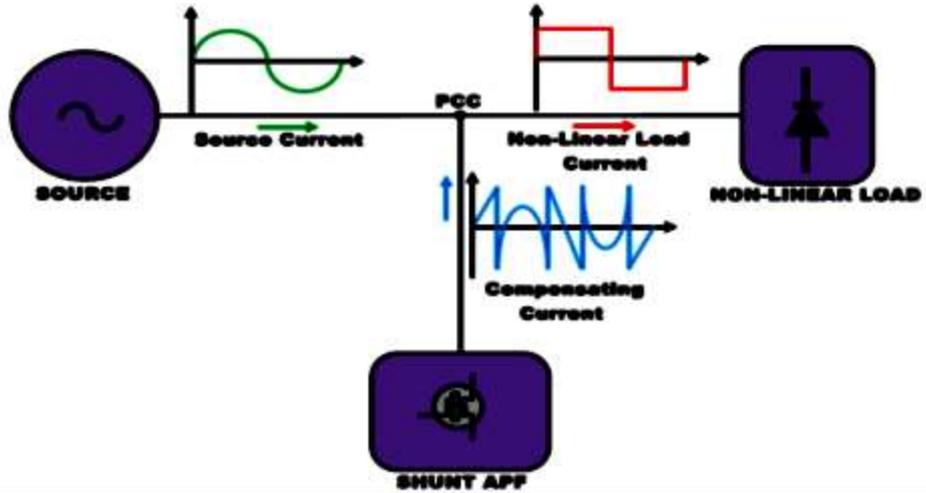
$I_{fa,fb,fc}$: تيار المرشح الفعال.



الشكل(3): المرشح الفعال.

2- المرشح الفعال التفرعي Shunt Active Filter:

يوصل المرشح الفعال التفرعي على التفرع مع الأحمال اللاخطية التي صمم لتعويضها عبر تحريضية تحدد قيمتها حسب متطلبات النظام [7,2]، يعمل المرشح الفعال التفرعي كمنبع تيار مثالي ومنبع تيارات توافقية ليلغي التيارات التوافقية الناتجة عن وجود الحمل اللاخطي [1,2,3,7]. يبين الشكل (4) آلية عمل المرشح الفعال التفرعي.



الشكل (4): المرشح الفعال التفرعي

يمكن أن تكون المرشحات الفعالة التفرعية أحادية الطور أو ثلاثية الطور، وهي تستخدم قالبة كمنبع للتيار Voltage Source Inverter (VSI)، ويكون التيار الناتج عنها مساويا بالقيمة ومعاكسا بالإشارة للتيارات التوافقية التي صمم لتعويضها [1,6].

3- طريقة التحكم الجديدة :

تعتمد هذه الطريقة على نقطتين أساسيتين:

- 1- طريقة استخراج التيارات المقاسة: حيث ستكون التيارات المقاسة هي عبارة عن تيارات التوافقيات العليا التي نريد حذفها وفي حالتنا هذه سنقوم بحذف التوافقيات الخامسة والسابعة والحادية عشرة من خلال تصميم دائرة خاصة لإنجاز هذه المهمة وذلك لأنها تشكل النسبة العظمى من التوافقيات المشوهة والتي تصل إلى 95%.
- 2- طريقة الحصول على تيارات دخل المتحكمات PI أي إشارات الخطأ، حيث ستم مقارنة مطالات التيارات التوافقية المقاسة التي تم الحصول عليها في المرحلة السابقة مع نقطة مرجعية ثابتة، ستكون عبارة عن القيمة صفر. أي سيعمل المتحكم في المرشح على جعل مطالات التوافقيات مساوية تقريباً للصفر وبالتالي تقليل التشوه التوافقي في التيار.

12- محاكاة ونمذجة المرشح الفعال تفرعي مع الطريقة الجديدة في التحكم باستخدام MATLAB:

تم العمل والنمذجة على مرحلتين: الأولى استخدمنا فيها حملاً لاخطياً ثابتاً عبارة عن دائرة تقويم، والمرحلة الثانية الحمل اللاخطي مبدلة ثابستورية بقيم متغيرة لزوايا الفتح α ، وفي كلتا الحالتين استخدمنا قيمة تحريضية الملفات الخطية التي تربط المرشح بالشبكة ومقدارها. $L_f=300\mu H$ [7,2].

المرشح الفعال عبارة عن قالبة نصف جسرية بستة مفاتيح من النوع IGBT تعمل بتردد تبديل يصل حتى 20kHz [6]، وقد تم تمثيل المكثف على دخل القالبة بمنبع جهد مستمر بقيمة 700V [7,2]، ويبين الشكل (6) نظام القدرة الكامل المؤلف من منبع التغذية الثلاثي الطور والمرشح الفعال والحمل اللاخطي.

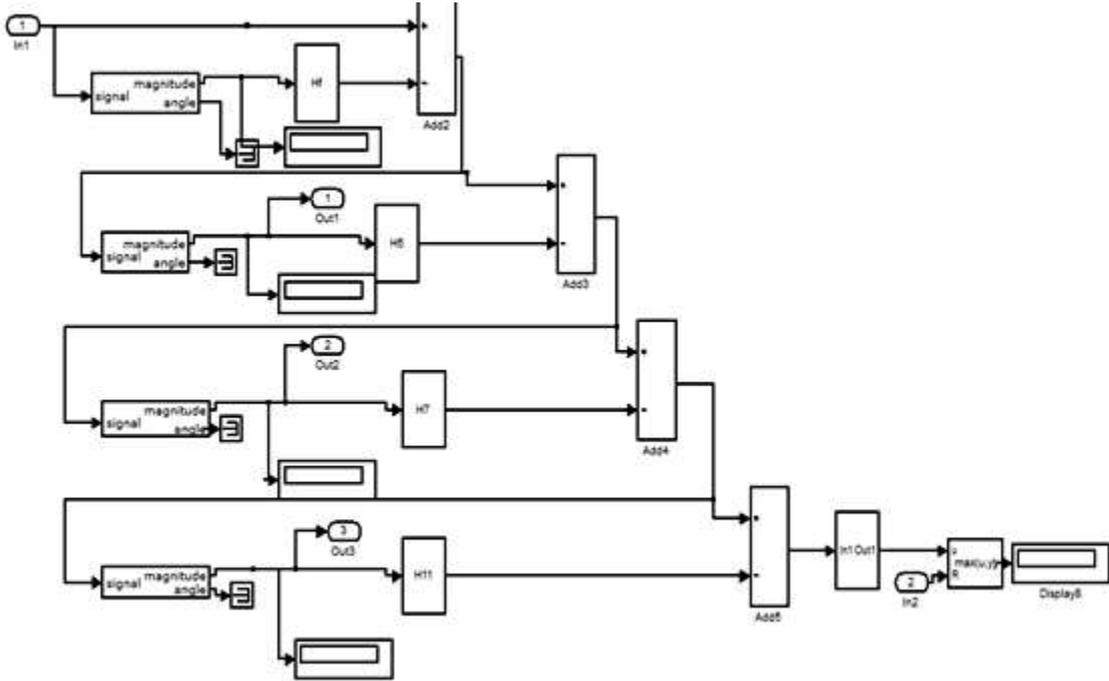
تم ضبط ثوابت المتحكم عند القيم: $k_p=30$ و $k_i=0.1$ وهي قيم توصلنا إليها بتشغيل النموذج عند قيم مختلفة لهذه الثوابت فكانت هي الأفضل، مع العلم أنه يتم ضبط هذه الثوابت عند تغيير الأحمال من حيث الاستطاعة والنوع ومحددات شبكة التغذية.

✓ استخدام طريقة استخراج التيارات المقاسة من مطالات التوافقيات العليا:

قمنا في هذا العمل بتصميم دارات استخراج مطالات التوافقيات العليا الخامسة والسابعة والحادية عشرة المبينة بالشكل (5)، لتكون القيمة المقاسة بالنسبة للمتحكمات. حيث يستخدم بلوك قياس مطال الإشارة عدة مرات ويتم فيه اختيار رتبة التوافقية المراد قياس مطالها.

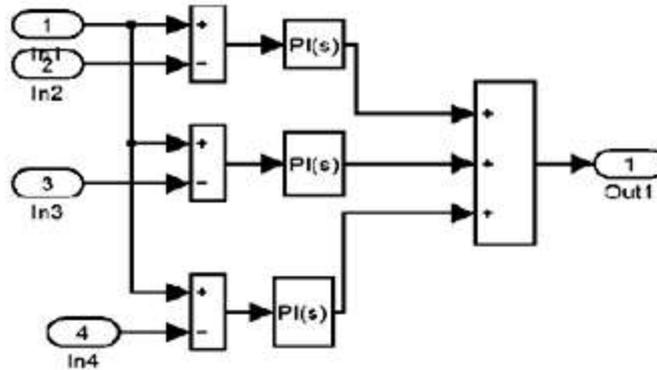
في المرحلة الأولى يتم حذف مطال المركبة الأساسية ذات التردد 50Hz، وفي المرحلة اللاحقة يتم حذف مطال التوافقية الخامسة من الإشارة الناتجة عن المرحلة الأولى وإخراج المطال على الخرج 1.

بنفس الطريقة يتم الحصول على مطالات التوافقيات السابعة والحادية عشرة وإخراجها عبر المخارج 2,3 على التوالي.



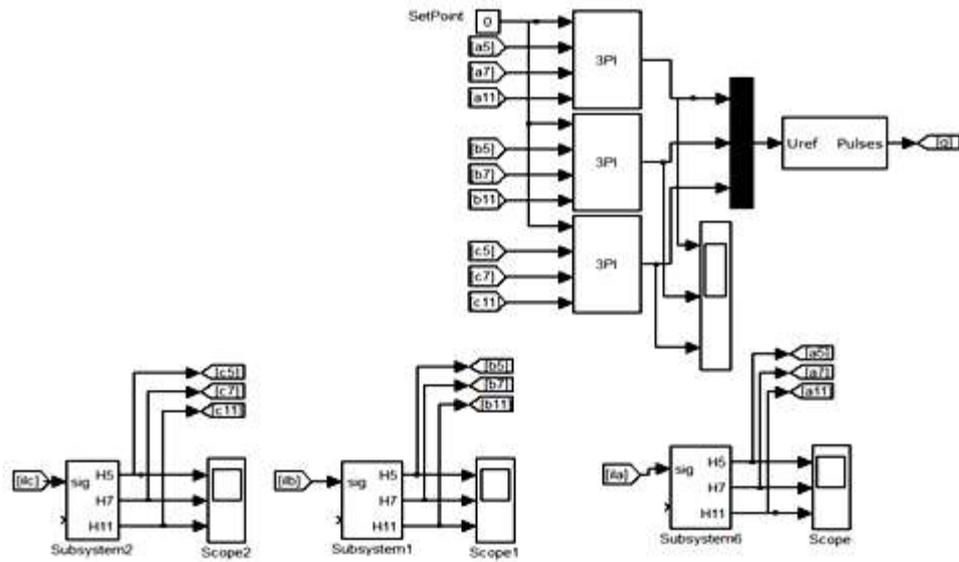
الشكل (5): دارة قياس مطالات التوافقيات الخامسة والسابعة والحادية عشرة.

بعد أن نحصل على المطالات نقوم بحساب اشارات الخطأ وذلك بمقارنة المطالات على المداخل 2,3,4 مع قيمة ثابتة مع الزمن على الدخل 1 وهي القيمة صفر، ثم نمرر إشارات الخطأ الناتجة إلى المتحكمات PI كما هو مبين في الشكل (6).



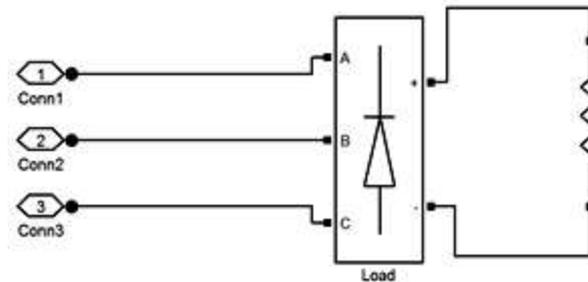
الشكل (6): متحكمات الطور الواحد للتوافقيات الثلاث.

حيث تم استخدام متحكم لكل توافقية وبالتالي هناك ثلاثة متحكمات لكل طور من أطوار التيار a,b,c وبالتالي هناك تسعة متحكمات PI، والمتحكم ككل مبين في الشكل (7)، ثم يتم جمع إشارات التحكم الناتجة للأطوار الثلاثة لتشكل إشارة تحكم ثلاثية الطور تمرر إلى دارة قيادة تعديل عرض النبضة (Band Width Modulation (BWM) التي ستقوم بدورها بتوليد نبضات قرح مفاتيح قابلة المرشح. يقوم المرشح الفعال بتوليد تيارات مساوية للتوافقيات العليا المقاسة ومعاكسة لها بالإشارة وبحقنها في الشبكة عند النقطة PCC.



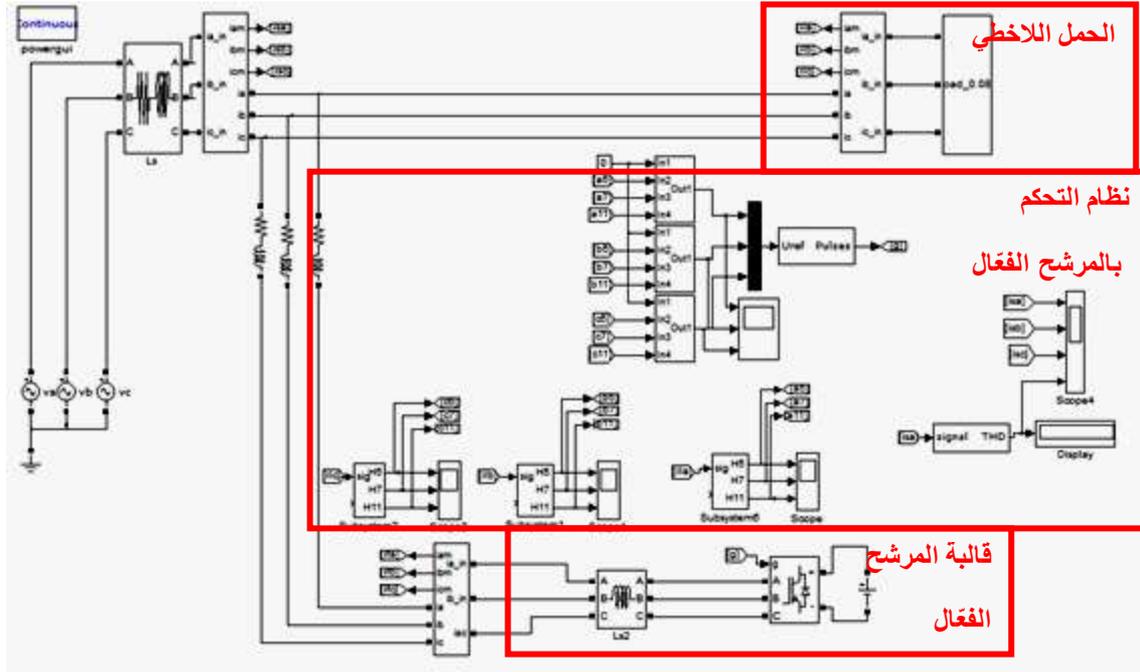
الشكل (7): دارة المتحكم بالمرشح الفعال للأطوار الثلاثة

تم تطبيق نظام التحكم الجديد على المرشح الفعال السابق وعلى نفس نظام التوزيع المؤلف من منبع جهد ثلاثي الطور مع حمل لا خطي، يبين الشكل (8) الحمل اللاخطي وهو دارة تقويم مع حمل أومي 2Ω .



الشكل (8): الحمل اللاخطي دارة تقويم ديودية.

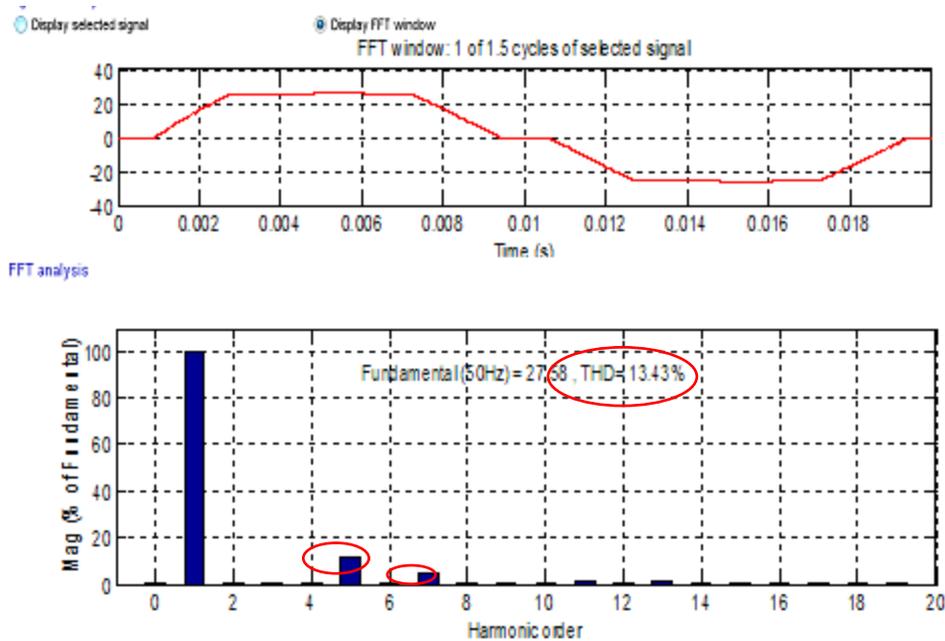
يبين الشكل (9) النظام الكهربائي الكلي بعد استخدام نظام التحكم الجديد.



الشكل (9): النظام الكامل للمرشح الفعال مع نظام التوزيع الكهربائي

النتائج والمناقشة:

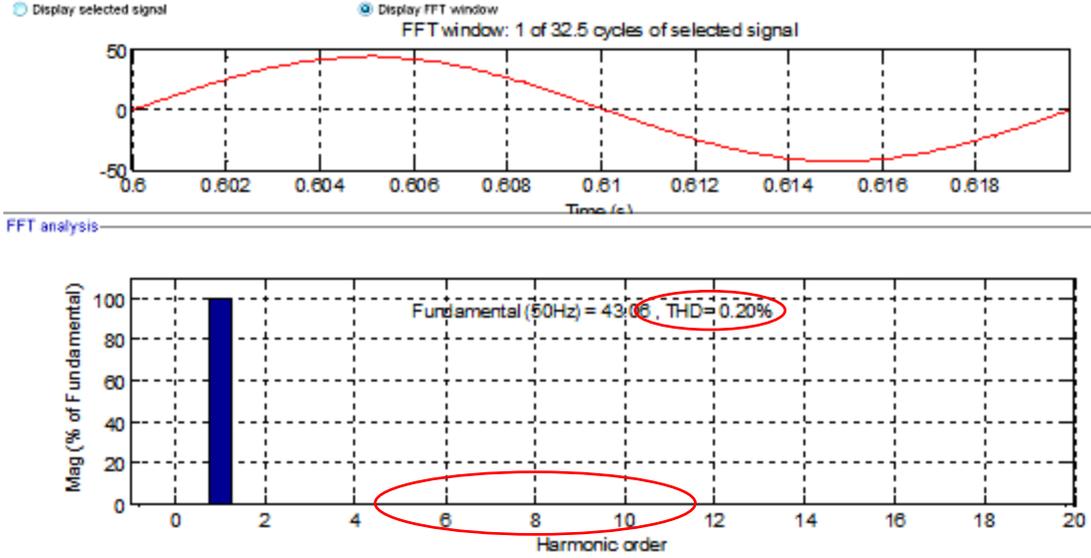
1- في حالة الحمل الديودي: قبل تشغيل المرشح الفعال، نلاحظ الشكل المشوه لتيار الشبكة والقيمة العليا THD وهي 13.43% وحدها الأعلى هو 5% حسب الجدول (1)، ويبين الشكل (10) تيار الشبكة وطيفه التوافقي قبل التعويض.



الشكل (10): تيار المنبع وطيفه التوافقي قبل التعويض، THD=13.43%.

بعد عمل المرشح، تقوم دائرة قياس المطالات بقياس مطالات التوافقيات العليا ومقارنتها مع القيم الصفرية ثم إدخال إشارة الخطأ إلى المتحكمات PI الست، من ثم تمرر المتحكمات إشارات التحكم إلى دائرة تعديل عرض النبضة ثم إلى قابلية المرشح. تقوم قابلية المرشح الفعال بتوليد تيارات بحيث يتم إنقاص مطالات التوافقيات العليا إلى الصفر تقريباً.

يبين الشكل (11)، تيار المنبع وطيفه التوافقي بعد التعويض، حيث نلاحظ أن شكل موجة التيار جيبي وقيمة THD=0.2% أي أدنى من الحد المطلوب بكثير.



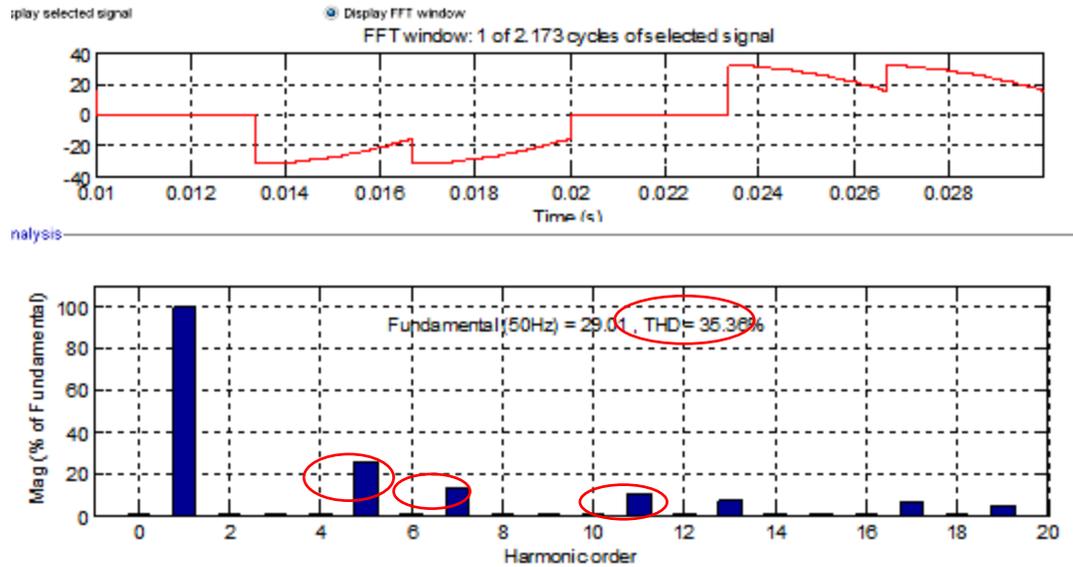
الشكل (11): تيار المنبع وطيفه التوافقي بعد التعويض، THD=0.2%.

** تمّ في [8]، والذي يستخدم المتحكم PI و المتحكم PI الضبابي للتحكم بالمرشح الفعال، تقليل THD من 28.34% إلى 4.7% في كل من الحالتين.

2- في حالة الحمل الثايرستوري: وبقيم متغيرة لزوايا القدح:

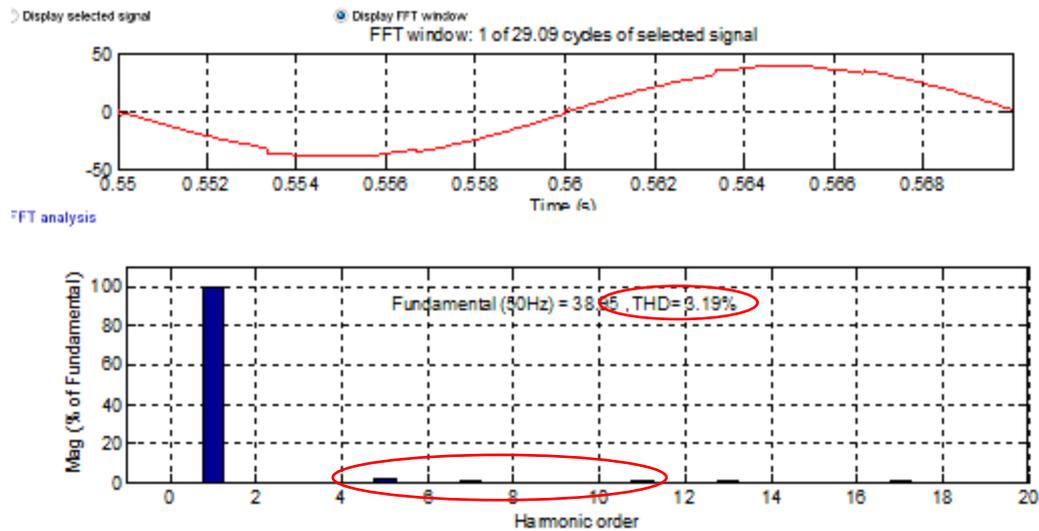
من المعروف أن الحمل الثايرستوري يسبب تشوّهاً كبيراً في تيار الشبكة، ويزداد هذا التشوّه بزيادة زوايا القدح، لذلك قمنا بتشغيل المرشح الفعال مع عدة قيم لزوايا القدح وكانت النتائج جيدة وتمّ تخفيض قيم THD إلى حدوده المسموحة.

1) عند $\alpha=30^\circ$: يبين الشكل (12) تيار المنبع وطيفه التوافقي عند زوايا القدح 30 ونلاحظ تشوّه إشارة التيار والقيمة العالية لـ THD=35.36%، بينما الحد الأعلى المسموح لها هي 12%. نلاحظ من الشكل المطالات العالية للتوافقيات الخامسة والسابعة والحادية عشرة.



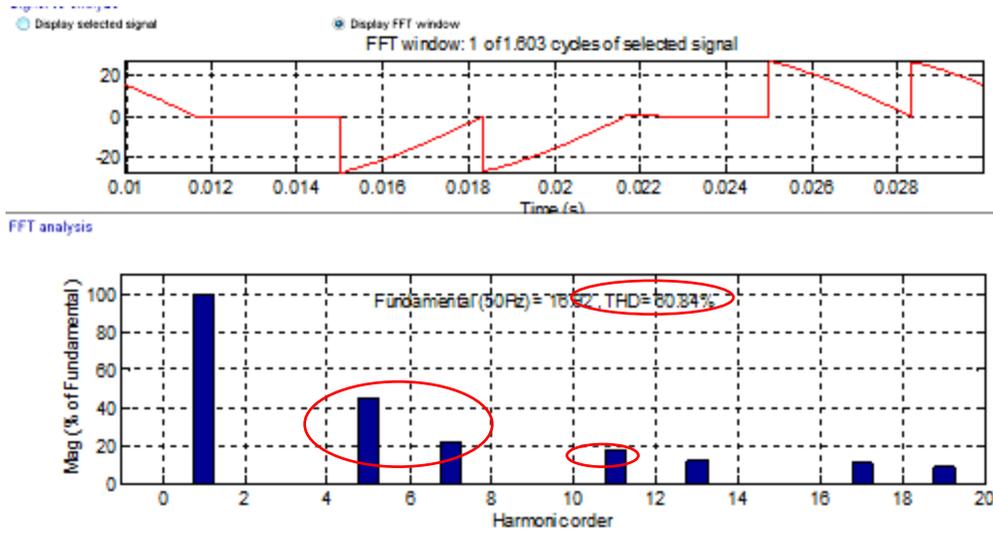
الشكل (12): تيار المنبع وطيفه التوافقي قبل التعويض عند زوايا القرح 30، THD=35.36%.

يتم تشغيل المرشح الفعال فيتم تخفيض مطالات التوافقيات العليا بشكل كبير وبالتالي يتحسن الشكل الجيبي لتيار المنبع. كما يتم تخفيض قيمة THD إلى 3.19% وهي أقل من 12 أي تم تحسين جودة الطاقة بشكل جيد. يبين الشكل (13) تيار المنبع وطيفه التوافقي بعد الترشيح. نلاحظ الشكل الجيبي الجيد، والانخفاض في قيمة THD إلى 3.19%.



الشكل (13): تيار المنبع وطيفه التوافقي بعد التعويض عند زوايا القرح 30، THD=3.19%.

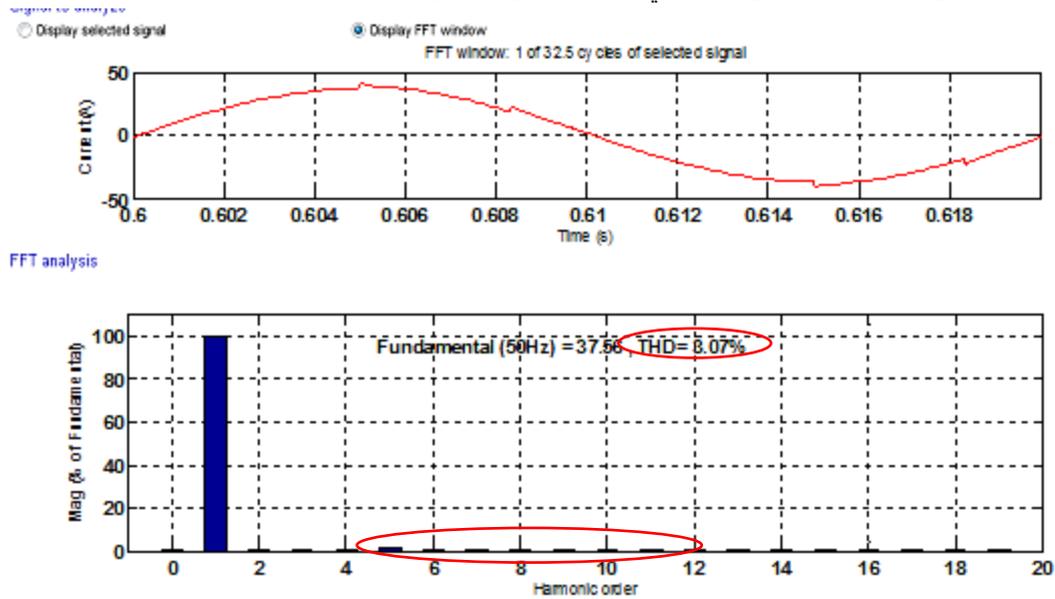
(2) عند $\alpha=60^\circ$ يبين الشكل (14) تيار المنبع وطيفه التوافقي عند زوايا القرح 60 ونلاحظ تشوه إشارة التيار والقيمة العالية THD=60.84%، بينما الحد الأعلى المسموح لها هي 15%.



الشكل (14): تيار المنبع وطيفه التوافقي قبل التعويض عند زوايا القرح 60، THD=60.84%.

بعد الترشيح، يتم تخفيض مطالات التوافقيات وبالتالي قيمة THD إلى 3.07% وهي أقل من 15. يبين الشكل (15) تيار المنبع وطيفه التوافقي بعد التعويض.

نلاحظ من الشكل الانخفاض الكبير في مطالات التوافقيات وقيمة THD.



الشكل (15): تيار المنبع وطيفه التوافقي عند زوايا القرح 60، THD=3.07%.

** تم في [9]، والذي يعتمد على التحكم بالمرشح الفعال باستخدام الشبكات العصبونية، الحصول على تخفيض في قيم THD من 30.11% إلى 13.24% عند زوايا قرح 54°، ومن 17.51% إلى 9.24% عند زوايا قرح 36°.

مناقشة النتائج:

✓ في حالة الحمل اللاخطي دارة تقويم:

1- تم تخفيض THD إلى 0.2% في حالة استخدام الطريقة الجديدة المقترحة في التحكم والتي تعتمد على قياس مطالات التوافقيات العليا، ونسبة THD بعد الترشيح $5 >$ وهي ضمن الحدود المطلوبة في المعيار IEEE Std 519.

2- قام المرشح بتعويض التوافقيات التي يحقنها الحمل اللاخطي في الشبكة عند نقطة اتصاله معها وبالتالي ستبقى هذه التوافقيات محصورة بالحمل المسبب لها دون أن يمتد تأثيرها إلى تيار الشبكة.

✓ في حالة الحمل اللاخطي مبدلة ثايرستورية:

1- قام المرشح الفعال بحقن تيارات في الشبكة بحيث يتم تقليل مطالات التوافقيات العليا عند فئة من زوايا القرح، وبالتالي تحسّن للتغيرات في الحمل اللاخطي الذي يعوضه واستجاب لها.

2- تم تقليل قيم THD إلى أدنى من الحدود المسموحة عند جميع قيم زوايا القرح، وبالتالي تم تحسين جودة الطاقة حسب المعيار IEEE STD 519.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1- عند قياس مطالات التوافقيات العليا المراد حذفها وجعلها دخل لنظام التحكم نحصل على قيم مقاسة ثابتة نسبياً مع الزمن تتغير فقط عند تغير الأحمال اللاخطية أي إن تردد التغيرات في إشارة الخطأ أصبح صغيراً جداً ويمكن اعتبارها ثابتة.

2- عندما تكون القيمة المقاسة لنظام التحكم ثابتة نسبياً مع الزمن، يمكن لنظام التحكم ان يعمل بشكل ثابت ويصل إلى خطأ ستاتيكي شبه معدوم.

3- نتيجةً لجعل المطالات هي القيم المقاسة بالنسبة لنظام التحكم يمكن مقارنتها مع قيم ثابتة (صفرية) كقيم مرجعية مما يزيد في امكانية جعل نظام التحكم يعمل بحالة جيدة.

4- أنّ تحويل دخل المتحكم في النظم الكهربائية من قيم مقاسة وقيم مرجعية إلى قيم ثابتة يحسن من أدائه ويقلل من خطئه الستاتيكي.

5- قام المرشح بتحسين قيمة THD عند استخدام نظام التحكم الجديد إلى أدنى من الحدود العليا المسموحة بكثير.

6- تحسّن المرشح الفعال الفرعي للتغيرات في الأحمال اللاخطية المتصل معها وقام بتعويض التوافقيات الناتجة عنها بنسبة ممتازة عند استخدام طريقة التحكم الجديدة، وهذه أهم ميزة للمرشح الفعال بنظام التحكم الجديد المقترح.

7- النظام الذي قمنا بتصميمه يساهم في تصميم الشبكات الكهربائية الصناعية قبل استثمارها وبعد مراحل التطوير لأنه قادر على تعويض أي توافقيات جديدة يمكن أن تتدخل النظام في حال اضافة أحمالاً لاخطية جديدة للمنشأة.

8- إن المرشح الفعّال مع نظام التحكم الجديد المقترح يمكنه أن يعوض أحمالاً لاخطيةً غير متوازنة بالنسبة للأطوار الثلاثة كونه يعوض توافقيات كل طور على حدا.

9- يمكن للمرشح الفعّال مع نظام التحكم المقترح تعويض حتى الأحمال اللاخطية الأحادية الطور.

التوصيات:

1- استخدام النظام المدروس في الدراسة لتصميم مثل هذه الأنواع من المرشحات الفعّالة في الشبكات الصناعية التي تحوي أحمال لاخطية متوازنة أو غير متوازنة أو أحادية الطور.

2- العمل على تحويل دخل المتحكمات في النظم الكهربائية من قيم مقياس وقيم مرجعية إلى قيم ثابتة مع الزمن، مما يحسن أدائه ويققل من خطئه الستاتيكي.

3- استخدام نظام تحكم جزئي لكل طور يمكن المرشح الفعّال من تعويض أحمالاً لاخطيةً غير متوازنة أو أحادية الطور، إضافةً إلى الأحمال المتوازنة.

4- استخدام مطالات التوافقيات في كل طور كدخل للمتحكمات في المرشح الفعّال مما يحسن من أدائه بشكل كبير.

5- العمل على تحسين شروط عمل نظام التحكم بالمرشح الفعّال للحصول على النتائج المرجوة بدلاً من البحث عن نظام تحكم جديد.

المراجع:

- [1] Rudnick,H; Dixon,J; Morán,L." *Delivering Clean and Pure Power*". IEEE power & energy magazine, 2003.
- [2] D. kumar, P." *INVESTIGATIONS ON SHUNT ACTIVE POWER FILTER FOR POWER QUALITY IMPROVEMENT*". Thesis, National Institute of Technology Rourkela,2007.
- [3] Patidar, R, D; Singh, S, P. "*ACTIVE AND REACTIVE POWER CONTROL AND QUALITY MANAGEMENT IN DG-GRID INTERFACED SYSTEMS*". ARPN". Journal of Engineering and Applied Sciences,2009.
- [4] Sriranjani, R; Jayalalitha, S." *Investigation the Performance of the Various Types of Harmonic Filters*". World Applied Sciences Journal 17 (5): 643-650, 2012.
- [5] Hovenaars, T; LeDoux, K; Colosino, M. "*Interpreting IEEE Std 519 and Meeting its Harmonic Limits in VFD Applications*". IEEE Paper No. PCIC-2003-15.
- [6] Kumar, M." *Control Implementations for High Bandwidth Shunt Active Filter*". Thesis, North Carolina State University,2011.
- [7] Adil,M; Al-Zamil; David, Torrey, A." *A Passive Series, Active Shunt Filter for High Power Applications*". IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 16, NO. 1, JANUARY, 2001.
- [8] Kumar, P." *Investigations on Shunt Active Power Filter For Power Quality Improvement*". Thesis for the degree of Master of Technology, National Institute of Technology Rourkela University, Rourkela India,2007,67.
- [9] Sriranjani, R; Jayalalitha, S." *Investigation the Performance of the Various Types of Harmonic Filters*". World Applied Sciences Journal, India, 17 (5): 643-650, 2012,8.