

استخدام منظومة معوض القدرة المشوهة و المتفاعلة الساكن لتحسين جودة المصدر

باسم محمد أمين أنور
الشمالية

. . باسل محمد سعيد
قسم الهندسة الكهربائية

يتناول هذا احدى الجوانب الاساسية تحسين جودة القدرة الكهربائية الكترولونيات القدرة بشكل خاص او الاحمال اللاخطية بشكل عام ، كذلك معالجة ما تسببه هذه الاحمال من تأثير على عامل القدرة . تحليل وتمثيل جديدة (Matlab) ين هما له قابلية لسيطرة على سريان القدرة الم تعويض الجزء الخيالي لتيار والتوافقيات. سميت هذه المنظومة بمعوض القدرة المشوهة (SRDPC). دائرة السيطرة على منظومة SRDPC تعمل بتقنية تضمين عرض النبضة العشوائي (RPWM) حيث يها وفق معادلات تم اشتقاقها لهذا الغرض. وبني التحليل والتمثيل (SRDPC) لها كفاءة في تحسين شكل موجة التيار و المعايير المسموح بها للأحمال الخطية واللاخطية.

Using Static Reactive and Distortion Power Compensation System to improve The Quality of The AC Supply

Basil M. Saied

Elect. Eng. Dept./ University of Mosul
bmsaied@gmail.com

Basim M. A. Anwar

North Cement Co.
Basimameen1973@yahoo.com

Mosul – Iraq

Abstract

This research addresses a key aspect of improving the quality of electric power to tackle the distortion due to the widespread use of power electronics systems in particular, nonlinear loads in general, as well as addressing the loads of influence on power factor. The analysis and representation of new system using MATLAB and combining two functions of static synchronous reactive power compensation, STATCOM, and active power filter, APF, in one unit.

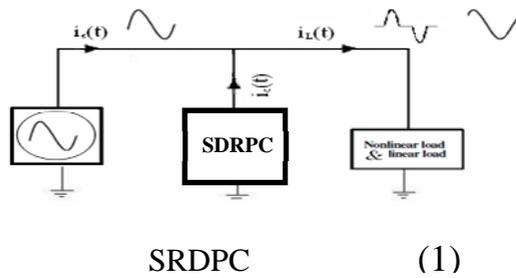
The proposed system has the ability to control the reactive power flow in power schemes and also reduce harmonics at the same time by compensating all of the imaginary part of the load current and harmonics. This system is named as Static Reactive & Distortion Power Compensation (SRDPC). The circuit control system SRDPC, enabled Random Pulse Width Modulation (RPWM), is obtained according to the equations have been derived for this purpose. The results of the analysis and representation of the system SRDPC that have the ability and efficiency in improving both power factor and shape of the supply current waveforms power within allowable standards for linear and nonlinear loads.

1.

وتزايد الأحمال سواء كانت خطية ام لا خطية ادى الى تأثير سلبي لكل من عامل القدرة وتشوه في شكل موجتي التيار والفولتية المجهزة مما انعكس على جودة القدرة الكهربائية. إن عملية تحسين عامل القدرة تحتاج إلى دوائر لتعويض القدرة المتفاعلة باستخدام متسعات (STATCOM) (SVC). أما تقليل التوافقيات فيحتاج إلى منظومات تعالج الأحمال المستخدمة حسب تطبيقاتها ونوعها والأمثلة على هذه المنظومات هو المرشح الخامل (Passive Filter) (Active Filter). لأهمية موضوع تحسين عامل القدرة وتقليل التوافقيات فقد قام الباحثون والمصممون لأنظمة القدرة بإجراء البحوث والتصاميم لتحسين الاداء ، وتزداد الدراسات والبحوث حول كيفية تطوير أداء المنظومة. ويجري الآن تطوير عمليات السيطرة على عمل المنظومات المذكورة في أعلاه ، كما ويتم استخدام استراتيجيات مختلفة وصولاً إلى المنظومات الذكية [1-2] كما أصبحت التوافقيات مشكلة توجب معالجتها بعد انتشار الأحمال اللاخطية في العديد من التطبيقات المدنية والصناعية. ومن الطرق الأساسية للمعالجة هي استخدام المرشحات التي تلبى معايير ويمكن تقسيم أنواع المرشحات إلى ما يأتي: المرشح الخامل والذي له القدرة على امتصاص التوافقيات لمنظومة التوزيع وأن كلفته قليلة نسبياً. هذا المرشح يتم ضبطه لترشيح عند قيم محددة من التوافقيات كما يحتاج إلى توليف بشكل دوري، وبسببه يتولد بعض حالات الاضطراب في المنظومة كحالة الرنين وخاصة في دوائر الأحمال اللاخطية. أما المرشح الفعال فإنه مرن ويمكن استخدامه على التوالي أو على التوازي وذو كفاءة في التنظيم والتعويض ولمدى واسع من التوافقيات ويمتاز بالاستجابة الجيدة وملئم مع المنظومات الحديثة ولكن كلفة انشاءه عالية [3]. في عام 1997 صمم الباحثون نظام سيطرة لمرشح ثلاثي الطور على التوازي، ويتكون المرشح من مغير ثلاثي الطور مربوط مع متسعة تيار مستمر. هذا المرشح فعال لإلغاء التوافقيات الناتجة عن تطبيق معين وهو استخدام مقوم ثلاثي الطور غير محكوم [4]. وفي عام 2001 تم تصميم مرشحا هجيناً يتكون من مرشح فعال على التوازي ومرشح خامل على التوالي. ومن مميزات هذا التصميم تركيبه البسيط نسبياً والمرونة في الأداء [5]. وفي عام 2002 تم تصميم مرشح نوع فعال SAF مسيطراً عليه باستراتيجية مطورة أظهرت فعاليتها في إلغاء توافقيات التيار مما ساهم في تحسين نسبي لعامل القدرة عند استخدام حمل لا خطي وكان أداءه جيد وفعال في الحالة المستقرة [6]. وفي عام 2006 صمم STATCOM الذي يعمل بالمنطق المضرب ليولد تيار التعويض لتحسين عامل القدرة في أنظمة التوزيع [7]. وكذلك تصميم STATCOM لتصحيح عامل القدرة وتعويض القدرة المتفاعلة المتكون من مستويين (12) نبضة كل مستوى يحتوي على VSC بستة ثايرستورات. وتمت المقارنة مع STATCOM بمستوى واحد (12) نبضة والتي تمتلك قيمة عالية للتوافقيات 11th, 13th والأعلى مرتبة التي تسبب THD بقيمة عالية عند مقارنتها مع STATCOM المتكون من مستويين (12) نبضة إذ أن تأثير كل من 5th, 7th, 11th, 13th له قيم قليلة تجعل THD ضمن الحدود المسموح بها وقل من الطريقة السابقة [8]. في عام 2006 أيضاً تم تصميم وتحليل أداء السيطرة في SAF وثبتت فعالية تيار السيطرة باستخدام نتائج التمثيل والنتائج التجريبية [9]. كما قام الباحثون (2007) بتصميم معوض القدرة المتزامن الساكن ليولد تيار التعويض سواء كان النظام ثلاثي الأطوار أم أحادي الطور وبحمل خطي أو لا خطي والتمثل بمقوم ثلاثي الطور غير المحكوم [10]. كذلك تم تصميم STATCOM والمكون من ثلاث مستويات والحصول على قدرة تعويض عالية مع الحفاظ على قيمة THD ثابتة وبالمقارنة مع نظام المستويين والمستوى الواحد [11]. وتم اقتراح نظام ترشيح متآلف من مرشح فعال على التوازي ومرشح خامل على التوالي لمعالجة الرنين التي قد يحدث عند تردد التوافقيات وكذلك قيمة THD للفولتية والتيار ضمن محددات IEEE حيث حسن من تأثير عامل القدرة وهو ملئم للأحمال اللاخطية [12]. وفي عام 2007 استخدم نموذج تمثيلي لمنظومة SAF التي كانت فعالة لتعويض التوافقيات وتحسين عامل القدرة. وبعد التعويض تبين أن THD=5.97% ويشير هذا الرقم إلى ارتفاع طفيف عن القيمة المقررة. إن قدرة التعويض عالية بسبب عناصر ذات SAF التي تحقن التيار. ومن الممكن تقليل THD باستخدام المرشح الخامل والذي يقلل من زمن تأخير تيار المرجع [13]. كذلك في عام 2008 صمم نظام سيطرة مغلق لتوليد الفولتية المرجعية الخاصة بدائرة تضمين عرض النبضة والخاصة بمنظومة معوض القدرة المتفاعلة المتزامن الساكن وهذا النظام له القدرة على توليد موجة تيار يحقن من وإلى شبكة الطاقة لتحسين عامل القدرة ومن مزايا هذا النظام انه يستخدم في نظم ذو القدرة العالية وله كفاءة عالية وبتردد فتح وغلق أقل من الطرق التقليدية [14]. كما تم تصميم نموذج للتحكم بمرشح ثلاثي الطور رباعي التوصيلات. وهذا التصميم يبين قدرة المسيطر على تعويض توافقيات التيارات لحمل معين وبالتالي تحسين شكل تيار المصدر وتحسين عامل القدرة [15]. وتم تقديم استراتيجية حديثة للسيطرة على المرشح الفعال على التوازي تتغلب على تعقيدات اللاخطية الموجودة في المسيطرات التقليدية وتستخدم هذه الطريقة تحويل بارك التي يتم تحويل من اللاخطي إلى نموذج خطي وتبين نتائج التمثيل والتجربة قدرة المسيطر على تعويض التوافقيات [16]. وقام باحثون بتمثيل ومقارنة بين مجموعة طرق لتحسين عامل القدرة مثل استخدام متسعة أو أكثر ومعوضي SVC و STATCOM ، وبيناً أن الأداء الأسوأ والكلفة الأقل في استخدام المتسعة ، والمعوض SVC يولد فولتية جيبيية مع ظهور توافقيات للمراتب القليلة بينما STATCOM

تكون استجابته سريعة وعامل الشكل ذو تأثير جيبي ولكن كلفته عالية [17]. ركزت التصميم والبحوث السابقة على تعويض التوافقيات باستخدام المرشح نوع SAPF وتعويض القدرة المتفاعلة باستخدام معوض نوع STATCOM، كما أنه هناك مميزات أخرى تساهم في الحفاظ على استقراره وتحسين من جودة القدرة الكهربائية المنظومة. ان بحثنا هذا [18] مقترح استخدام نظام واحد يقوم بمعالجة كل من عامل القدرة و تأثير التوافقيات وكذلك امكانية معالجة حالة عدم اتزان الاحمال اللاخطية مما له من أهمية كبيرة في تقليل التكلفة وزيادة أداء وكفاءة النظام [19-20]. هذا النظام يمثل "معوض القدرة المشوهة والمتفاعلة الساكن (Static Reactive & Distortion Power Compensation "SRDPC" والذي يعمل بتقنية تضمين عرض النبضة العشوائي (Random Pulse Width Modulation "RPWM") حيث يقوم هذا النظام بتعويض كل من القدرة المشوهة و القدرة المتفاعلة وحسب حاجة وطبيعة الاحمال. تم اختيار أنواع مختلفة من الاحمال غير الخطية التي تسبب تشوهات في القدرة المجهزة مع أحمال خطية مختلفة (حثة أو سعوية ثلاثية الطور متزنة او غير متزنة). تم تحليل وتمثيل المنظومة لغرض تعويض التوافقيات وتحسين

2. التحليل النظري لمركبات القدرة في المنظومات الخطية وغير الخطية



ان الاحمال المربوطة مع الشبكة الكهربائية طبيعتها خطية خطية مع تغيير مستمر وعشوائي. مما يتطلب تجهيز هذه الاحمال بقدرة أنية متغيرة. تحوي مركبات هذه وهي القدرة الحقيقية و المتفاعلة و المشوهة. المساهمة في تحسين جودة القدرة الكهربائية يتطلب تجهيز القدرة الحقيقية من قبل مصدر التجهيز للطاقة. (والذي سببها وجود تأثير حثي أو سعوي للأحمال)، و القدرة المشوهة (التأثير اللاخطي للأحمال)، فينطلب تزويدها SRDPC. يبين الشكل (1) كيفية

يمكن تصنيف القدرة إلى مجموعة أصناف يأتي: القدرة الظاهرية (Apparent power): تمثل الناتج عن عملية ضرب الفولتية بالتيار ويرمز لها (S) ووحدتها (VA). القدرة الحقيقية (Active power): ويرمز لها (P) ووحدتها (W). القدرة الخيالية (reactive power): من القدرة الظاهرية ولا طور القدرة الحقيقية و زاوية (90°) ويرمز لها (Q) ووحدتها (VAR) وتظهر هذه القدرة عند استخدام العناصر (distortion power): تظهر هذه القدرة عندما تحوي موجتي الفولتية و التيار على مركبات توافقية وبرتب مختلفة وذلك باستخدام أحمال غير خطية ويرمز لها (D) ووحدتها (VA).

ويمكن أن تصاغ القدرة الظاهرية بشكل عام كما هو آت:

$$S^2 = V^2 I^2 = \sum_{k=1}^{\infty} V_k^2 \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 \quad \dots \dots (1)$$

V_k قيمة (r.m.s) للفولتية عند التوافقية (k). ويمكن صياغة (1) :

$$S^2 = \sum_{\substack{k=1 \\ k=n}}^{\infty} V_k^2 I_k^2 + \sum_{\substack{k=1, n=1 \\ k \neq n}}^{\infty} V_k^2 I_n^2 \quad \dots \dots (2)$$

يعتمد الجزء الأول من المعادلة (2) على القيم الفعالة للفولتية والتيار وعند التردد نفسه وبذلك تصاغ القدرة الظاهرية للتوافقيات (S_n) :

$$S_h^2 = \sum_{k=1}^{\infty} V_k^2 I_k^2 = \sum_{k=1}^{\infty} S_k^2 \quad \dots \dots \dots (3)$$

ويعتمد الجزء الثاني من المعادلة (2) على القيم الفعالة للفولتية والتيار بشرط اختلاف التردد و يطلق على الناتج قدرة التشوه لزوج معين من التوافقيات (D_{kn}) ويسمى مجموعها (total distortion power) الكلية D :

$$D^2 = \sum_{\substack{k=1, n=1 \\ k \neq n}}^{\infty} D_{kn}^2 = \sum_{\substack{k=1, n=1 \\ k \neq n}}^{\infty} V_k^2 I_n^2 \quad \dots \dots \dots (4)$$

ويمكن التعبير عن القدرة الظاهرية الكلية من المعادلات السابقة :

$$S^2 = S_h^2 + D_s^2 \quad \dots \dots \dots (5)$$

ويمكن كتابة المعادلة (3), (4) بدلالة القدرة الحقيقية والقدرة المتفاعلة كما يأتي:

$$\begin{aligned} S_h^2 &= \sum_{k=1}^{\infty} S_k^2 = \sum_{k=1}^{\infty} V_k^2 I_k^2 \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} (V_k^2 I_k^2 \cos^2 \phi_k + V_k^2 I_k^2 \sin^2 \phi_k) \quad \dots \dots \dots (6) \end{aligned}$$

$$= \sum_{k=1}^{\infty} (P_k^2 + Q_k^2) \quad \dots \dots (7)$$

ويمكن حساب عامل القدرة ($P.F$) بالمعادلة الآتية:

$$P.F = \frac{\sqrt{\sum P_k^2}}{S} \quad \dots \dots \dots (8)$$

في حالة كون الفولتية موجة جيبية والتيار موجة غير جيبية تصبح المعاد (8)

$$P.F = \frac{P_1}{S} = \frac{I_1}{\sqrt{\sum I_n^2}} \cos \phi_1 \quad \dots \dots \dots (9)$$

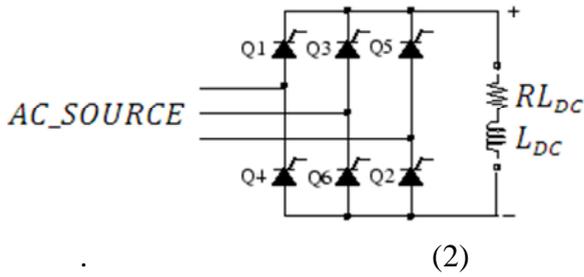
فرق زاوية الطور بين الفولتية والتيار الاساس وتمثل S القدرة الظاهرية بوجود التوافقيات. الفولتية موجة جيبية (كون ممانعة الخط أعتبر ضمن الحمل و بالتالي فولتية الحمل V_{1L} هي نفس فولتية V_{1s}) تكون المعادلات النهائية التي تعتمد في التعويض بوجود منظومة SRDPC [18]:

$$I_{1s} = I_{1L} \cos \phi_{1L} \quad \dots (10)$$

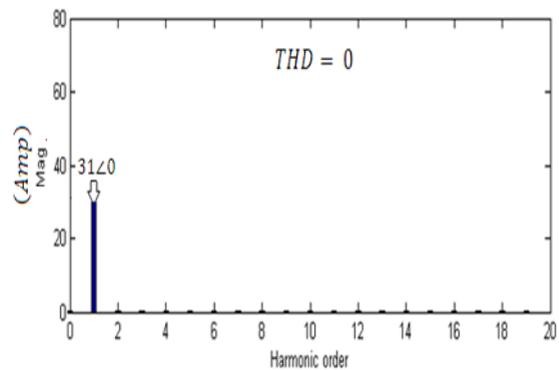
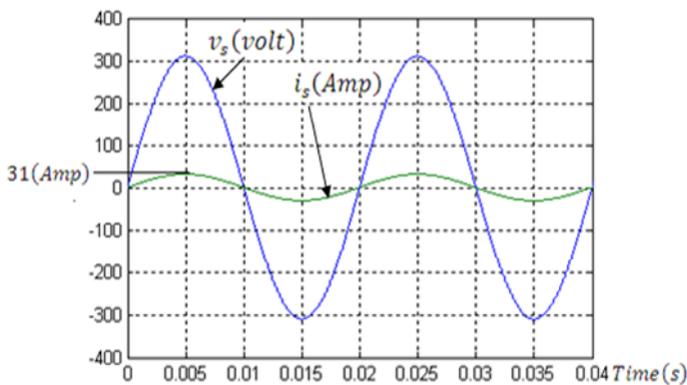
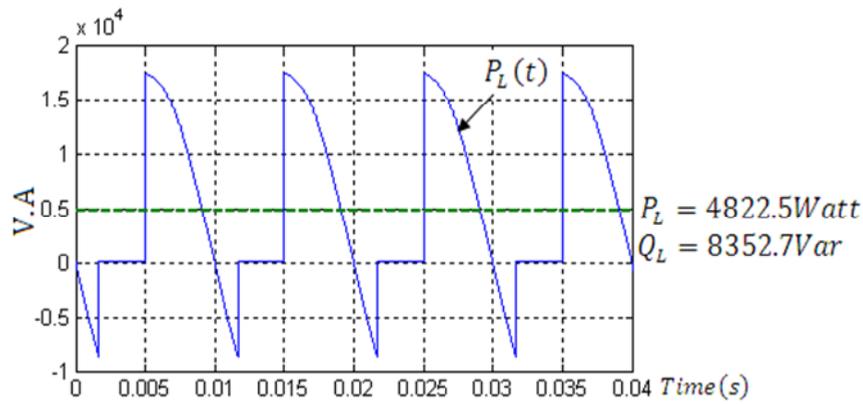
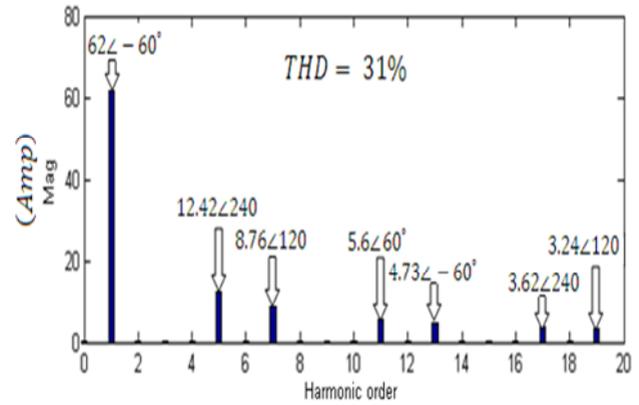
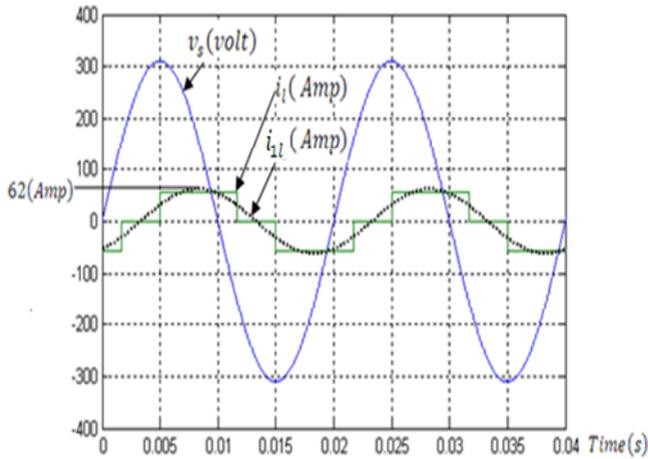
$$I_{1(SRDPC)} \sin \phi_{1(SRDPC)} = I_{1L} \sin \phi_{1L} \quad \dots (11)$$

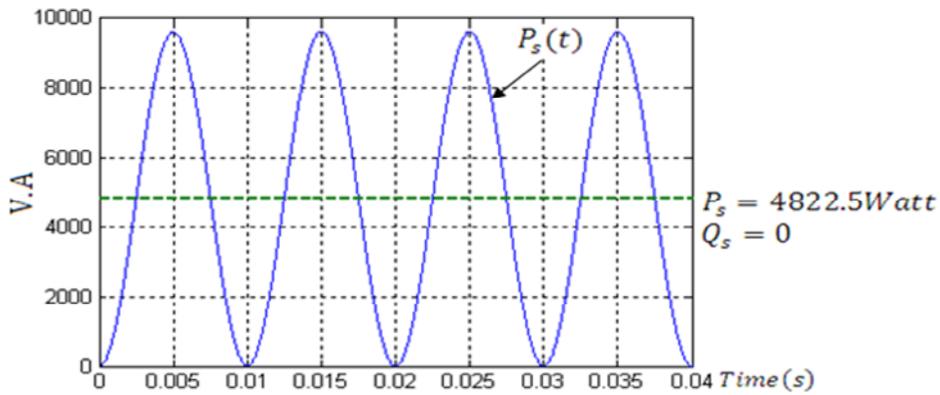
$$I_{nSRDPC} \cdot \phi_{1nSRDPC} = I_{nL} \cdot \phi_{1nL} \quad \dots (12)$$

لتوضيح عمل SRDPC تم ربطه على التوازي مع مقوم ثلاثي الطور و محكوم (بزاوية قدح $\alpha = 60^\circ$) كنموذج حمل لا خطي وله عامل تأثير حثي كما موضح في الشكل (2) ومصدر قدرة ثلاثي الطور. فولتية و تيار الحمل

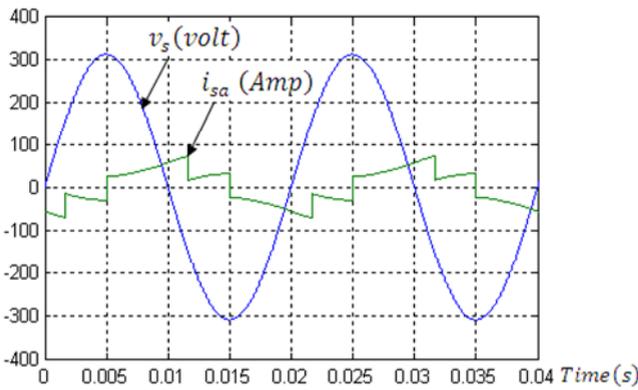


ض SRDPC مبين في الاشكال (3-a)؛(3-)
 تعاقب وتحليل توافقيات تيار الحمل والمصدر (3-g) (d)
 والمعوض SRDPC مبين في الاشكال (3-b)؛(3-e)؛(3-)
 (h) على التعاقب. كذلك شكل القدرة الانية لكل من الحمل و
 ض SRDPC موضحة في الاشكال (3-c)؛
 (3-f) (3-i).

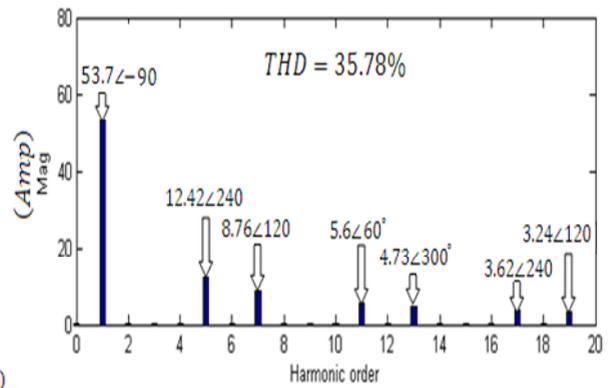




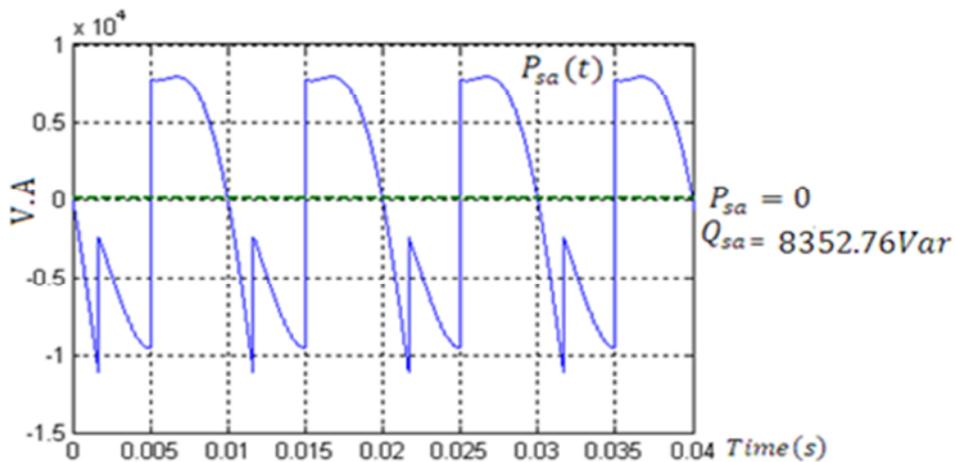
(3-f)



(3-g)



(3-h)



(3-i)

SRDPC

(g) SRDPC

(d)

(a): فولتية وتيار: (3)

SRDPC

(h) SRDPC

(e)

(b): توافقيات تيار:

SRDPC

(i) SRDPC

(f)

(c): القدرة الانية $P_L(t)$:

$$\Phi_{1L} = 60^\circ, \quad \text{زاوية}$$

$$P_{1L(\text{real})ph} = V_{1L} I_{1L} \cos \Phi_{1L} \quad \text{الحقيقية}$$

$$P_{1L(\text{real})ph} = (220 \cdot 62 / \sqrt{2}) \cos 60^\circ = 4822.5 \text{ Watt}$$

$$Q_{1L(\text{reactive})ph} = V_{1L} I_{1L} \sin \Phi_{1L} \quad \text{الخيالية}$$

$$= (220 \cdot 62 / \sqrt{2}) \sin 60^\circ = 8352.76 \text{ Var}$$

$$\sum_{n=2}^{\infty} D_{(1nL)ph}^2 = \underbrace{\sum_{n=2}^{\infty} V_{1L}^2 I_{nL}^2 \cos^2 \Phi_{1nL}}_{\text{الجزء الحقيقي}} + \underbrace{\sum_{n=2}^{\infty} V_{1L}^2 I_{nL}^2 \sin^2 \Phi_{1nL}}_{\text{الجزء الخيالي}}$$

لقدرة التشوه الكلية لقدرة التشوه الكلية

$$\sum_{n=2}^{\infty} D_{(1nL)ph}^2 = 1865.4 + 5596.17$$

$$P_{1s(\text{real})ph} = V_{1s} I_{1s} \cos \Phi_{1s} \quad \text{الحقيقية}$$

$$= (220 \cdot 31 / \sqrt{2}) \cos 0^\circ = 4822.5 \text{ Watt}$$

$$Q_{1s(\text{reactive})ph} = 0 \quad \text{الخيالية}$$

$$\sum_{n=2}^{\infty} D_{(1ns)ph}^2 = 0 \quad \text{الكلية}$$

$$P_{1(SRDPC)ph} = V_{1s.a} I_{1s.a} \cos \Phi_{1s.a} \quad \text{SRDPC} \quad \text{الحقيقية}$$

$$= 220 \cdot 53.7 / \sqrt{2} \cos 90^\circ = 0$$

$$Q_{1(SRDPC)ph} = V_{1s.a} I_{1s.a} \sin \Phi_{1s.a} \quad \text{SRDPC} \quad \text{الخيالية}$$

$$= (220 \cdot 53.7 / \sqrt{2}) * \sin 90^\circ = 8352.76 \text{ Var}$$

SRDPC الكلية

$$\sum_{n=2}^{\infty} D_{(1nSRDPC)ph}^2 = \sum_{n=2}^{\infty} V_{1s.a}^2 I_{ns.a}^2 \cos^2 \Phi_{1ns.a} + \sum_{n=2}^{\infty} I_{ns.a}^2 \sin^2 \Phi_{1ns.a}$$

$$\sum_{n=2}^{\infty} D_{(1nSRDPC)ph}^2 = 1865.4 + 5596.17$$

3.SRDPC**تخمين**

يعتمد تخمين SRDPC على ثلاث قيم رئيسية هي: قيمة فولتية المكثف السعوي طرف التيار المستمر V_{dc} وقيمة ملف المرشح المربوط على التوالي (L_f) واختيار قيمة المكثف السعوي طرف التيار المستمر C_{dc} . ويبنى اختيار القيم السابقة على الأسس الآتية:
فولتية المصدر المجهز الرئيسي جيبي. و اختيار قيمة المحاثية (L_f) ضمن المعايير المسموح بها لنسبة (THD) 5%. وإن المنظومة SRDPC لها المقدرة على تعويض كل من القدرة المتفاعلة والمشوهة الذي يتطلبه طبيعة . يتم التحكم بدائرة مغير الفولتية باستخدام تضمين عرض النبضة العشوائي (RPWM). يتم اختيار تردد الفتح المغير بحيث يسمح بتمرير أعلى مرتبة للتوافقيات المؤثرة والمراد تعويضها.

1.3 تخمين قيمة فولتية المتسعة V_{dc} : إذا افترضنا أن مغير الفولتية يعمل بأسلوب تضمين عرض النبضة يمكن V_{dc} بالمعادلة الآتية:

$$V_{dc} = 2 \sqrt{2} V_{1(vsc)} \quad \dots \dots \dots (13)$$

$$V_{1s} < V_{1(vsc)} \quad 2V_{1s} \dots \dots \dots iV_{1s}, V_{1(vsc)} (r.m.s) \quad [20]$$

$$V_{dc} \text{ تتراوح قيمتها بين: } 2 \sqrt{2} V_{1s} < V_{dc} \quad 4 \sqrt{2} V_{1s}$$

SRDPC**(L_f)****2.3 تخمين قيمة محاثية**

عند تخمين قيمة يتطلب مرور تيار الحمل مطروح منه المركبة الاساسية لغرض تعويض القدرة المتفاعلة والمشوهة من قبل المغير أعلى درجات جودة القدرة الكهربائية. يمكن حساب أعظم قيمة للمحاثية L_{fmax} بالمعادلة الآتية

$$L_{fmax} = \frac{V_{1(vsc)} - V_{1s}}{\sum_{n=0}^{\infty} \omega \cdot h \cdot I_n} \quad \dots \dots \dots (14)$$

n التوافقية، يمثل I_n (r.m.s) للتوافقية المراد تعويضها، $f_s = 2$

قيمة L_f

المخمنة لدائرة التمثيل (0.7mH).

SRDPC**3.3 تخمين قيمة المتسعة C_{dc}**

يتم حساب قيمة المتسعة بطريقة مباشرة على أساس قياس التوافقية ذات المرتبة الأقل والتأثير الأعلى كما مبين في :

$$C_{dc} = \frac{I_n}{V_{dc} \cdot n} \quad \dots \dots \dots (15)$$

نسبة تموج مقبولة (على سبيل ا 5%) وقيمة C_{dc} لدائرة التمثيل (1 m).

SRDPC**4. دائرة سوق مغير مصدر الفولتية (VSC)**

يتكون المغير من ثلاثة اذرع يحتوي كل ذراع على اثنين من ترانزستورات القدرة ذوي البوابة المعزول وثنائي القطبية (IGBT) (4) يعملان بأسلوب تضمين عرض النبضة . ويوجد ثنائي ذو التوصيل الفائق والمتوائم مع خواص الترانزستور المربوط معه على التوازي. ويوجد مرشح توازي ثلاثي الطور مربوط مع خرج المغير (VSC) ويتكون المرشح من مقاومة (rc) (c) (300 μ c = 300) ويسمى هذا

. أن دائرة تشغيل مغير الفولتية (VSC) SRDPC لتعويض القدرة المتفاعلة وتحسين جودة القدرة. طريقة السيطرة على (VSC) (5) عن طريق منظومة RPWM والإشارة المرجعية لهذه المنظومة تمثل تيار الحمل الأنبي والخالي من قيمة تيار الأساس ولغرض التحليل تتم هذه العملية عن طريق طرح القيمة الأنبية لتيار الحمل الثلاثي الأطوار من القيمة الأنبية لتيار جيبي ثلاثي الأطوار ومتزامن مع فولتية المصدر التي تصاغ معادلاته با :

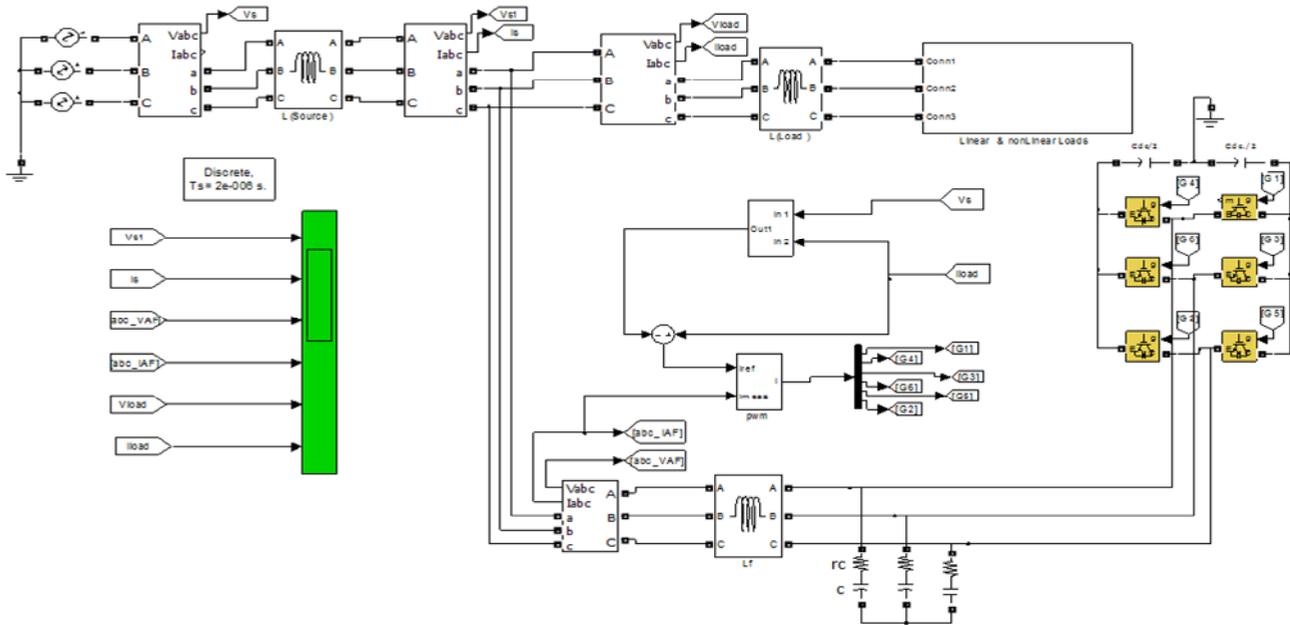
$$i_a = I_p \sin t \quad i_b = I_p \sin\left(t - \frac{2}{3}\right) \quad i_c = I_p \sin\left(t - \frac{4}{3}\right)$$

وان قيمة $I_p = I_L \cos^{-1}(\sqrt{2})$ التي تمثل الجزء الحقيقي لتيار الحمل ويتم احتسابها بالشكل الآتي:

$\sqrt{2} I_L$: بحسب بأخذ قيمة (r.m.s) لتيار الحمل للأطوار الثلاثة مضروبة ب ($\sqrt{2}$).

5. نتائج التمثيل الحاسوبي باستخدام منظومة SRDPC

اول هذا عرض نتائج التمثيل عند ربط منظومة SRDPC وكما مبين في شكل (4) والتي تقوم بتعويض القدرة المفاعلة وحقن التوافقيات التي يحتاجها الحمل عن طريق استخدام تقنية RPWM. تم تحسين عامل القدرة للأحمال الخطية (حثية أو سعوية) ومعالجة التوافقيات للأحمال الغير خطية سواء كانت متزنة أو غير متزنة.



(4) تمثيل منظومة (SRDPC) وربطها الى الشبكة

1.5 استخدام أحمال خطية:

مكافئ مربوط على شكل نجمي متزن باستخدام شكلين من الحمل الخطي:

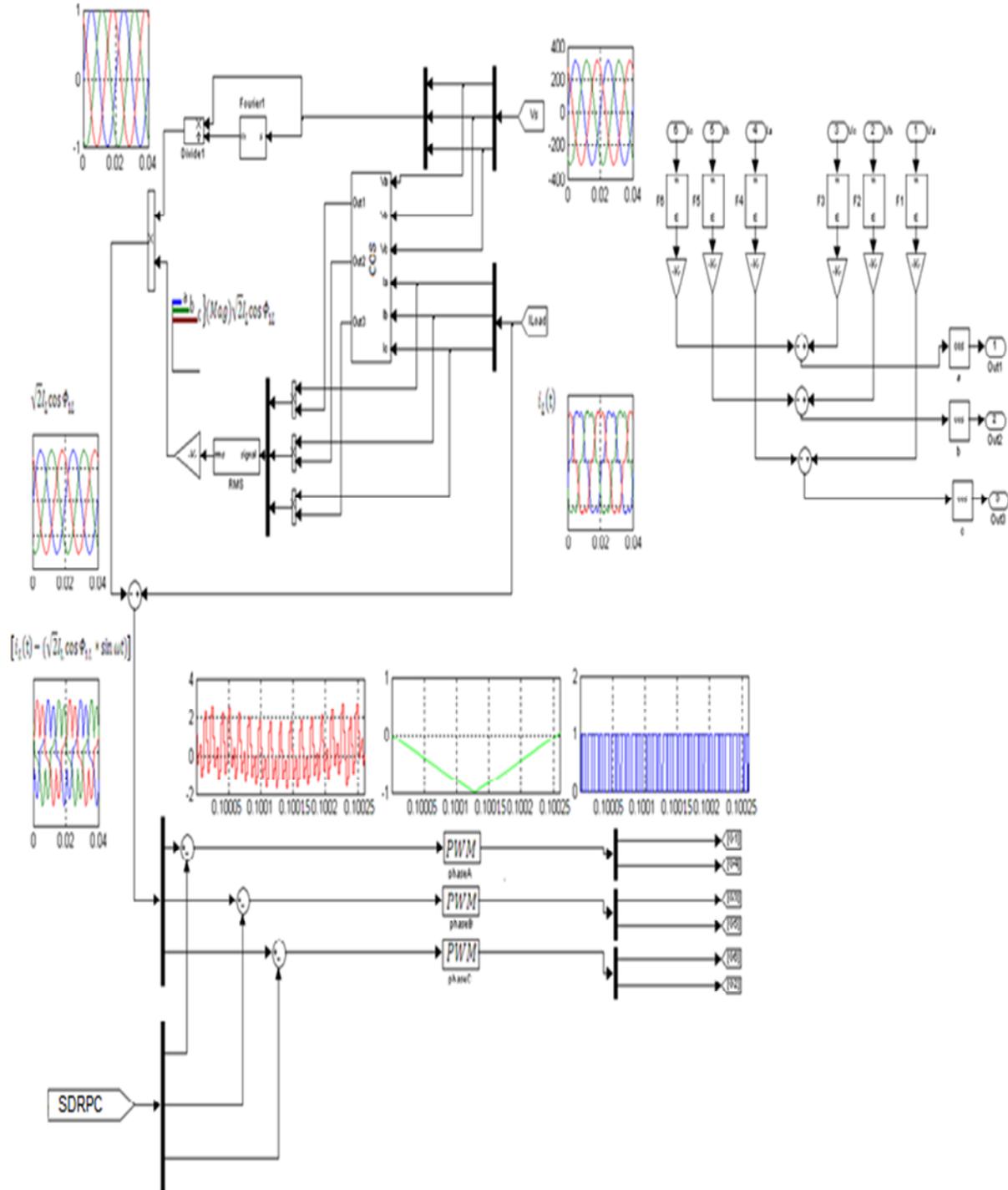
1.1.5 () :يوضح الشكل(6) فولتية وتيار الحمل، والمصدر، ومنظومة SRDPC بقيم في هذا الشكل تحسن عامل القدرة وانخفاض قيمة تيار الأساس ولجميع تغيرات الحمل، ويبين (1) خصائص النظام لأحمال حثية وبعامل قدرة مختلف SRDPC.

SRDPC

(1)

خصائص النظام قبل وبعد ربط منظومة (SRDPC)				
خصائص المصدر	P.F	THD%	$I_{15\%}\sqrt{2}(Amp.)$	$\eta\%$
قبل	0.368 Lag	0	114.2	
بعد	0.999 Lag	4.64	42.8	98.2
خصائص المصدر	P.F	THD%	$I_{15\%}\sqrt{2}(Amp.)$	$\eta\%$
قبل	0.46 Lag	0	143.2	
بعد	0.999 Lag	3.03	66.8	98.6
خصائص المصدر	P.F	THD%	$I_{15\%}\sqrt{2}(Amp.)$	$\eta\%$
قبل	0.6 Lag	0	187.4	
بعد	0.999 Lag	1.76	113.83	98.7
خصائص المصدر	P.F	THD%	$I_{15\%}\sqrt{2}(Amp.)$	$\eta\%$
قبل	0.77 Lag	0	240	
بعد	0.999 Lag	1	186.6	99.4
خصائص المصدر	P.F	THD%	$I_{15\%}\sqrt{2}(Amp.)$	$\eta\%$
قبل	0.953 Lag	0	296	
بعد	0.999 Lag	0.75	283	99.7

2.1.5 : يوضح الشكل (7) فولتية وتيار الحمل، والمصدر، ومنظومة SRDPC بقيم مختلفة لعامل قدرة متقدم، ونلاحظ في هذا الشكل تحسن عامل القدرة وانخفاض قيمة تيار الأساس ولجميع تغيرات الحمل، ويبين الجدول (2) خصائص النظام لأحمال سعوية وبمعامل قدرة متقدم قبل وبعد ربط منظومة SRDPC.

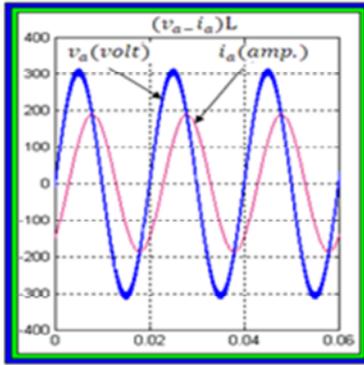


(5) دائرة السيطرة لمنظومة (SRDPC)

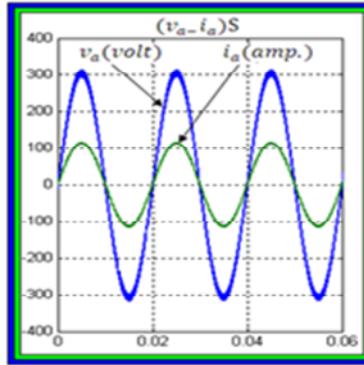
SRDPC

(2)

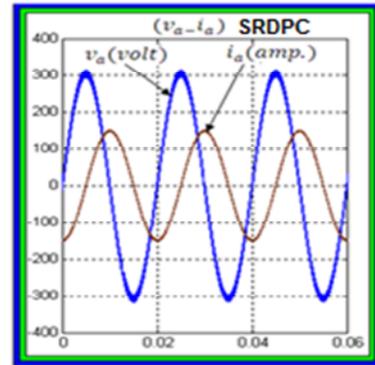
خصائص النظام قبل وبعد ربط منظومة (SRDPC)				
خصائص المصدر	P.F	THD%	$I_{15s} \sqrt{2} (Amp.)$	$\eta\%$
قبل	0.363 Lead	0	112.5	
بعد	0.999 Lead	4.8	41.6	98.3
خصائص المصدر	P.F	THD%	$I_{15s} \sqrt{2} (Amp.)$	$\eta\%$
قبل	0.6 Lead	0	186.7	
بعد	0.999 Lead	2	113.5	99.2
خصائص المصدر	P.F	THD%	$I_{15s} \sqrt{2} (Amp.)$	$\eta\%$
قبل	0.83 Lead	0	256.5	
بعد	0.999 Lead	1	213.4	99.5
خصائص المصدر	P.F	THD%	$I_{15s} \sqrt{2} (Amp.)$	$\eta\%$
قبل	0.984 Lead	0	305	
بعد	0.999 Lead	0.76	301.4	99.6



(a)



(b)



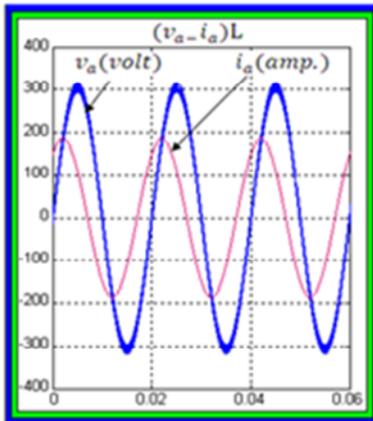
(c)

SRDPC

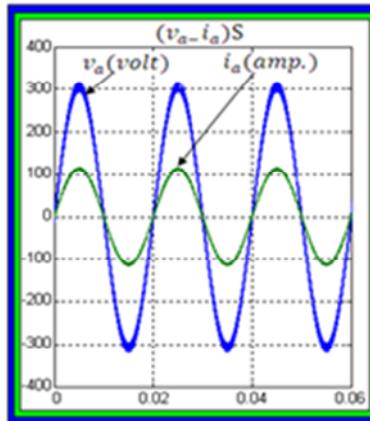
(c)

(b) (0.6)

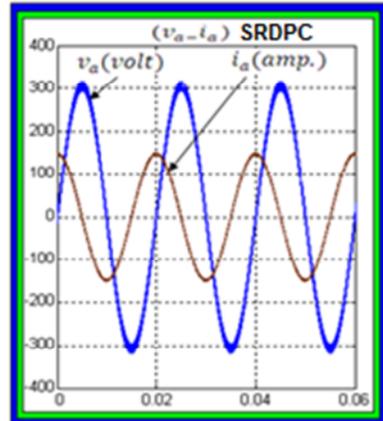
(6) فولتية و تيار: (a)



(a)



(b)



(c)

SRDPC

(c)

(b) (0.6)

(7) فولتية و تيار: (a)

وتم حساب الكفاءة من المعادلة التالية:

$$1 - \frac{\sqrt{S^2 - (P^2 + Q^2 + D^2)}}{S} \quad 100\% \quad \dots \dots \dots (16)$$

خطية

5.

تأثير قدرة حقيقية ومفاعلة ومشوهة وكذلك اخذت حالة عدم اتزان بين الاطوار الثلاثة . يوضح (8) (9) (10) هذه الاشكال عامل القدرة وشكل موجة تيار المصدر، وانخفاض قيمة تيار الأساس للمصدر مع انخفاض قيمة THD حمل غير خطي متمثل بمقوم غير محكوم .

استخدام حمل غير خطي ثلاثي الطور يولد توافقيات بمرتبة زوجية:

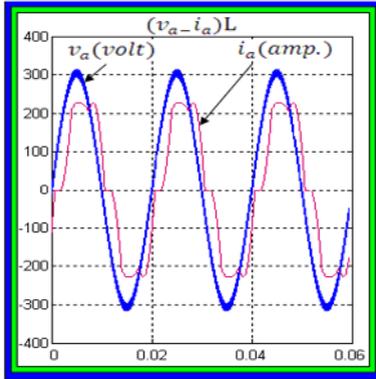
ان استخدام هذا الحمل يسبب حقناً للتوافقيات ذات المرتبة الزوجية التي لها التأثير المباشر في تشوه موجة تيار المصدر. ولكن عند ربط منظومة (SRDPC) نلاحظ أن التوافقيات ذات المرتبة الزوجية والفردية تقل إلى الحدود المسموح بها في تيار المصدر. ويوضح الجدول (4) خصائص النظام قبل وبعد ربط منظومة SRDPC وعند استخدام حمل غير خطي ثلاثي الطور يولد توافقيات بمرتبة زوجية. نلاحظ من الجدول تحسن عامل القدرة وتقليل التوافقيات ولحالة

SRDPC للحمل ونصف الحمل التام للمقوم الثلاثي الطور غير (3)

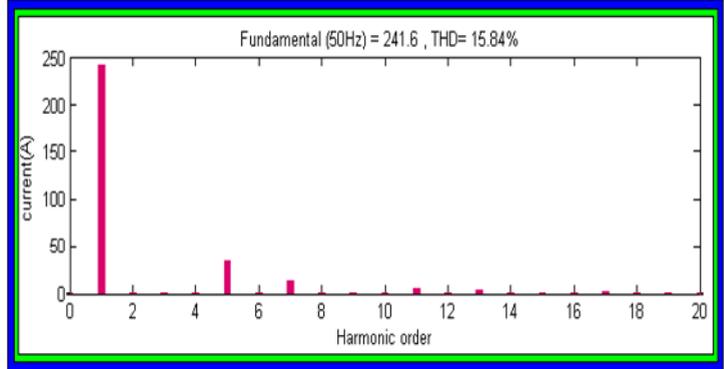
خصائص النظام قبل وبعد ربط منظومة (SRDPC) في حالة نصف الحمل التام				
خصائص المصدر	P.F	THD%	$I_{1S} \cdot \sqrt{2} (Amp.)$	$\eta\%$
قبل	0.87Lag	15.84	241.6	
بعد	0.999 Lag	0.84	216.3	98.3
خصائص النظام قبل وبعد ربط منظومة (SRDPC) في حالة الحمل التام				
خصائص المصدر	P.F	THD%	$I_{1S} \cdot \sqrt{2} (Amp.)$	$\eta\%$
قبل	0.8 Lag	9.36	426	
بعد	0.999 Lag	0.57	346.1	98.5

SRDPC لحمل غير خطي يولد توافقيات بمرتبة زوجية ولحالة (4)

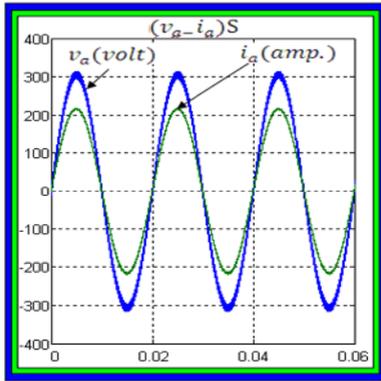
خصائص النظام قبل وبعد ربط منظومة (SRDPC) في حالة الحمل التام				
خصائص المصدر	P.F	THD%	$I_{1S} \cdot \sqrt{2} (Amp.)$	$\eta\%$
قبل	0.49 Lag	18.54	339.5	
بعد	0.999 Lag	1.3	173.1	96.1



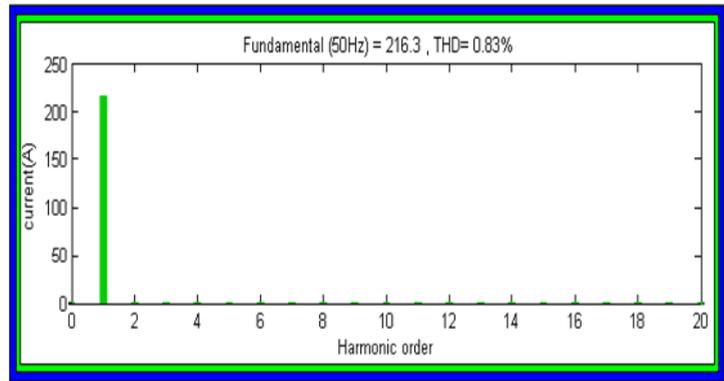
(a)



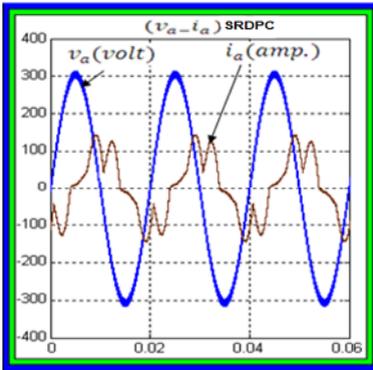
(b)



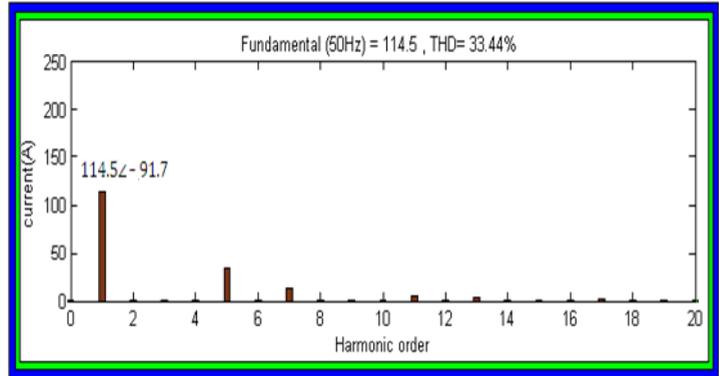
(c)



(d)



(e)



(f)

SRDPC (e) SRDPC
SRDPC (f) SRDPC

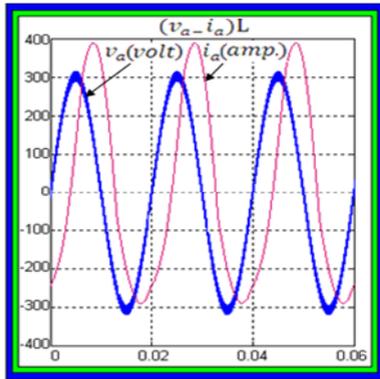
(8) باستخدام مقوم غير محكوم:
(a) فولتية وتيار:
(b) فقييات تيار:

ويوضح الشكل (9) فولتية، وتيار، وتوافقيات التيار لكل من الحمل والمصدر ومنظومة SRDPC والحمل غير الخطي ثلاثي الطور يولد توافقيات بمرتبة زوجية، ونلاحظ في هذا الشكل تحسن عامل القدرة وشكل موجة تيار المصدر عن طريق تعويض التوافقيات الزوجية، وانخفاض قيمة تيار الأساس للمصدر مع انخفاض قيمة THD 2% وان زاوية تيار منظومة SRDPC قيمة أعلى من 90° وهذا يشير الى وجود قدرة حقيقية مفقودة في

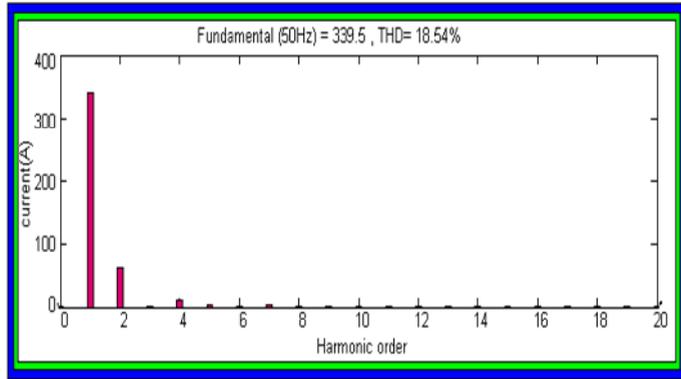
كذلك تم عرض حالة حمل غير خطي وغير متزن: حيث يسبب استخدام هذا النوع من الاحمال تشوها في موجة تيار انخفاض قيمة تيار المصدر لكل طور مع SRDPC .
 انخفاض في قيمة THD 1%. ويوضح الجدول (5) الذي يوضح تحسن عامل القدرة وتقليل التوافقيات و لكل طور.
 انخفاض في قيمة THD 1%. ويوضح الجدول (5) الذي يوضح تحسن عامل القدرة وتقليل التوافقيات و لكل طور.

SRDPC للأطوار الثلاثة عند استخدام حمل غير خطي وغير (5)

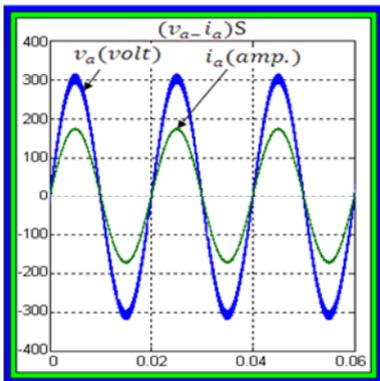
خصائص النظام قبل وبعد ربط منظومة (SRDPC) في حالة الحمل التام				
خصائص ph_a	$P.F$	$THD\%$	$I_{1s} \cdot \sqrt{2} (Amp.)$	$\eta\%$
قبل	0.91 Lag	5.1	445.4	99
بعد	0.999 Lag	0.52	404.3	
خصائص ph_b	$P.F$	$THD\%$	$I_{1s} \cdot \sqrt{2} (Amp.)$	
قبل	0.635 Lag	8.25	392.7	
بعد	0.999 Lag	0.87	252.2	
خصائص ph_c	$P.F$	$THD\%$	$I_{1s} \cdot \sqrt{2} (Amp.)$	
قبل	0.9 Lag	14.36	246	
بعد	0.999 Lag	0.9	228.5	



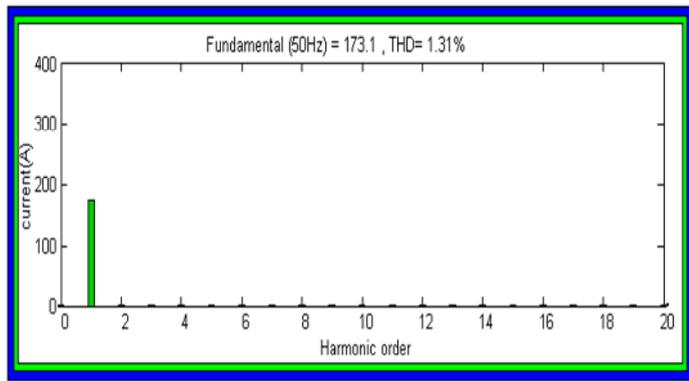
(a)



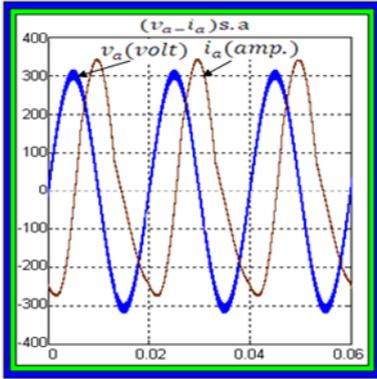
(b)



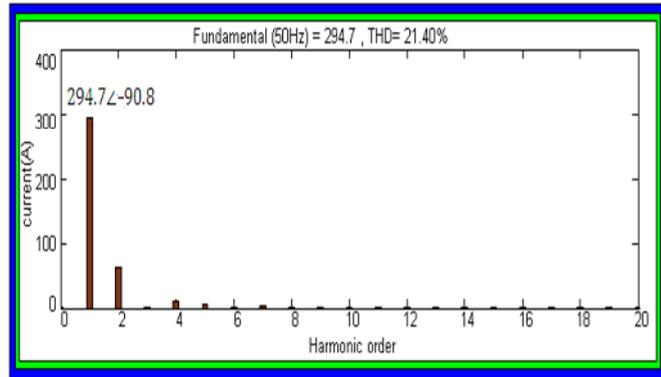
(c)



(d)



(e)

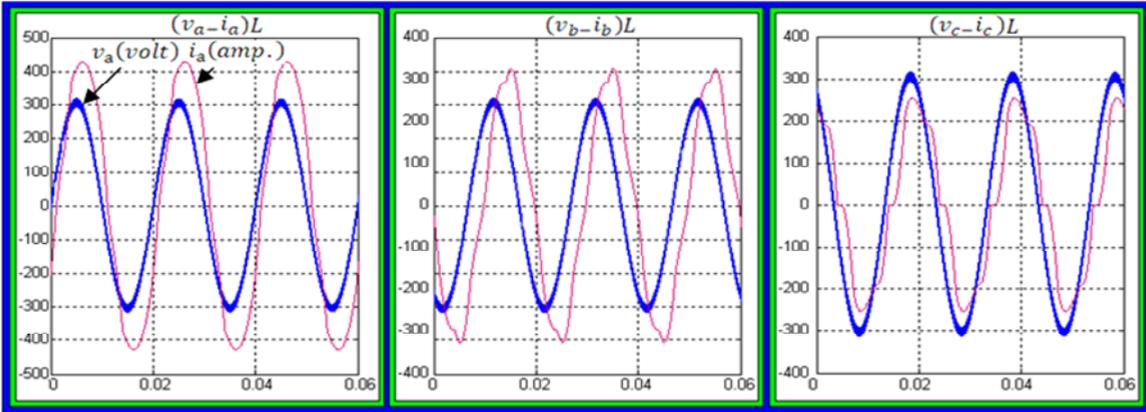


(f)

(9) باستخدام حمل غير خطي يولد توافقيات زوجية:

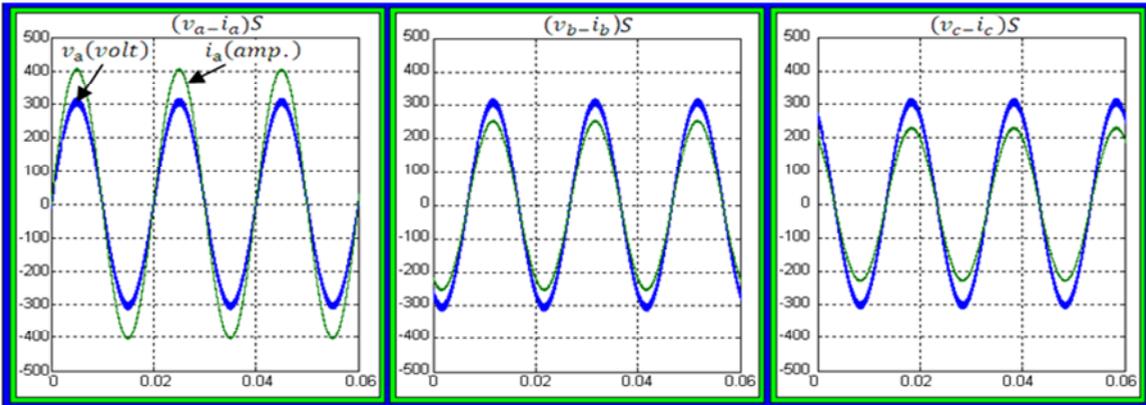
فولتية وتيار: (a) ذو توافقيات زوجية (c) SRDPC (e) SRDPC
 فقيات تيار: (b) (d) SRDPC (f) SRDPC

يوضح (10) فولتية وتيار الأطوار الثلاثة للحمل الغير خطي وغير المتزن
 أيضا الشكل (10) تيار
 (11) يوضح توافقيات الاطوار الثلاثة للحمل والمصدر ومنظومة SRDPC.
 من عدم اتزانها . SRDPC

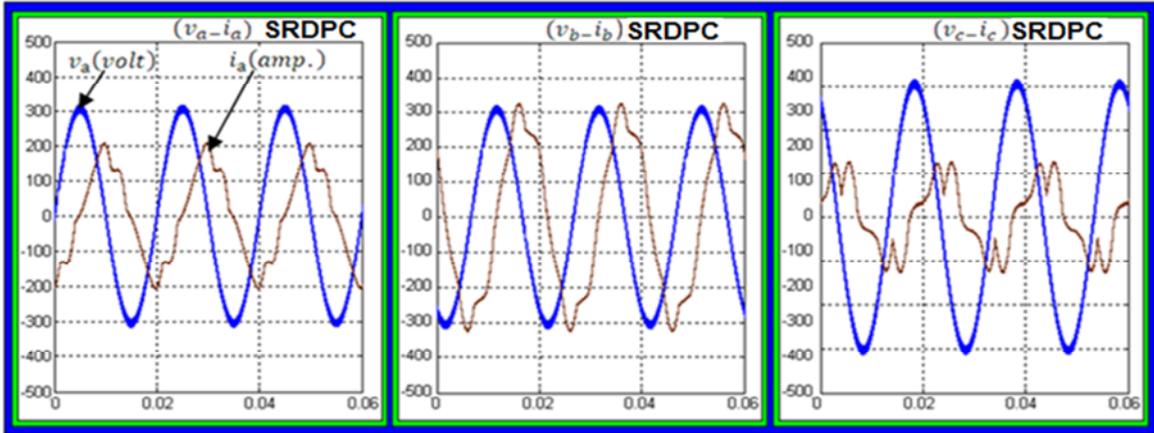


غير خطي وغير متزن

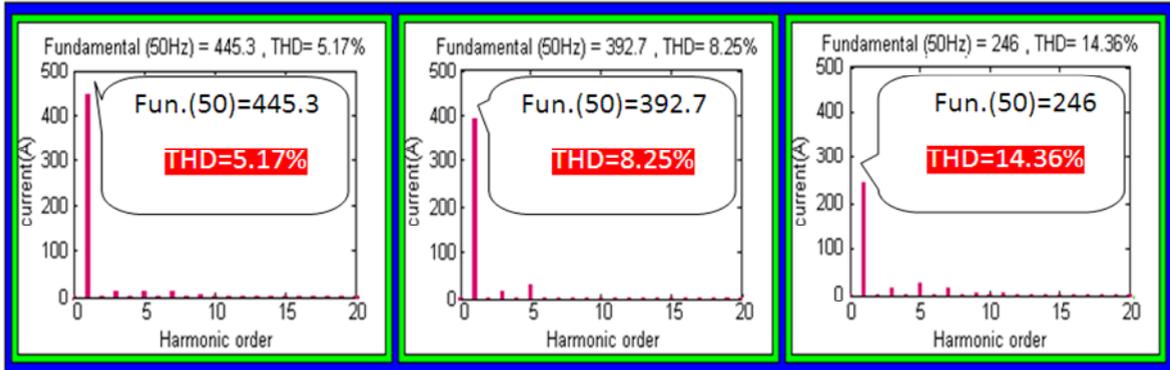
(10) (a) فولتية وتيار الأطوار



(10) (b) فولتية وتيار



(10) (c) فولتية وتيار الأطوار الثلاثة لمنظومة (SRDPC)

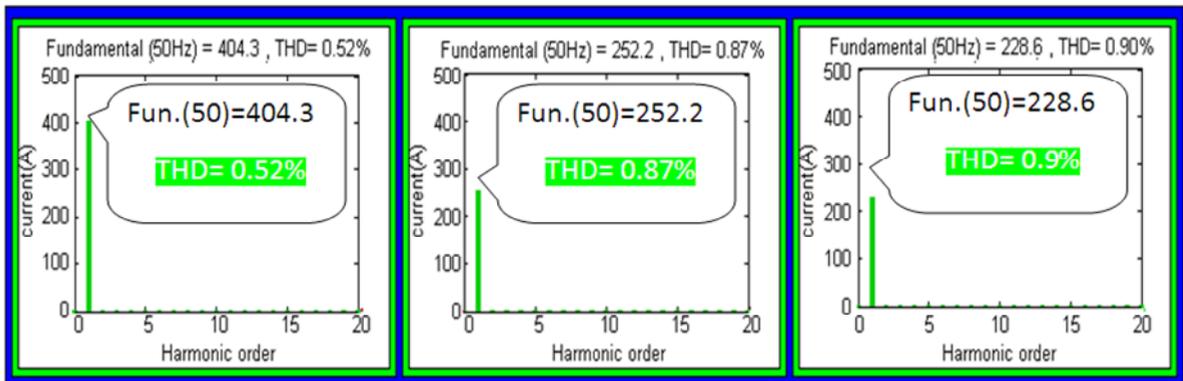


Ph(a)

Ph(b)

Ph(c)

(11)(a) تحليل توافقيات التيار للأطوار الثلاثة لحمل غير خطي وغير متزن

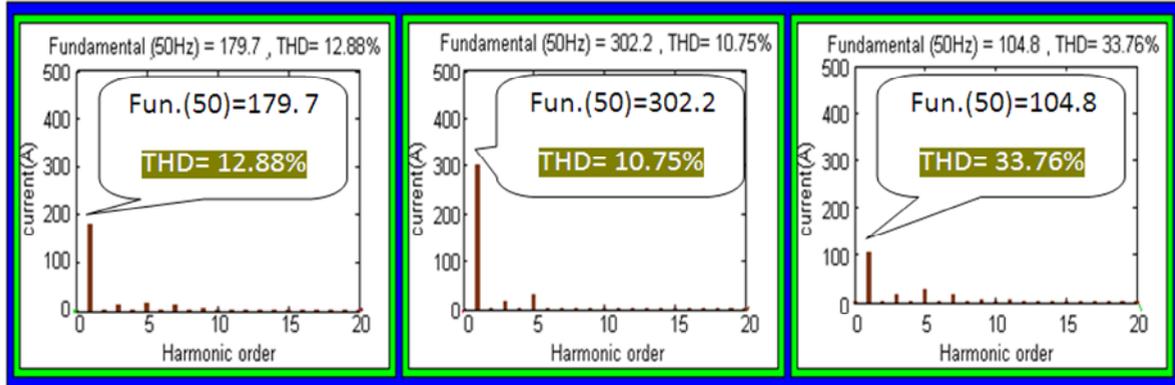


Ph(a)

Ph(b)

Ph(c)

(11)(b) تحليل توافقيات التيار للأطوار الثلاثة للمصدر



Ph(a) Ph(b) Ph(c)
(c)(11) تحليل توافقيات التيار للأطوار الثلاثة لمنظومة (SRDPC)

6. :
يُسبب استخدام الأحمال الخطية الحثية السعوية سريان القدرة المتفاعلة التي لها الأثر السلبي على عامل القدرة، إضافة إلى توسع استخدام الأحمال غير الخطية مثل المكائن الكهربائية و المقومات بتنوعها والمسوقات اختلافاتها. وتقوم هذه الأحمال بحقن التوافقيات في منظومة الشبكة الكهربائية والتي لها تأثيرات سلبية على الأجهزة الباحثين إلى استخدام طرق مختلفة لتقليل التوافقيات والقدرة المتفاعلة. في هذا البحث تم اقتراح منظومة معوض القدرة المشوهة والمتفاعلة (SRDPC). تقوم هذه المنظومة بتعويض القدرة المتفاعلة والتوافقيات في الوقت نفسه وتستطيع التعامل مع الأحمال الخطية و خطية التحليل و التمثيل تم التوصل إلى الاستنتاجات الآتية : وغير المترنة لأجل تحسين وتقليل التشوه الحاصل في نظام تجهيز القدرة الكهربائية.

1. () عامل قدرة متغير يتراوح بين 0.368 و 0.953 SRDPC تم الحصول على قيمة لعامل القدرة قريبة من الواحد (0.99) من جهة مصدر التجهيز والنسبة المئوية لمجموع التشوه للتوافقيات (THD%) (5%) بسبب عملية الفتح و الغلق و تأثيرها قيمة تيار الحمل SRDPC هي 98% . ويمكن تحسين قيمة THD باستخدام مرشح بسيط ذو تردد موائمة لتردد

2. استخدام حمل غير خطي المتمثل بمقوم ثلاثي الطور غير المحكوم SRDPC (P.F = 0.87, THD% = 15.84%) (P.F = 0.8, THD% = 9.36%) الحصول على عامل قدرة بقيمة قريبة من الواحد من جهة مصدر التجهيز و (THD%) 1% 98%.

3. عند استخدام حمل غير خطي يولد توافقيات زوجية ربط منظومة تم الحصول على عامل قدرة قيمته واحد تقريباً من جهة مصدر التجهيز و (THD%) (1.3 %) (96.1 %).

4. حمل غير خطي وغير مترن باستخدام مقوم الثلاثي الطور غير المحكوم مع مقوم أحادي الطور غير (THD%) (5.1%-8.25%) (P.F (ph_a = 0.91, ph_b = 0.635, ph_c = 0.9) (14.36% (SRDPC) تم الحصول على عامل قدرة قيمته واحد تقريباً جهة مصدر التجهيز (THD%) 1% (99 %) ان قيمة THD في حالة الحمل الخطي و الغير خطي تعتمد على تردد الفتح و الغلق للمنظومة و على قيمة تيار

5. اختيار قيم C_{dc}, L_{fmax} يعتمد على طبيعة الأحمال المرابطة والمناسبة أما في هذا البحث فقد تم اختيار قيم ثابتة بحيث عند تصميم محدد لمنظومة معينة تشمل ممانعة خط النقل أو التوزيع ونوع الأحمال وطبيعتها فيكون اختيار قيم dc, L_{fmax} " على معطيات المنظومة للحصول على امثل تحسين في كل من THD (SRDPC) .
6. غير متزنة فان المنظومة تقوم بتقليل من نسبة عدم الاتزان بين الأطوار الثلاثة إضافة إلى تحسين عامل القدرة وتقليل التوافقيات في مصدر التجهيز.

References

- [1] T. Y. Mohammed," Using Microcontroller for STATCOM Operation". 2005,Ms.c. Thesis, University of Mosul ,Mosul , IRAQ .
- [2]Qingguang Yu, PeiLi, Wenhua Liu, Xiaorong Xie ," Overview of STATCOM Technologies", International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies (DRPT2004), April 2004, Hong Kong, PP:647 - 652.
- [3]Maryclaire Peterson, Brij N. Singh, and Parviz Rastgoufard, "Active and Passive Filtering for Harmonic Compensation", 40th Southeastern Symposium on System Theory MC1.5 University of New Orleans, LA, USA, March 16-18, 2008PP:188 - 192.
- [4]Bhim Singh, Kamal Al-Haddad, and Amtbrish Chandra," A New Control Approach to Three-phase Active Filter for Harmonics and Reactive Power Compensation", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, No. 1, February 1998,pp:133-138.
- [5]Adil M. Al-Zamil, and David A. Torrey, "A Passive Series Active Shunt Filter for High Power Applications", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, Vol. 16, NO. 1, JANUARY 2001pp:101-109.
- [6]Nassar Mendalek, Kamal Al-Haddad, FarhatFnaiech, and Louis A. Dessaint, "Sliding Mode Control of 3-Phase Shunt Active Filter in the d&q Frame", IEEE,2002.
- [7]Seyyed Hossein Hosseini, Reza Rahnavard, and Yousef Ebrahimi, "ractive Power Compensation in Distribution Networks with STATCOM by Fuzzy Logic Theory Application", IEEE, 2006.
- [8] Bhim Singh, and R. Saha, "A Harmonics Optimized 12-Pulse STATCO Mfor Power System Applications" IEEE India Conference on Power, 2006 .
- [9]W. Lenwari, M. Sumner and P. Zanchetta, "Design and Analysis of High Performance Current Control for Shunt Active Filters", The 3rd IET International Conference on Power Electronics Machines and Drives, Mar. 2006, PP:90 – 95.
- [10]Y. Xu, L.M. Tolbert, J.N. Chiasson, J.B. Campbell and F.Z. Peng, "A generalized instantaneous non-active power theory for STATCOM ",IET Electr. Power Appl., 2007,Volume 1, (6), pp. 853–861.
- [11] XiaolingWen, XianggenYin, and Hanxiang Cheng," The General Mathematical Model and Performance Analysis of Multi-pulse Three-level STATCOM ",International Conference on Electric Machines & Drives , Volume 1,3-5 May 2007, PP:760–765
- [12] ab. Hamadi, S. Rahmani , W. Santana, and K. Al-Haddad, "A Novel Shunt Hybrid Power Filter for the Mitigation of Power System Harmonics", IEEE Canada Conference on Electrical Power , 25-26 Oct. 2007 .
- [13]Narayan G. Apte, Dr. Vishram N. Bapat, and Amruta N. Jog, "A Shunt Active Filter for Reactive Power Compensation and Harmonic Mitigation", The 7thInternational Korea Conference on Power Electronics 22-26Oct.,2007,PP:672 - 676.

- [14]M. Tavakoli Bina1, N. Khodabakhshi, "Generation of Voltage Reference Signal in Closed-Loop Control of STATCOM", Australasian Universities Power Engineering Conference ,14-17 Dec. 2008, PP:1 –5.
- [15]R.E. Torres-Olguin, G. Escobar, A.A. Valdez and M.F. Martinez-Montejano, "A model-based controller for a three-phase four-leg shunt activefilter with homopolar current compensation", IEEE,2008.
- [16] Toufic Al Chaer, Jean-Paul Gaubert, and MagedNajjar, "Output Feedback Control of a Three-PhaseShunt Active Power Filter".Conference Universities Power Engineering ,14-17 Dec. 2008, PP:1-5.
- [17] M. Elnashar, M. Kazerani, R. El Shatshat, and M.M. A. Salama,"Comparative Evaluation of Reactive PowerCompensation Methods for a Stand-Along WindEnergy Conversion System", IEEE Conference on Power Electronics Specialists, 15-19 June 2008 PP:3819 - 3824.
- [18] Basim M. A. Anwar, "Using STATCOM To Reduce The Distortion & Improve The power-factor for Electrical power", 2010, Ms.c. Thesis , University of Mosul , IRAQ .
- [19] Thanh Hai Nguyen, Dong-Choon Lee, Tan Luong Van, and Jong-Ho Kang," Coordinated Control of Reactive Power between STATCOMs and Wind Farms for PCC Voltage Regulation", Journal of Power Electronics, Vol. 13, No. 5, September 2013
- [20]Abdelmadjid Chaoui,Jean-Paul Gaubert,and Fateh Krim," On the Design of Shunt Active Filter for Improving Power Quality", IEEE International Symposium on Industrial Electronics, June 30-July 2, 2008, PP:31-37.

تم اجراء البحث في كلية الهندسة = جامعة الموصل