استخدام منظومة معوض القدرة المشوهة و المتفاعلة الساكن لتحسين جودة المصدر المتناوب

أ.د. باسل محمد سعيد
قسم الهندسة الكهربائية
جامعة الموصل

باسم محمد أمين أنور
شركة سمنت الشمالية
الموصل – العراق

الخلاصة

يتناول هذا البحث احدى الجوانب الاساسية لتحسين جودة القدرة الكهربائية لمعالجة التشوه الحاصل بسبب الاستخدام الواسع لمضومات الكترونيات القدرة بشكل خاص او الاحمال اللاخطية بشكل عام ، كذلك معالجة ما تسببه هذه الاحمال من تأثير على عامل القدرة . تم تحليل وتمثيل مظومة جديدة باستخدام (Matlab) وبجمع وظائف مظومتين هما معوض القدرة المتفاعلة المتزامن الساكن ومرشح القدرة الفعال في وحدة واحدة. إن المظومة المقترحة لها قابلية السيطرة على سريان القدرة المتفاعلة في مظومات الطاقة الكهربائية وأيضا تقليل التوافقيات في آن واحد عن طريق تعويض كل من الجزء الخيالي لتيار الحمل والتوافقيات. وسميت هذه المنظومة بمعوض القدرة المشوهة والمتفاعلة الساكن (SRDPC).

ان دائرة السيطرة على منظومة SRDPC تعمل بتقنية تضمين عرض النبضة العشوائي (RPWM) حيث تم الحصول عليها وفق معادلات تم اشتقاقها لهذا الغرض. وبينت نتائج التحليل والتمثيل لمظومة (SRDPC) بان لها القدرة والكفاءة في تحسين كل من عامل القدرة وشكل موجة التيار وضمن 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.

أستلم: 28 - 2 - 2015 قبل: 16 - 10 - 2015

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

1. المقدمة

ان تنوع 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 أو معوض القدرة المتفاعلة المتزامن الساكن (STATCOM)، أو معوض القدرة المتفاعلة الساكن(SVC). أما تقليل التوافقيات فيحتاج إلى منظومات تعالج الأحمال المستخدمة حسب تطبيقاتها ونوعها والأمثلة على هذه المنظومات هو المرشح الخامل(Passive Filter) والمرشح الفعال (Active Filter). لأهمية موضوع تحسين عامل القدرة وتقليل التوافقيات فقد قام الباحثون والمصممون لأنظمة القدرة بإجراء البحوث والتصاميم اللازمة 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 وصولا إلى المنظومات الذكية [1-2]لما أصبحت التوافقيات مشكلة تَجب معالجتها بعد انتشار الأحمال اللاخطية في العديد من التطبيقات المدنية والصناعية. ومن الطرق الأساسية للمعالجة هي استخدام المرشحات التي تلبي معايير جودة القدرة .

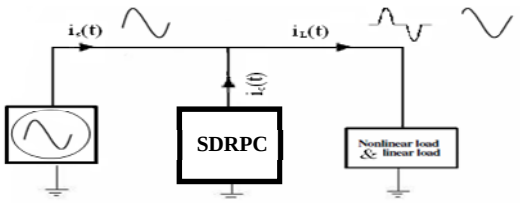
ويمكن تقسيم أنواع المرشحات إلى ما يأتي: المرشح الخامل والذي له القدرة على امتصاص التوافقيات لمنظومة التوزيع وأن كلفته قليلة نسبيا. هذا المرشح يتم ضبطه لترشيح عند قيم محددة من التوافقيات كما يحتاج الى توليف بشكل دوري، وبسببه يتولد بعض حالات الاضطراب في المنظومة كحالة الرنين وخاصة في دوائر الأحمال اللاخطية. أما المرشح الفعال فانه مرن ويمكن استخدامه على التوالي أو على التوازي وذو كفاءة في التنظيم والتعويض ولمدى واسع من التوافقيات ويمتاز بالاستجابة الجيدة وملائم مع المنظومات الحديثة و لكن كلفة انشاءه عالية [3]. في عام1997 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].و في عام 2001تم تصميم مرشحا هجينا يتكون من مرشح فعال على التوازي ومرشح خامل على التوالي. ومن مميزات هذا التصميم تركيبه البسيط نسبيا والمرونة في الأداء[5]. وفي عام2002 تم تصميم مرشح نوع فعال SAF مسيطرا" 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 عام2006 صمم STATCOM الذي يعمل بالمنطق المضبب 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 قيما" عالية للتوافقيات 11th,13th والأعلى مرتبة التي تسببTHD بقيمة عالية عند مقارنتها مع STATCOM المتكون من مستويين (12) نبضة إذ أن تأثير كل من 5th، 7th، 11th، 13th له قيم قليلة تجعلTHD ضمن الحدود المسموح بها واقل من الطريقة السابقة[8]. في عام 2006 أيضا 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 والمتمثل 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 ملائم للأحمال اللاخطية [12]. وفي عام 2007 أستخدم نموذج تمثيلي لمنظومة SAF التي كانت فعالة لتعويض التوافقيات وتحسين عامل القدرة. وبعد التعويض تبين أن THD=5.97% و يشير هذا الرقم إلى ارتفاع طفيف عن القيمة المقررة. إن قدرة التعويض عالية بسبب عناصر ذات تردد عال في 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 والى شبكة الطاقة لتحسين عامل القدرة ومن مزايا هذا النظام انه يستخدم في نظم ذو القدرة العالية وله كفاءة عالية وبتردد فتح وغلق اقل 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 ومعوضيSVC وSTATCOM ، وبينا أن الأداء الأسوأ والكلفة الأقل في استخدام المتسعة ، والمعوض SVC يولد فولتية جيبيه مع ظهور توافقيات للمراتب القليلة بينما الSTATCOM

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

تكون استجابته سريعة وعامل الشكل ذو تأثير جيبي ولكن كلفته عالية[17].ركزت التصاميم والبحوث السابقة على تعويض التوافقيات باستخدام المرشح نوع SAPF وتعويض القدرة المتفاعلة باستخدام معوض نوع STATCOM، كما أنه هنالك مميزات أخرى تساهم في الحفاظ على استقراريه وتحسين من جودة القدرة الكهربائية المنظومة . ان بحثنا هذا[18] تناول 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) "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 الأحمال غير الخطية التي تسبب تشوهات في القدرة المجهزة مع أحمال خطية مختلفة (حثية أوسعويه ثلاثية الطور متزنة او غير متزنة) . تم تحليل وتمثيل المنظومة لغرض تعويض التوافقيات وتحسين عامل القدرة في آن واحد.

2.التحليل النظري لمركبات القدرة في المنظومات الخطية وغير الخطية

ان الاحمال المربوطة مع الشبكة الكهربائية طبيعتها خطية ولاخطية مع تغيير مستمر وعشوائي . مما يتطلب تجهيز هذه الاحمال بقدرة آنية متغيرة. تحوي مركبات هذه القدرة على ثلاث أنواع وهي القدرة الحقيقية و المتفاعلة و المشوهة. ولأجل المساهمة في تحسين جودة القدرة الكهربائية يتطلب تجهز القدرة الحقيقية من قبل مصدر التجهيز للطاقة. أما القدرة المتفاعلة (والذي سببها وجود تأثير حثي أو سعوي للأحمال) ، و القدرة المشوهة (بسبب التأثير اللاخطي للأحمال)، فيتطلب تزويدها من المنظومة المقترحة SRDPC .يبين الشكل (1) كيفية ربط المنظومة لكل طور.



الشكل (1) ربط منظومة SRDPC لكل طور

يمكن تصنيف القدرة إلى مجموعة أصناف وكما يأتي: القدرة الظاهرية(Apparent power): وتمثل الناتج عن عملية ضرب الفولتية بالتيار ويرمز لها (S) ووحدتها (VA). القدرة الحقيقية (Active power) : تمثل معدل الطاقة المنتقلة ويرمز لها(P) ووحدتها (W). القدرة المتفاعلة (reactive power): تمثل جزءا" من القدرة الظاهرية ولا تكون بنفس طور القدرة الحقيقية وانما بفرق زاوية (90)° ويرمز لها(Q) ووحدتها (VAR) وتظهر هذه القدرة عند استخدام العناصر المتفاعلة (كالمحاثات والمتسعات). قدرة التشوه (distortion power) : تظهر هذه القدرة عندما تحوي موجتي الفولتية و التيار على مركبات توافقيات وبرتب مختلفة وذلك بأستخدام أحمال غير خطية ويرمز لها (D) ووحدتها (VA).

ويمكن أن تصاغ القدرة الظاهرية بشكل عام كما هو آت:

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

تمثل I_n قيمة (r.m.s) للتيار عند التوافقية(n). وتمثل V_k قيمة (r.m.s) للفولتية عند التوافقية(k) . ويمكن اعادة صياغة معادلة (1) بالشكل الآتي:

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

يعتمد الجزء الأول من المعادلة (2)المتمثل ب($V_k I_k$) على القيم الفعالة للفولتية والتيار وعند التردد نفسه وبذلك تصاغ القدرة الظاهرية للتوافقيات (s_h) بالشكل الآتي:

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

$$s_h^2 = \sum_{k=1}^{\infty} V_k^2 I_k^2 = \sum_{k=1}^{\infty} s_k^2 \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

ويعتمد الجزء الثاني من المعادلة (2)المتمثل ب$(V_k I_n)$ 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) بقدرة التشوه الكلية $D_{\sum.}$ والتي تصاغ بالشكل الآتي :

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

ويمكن التعبير عن القدرة الظاهرية الكلية من المعادلات السابقة وبالشكل الآتي:

$$s^2 = s_h^2 + D_{\sum.}^2 \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

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

$$s_h^2 = \sum_{k=1}^{\infty} s_k^2 = \sum_{k=1}^{\infty} V_k^2 I_k^2$$

$$= \sum_{k=1}^{\infty} (V_k^2 I_k^2 \cos^2 \Phi_k + V_k^2 I_k^2 \sin^2 \Phi_k) \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

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

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

$$P.F = \sqrt{\frac{\sum P_K^2}{s^2}} \quad \ldots\ldots\ldots (8)$$

في حالة كون الفولتية موجة جيبية والتيار موجة غير جيبية تصبح المعادلة (8)، بالشكل الآتي:

$$P.F = \frac{P_1}{s} = \frac{I_1}{\sqrt{\sum I_n^2}} \cos \Phi_1 \quad \ldots\ldots\ldots (9)$$

تمثل Φ_1 فرق زاوية الطور بين الفولتية والتيار الاساس وتمثل S القدرة الظاهرية بوجود التوافقيات.
وفي حالة كون الفولتية موجة جيبية (كون ممانعة الخط أعتبر ضمن الحمل و بالتالي فولتية الحملV_{1L} هي نفس فولتية المصدرV_{1s}) تكون المعادلات النهائية التي تعتمد في التعويض بوجود منظومة SRDPC كالاتي[18]:

$$I_{1s} = I_{1L} \cos \Phi_{1L} \quad \ldots (10)$$

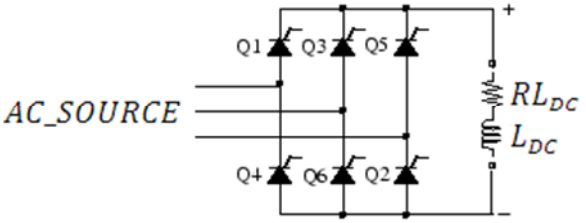
$$I_{1(SRDPC)} \sin \Phi_{1(SRDPC)} = I_{1L} \sin \Phi_{1L} \quad \ldots (11)$$

$$I_{nSRDPC} \angle \Phi_{1nSRDPC} = I_{nL} \angle \Phi_{1nL} \quad \ldots (12)$$

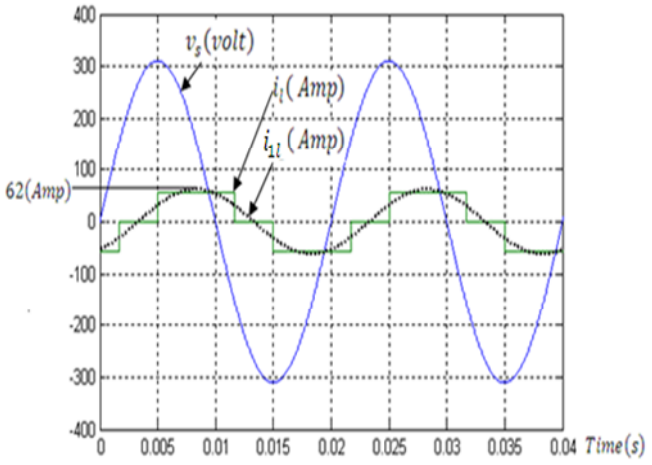
ولتوضيح عملSRDPC تم ربطه على التوازي مع مقوم ثلاثي الطور و محكوم (بزاوية قدح $\alpha = 60^\circ$) كنموذج لحمل لا خطي وله عامل تأثير حثي كما موضح في الشكل (2) ومصدر قدرة ثلاثي الطور. فولتية و تيار الحمل

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

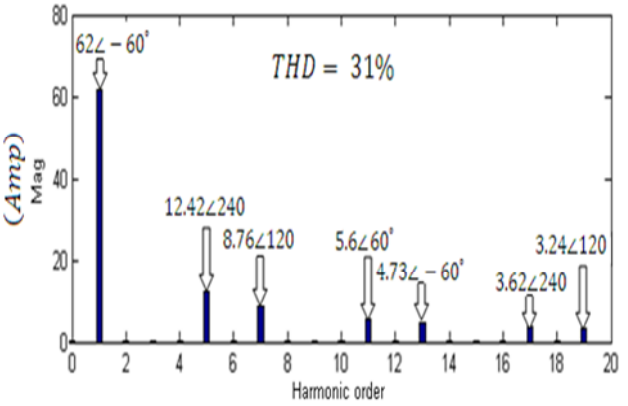
والمصدر و المعوض SRDPC مبين في الاشكال (3-a)؛(3-d)؛(3-g) على التعاقب وتحليل توافقيات تيار الحمل والمصدر والمعوض SRDPC مبين في الاشكال (3-b)؛(3-e)؛(3-h)على التعاقب. كذلك شكل القدرة الانية لكل من الحمل و المصدرو المعوض SRDPC موضحة في الاشكال (3-c)؛ (3-f)؛ (3-i).



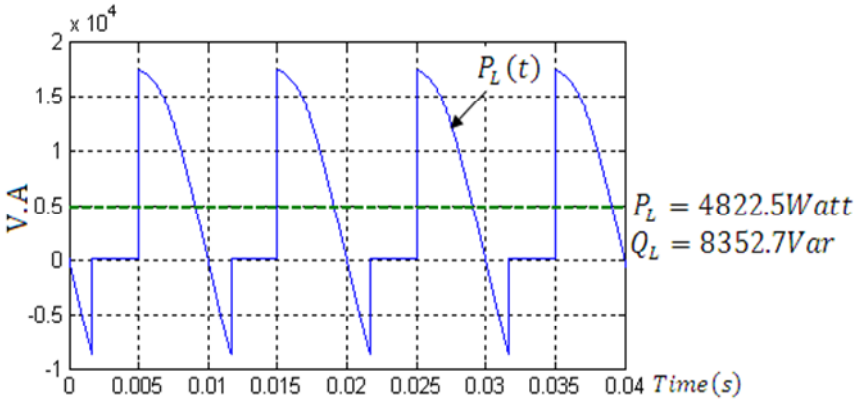
الشكل(2) دائرة مقوم الثلاثي الطور المحكوم.



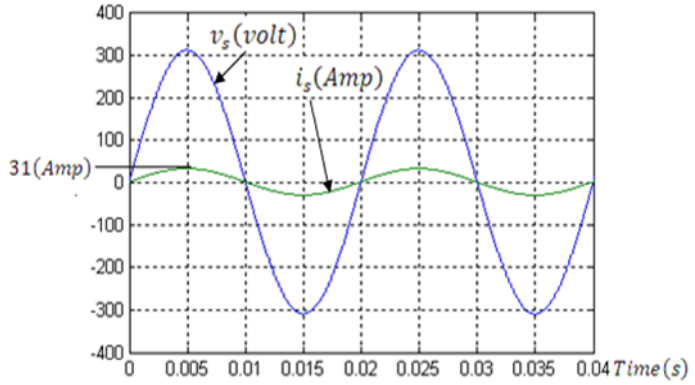
(3-a)



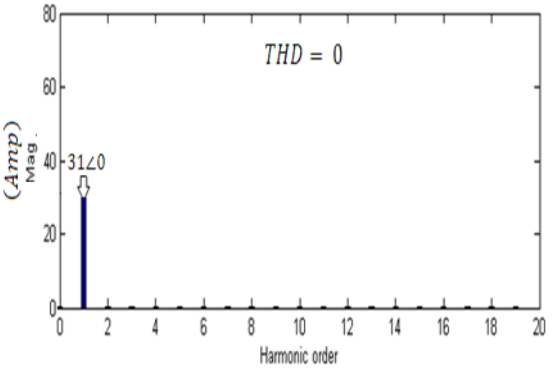
(3-b)



(3-c)

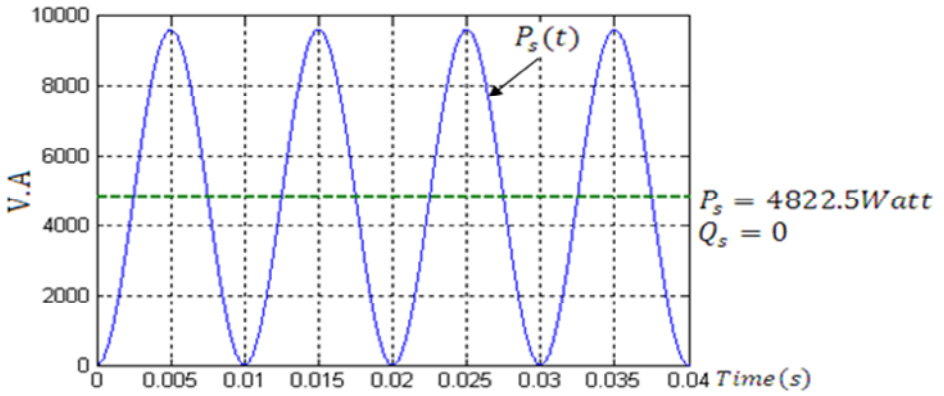


(3-d)

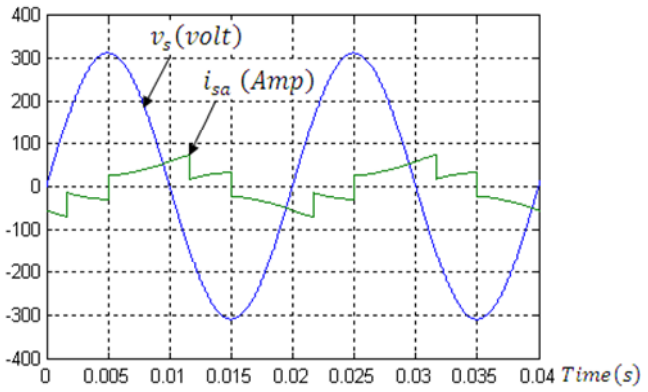


(3-e)

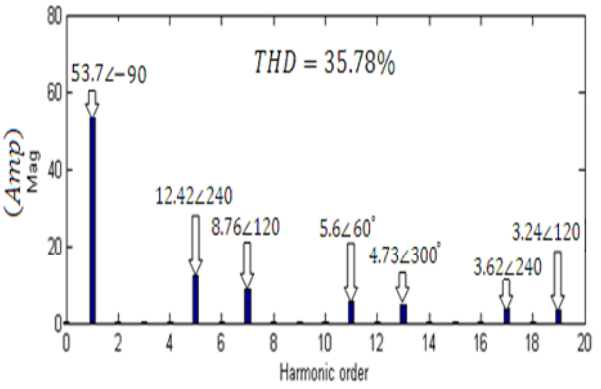
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



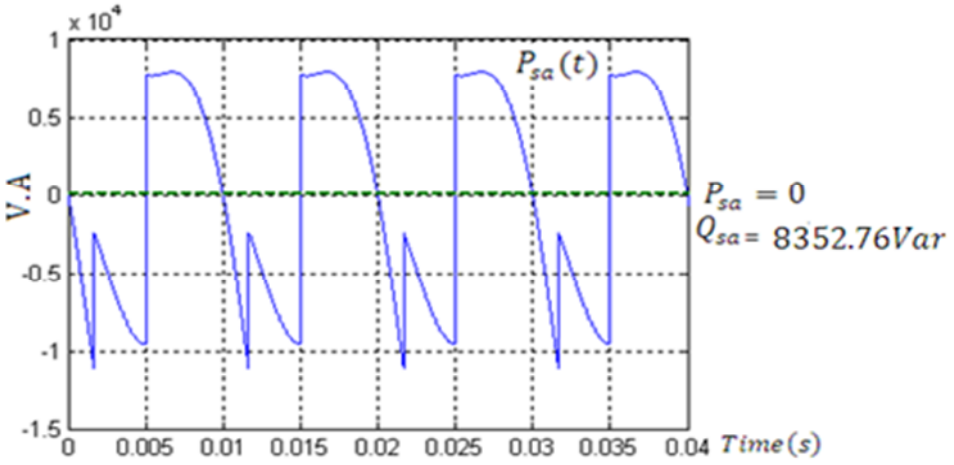
(3-f)



(3-g)



(3-h)



(3-i)

الشكل(3):فولتية وتيار : **(a)** الحمل؛**(d)** المصدر مع وجود**SRDPC**؛**(g)** منظومة**SRDPC**

توافقيات تيار : **(b)** الحمل؛**(e)** المصدر مع وجود**SRDPC**؛**(h)** منظومة**SRDPC**

القدرة الانية$P_L(t)$: **(c)** الحمل؛**(f)** المصدر مع وجود**SRDPC** ؛ **(i)** منظومة**SRDPC**

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

وعلى فرض ان زاوية طور الحمل , $\Phi_{1L} = 60^{\circ}$

فأن معادلة القدرة الحقيقية للحمل $P_{1L(real)ph} = V_{1L} I_{1L} \cos\Phi_{1L}$

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

معادلة القدرة الخيالية للحمل $Q_{1L(reactive)ph}$

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

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

معادلة قدرة التشوه الكلية للحمل

$$\sum_{n=2}^{\infty} D^2_{(1nL)ph} = \underbrace{\sum_{n=2}^{\infty} V^2_{1L} I^2_{nL} \cos^2 \Phi_{1nL} + \sum_{n=2}^{\infty} V^2_{1L} I^2_{nL} \sin^2 \Phi_{1nL}}$$

الجزء الحقيقي لقدرة التشوه الكلية — الجزء الخيالي لقدرة التشوه الكلية

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

معادلة القدرة الحقيقية للمصدر $P_{1s(real)ph} = V_{1s} I_{1s} \cos\Phi_{1s} \; P_{1s(real)ph}$

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

القدرة الخيالية للمصدر $Q_{1s(reactive)ph} = 0$

قدرة التشوه الكلية للمصدر $\sum_{n=2}^{\infty} D^2_{(1ns)ph} = 0$

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

$$= 220 \angle 53.7/\sqrt{2} \cos 90 = 0$$

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

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

قدر التشوه الكلية لمظومة $SRDPC$

$$\sum_{n=2}^{\infty} D^2_{(1nSRDPC)ph} = \left\{ V^2_{1s.a} \sum_{n=2}^{\infty} I^2_{ns.a} \cos^2 \Phi_{1ns.a} + \sum_{n=2}^{\infty} I^2_{ns.a} \sin^2 \Phi_{1ns.a} \right\}$$

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

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

3.تخمين عناصر مظومة SRDPC:

يعتمد تخمين عناصر مظومة SRDPC على ثلاث قيم رئيسة 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 الاتية:
افتراض فولتية المصدر المجهز الرئيسي جيبيه. و اختيار قيمة المحاثة(L_f) ضمن المعايير المسموح بها لنسبة (THD) والتي تمثل 5%. وإن المنظومةSRDPC لها المقدرة على تعويض كل من القدرة المتفاعلة والمشوهة الذي يتطلبه طبيعة الحمل. كما يتم التحكم بدائرة مغير الفولتية باستخدام تضمين عرض النبضة العشوائي (RPWM). يتم اختيار تردد الفتح والغلق لدائرة المغير بحيث يسمح بتمرير أعلى مرتبة للتوافقيات المؤثرة والمراد تعويضها.

1.3تخمين قيمة فولتية المتسعة V_{dc}:

إذا افترضنا أن مغير الفولتية يعمل بأسلوب تضمين عرض النبضة و يمكن حساب V_{dc} بالمعادلة الآتية:

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

تمثل $V_{1s}, V_{1(vsc)}(r.m.s)$ ... ... $V_{1s} < V_{1(vsc)} \leq 2V_{1s}$ المركبة الأساسية لفولتية المغير والمصدر على التوالي [20].

أي أن V_{dc} تتراوح قيمتها بين: $2\sqrt{2}V_{1s} < V_{dc} \leq 4\sqrt{2}V_{1s}$

2.3 تخمين قيمة محاثة ملف التوالي (L_f) لمظومة SRDPC

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

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

تمثل n مرتبة التوافقية ،يمثل$I_n(r.m.s)$ للتوافقية المراد تعويضها، $\omega=2\pi f_s$، تمثل f_s تردد الأساس للمظومة وقيمة L_f
المخمنة لدائرة التمثيل (0.7mH).

3.3 تخمين قيمة المتسعة C_{dc} لمظومة SRDPC

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

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

تمثل ε نسبة تموج مقبولة (على سبيل المثال5%) وقيمة C_{dc} المخمنة لدائرة التمثيل (1 mF).

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

يتكون المغير من ثلاثة اذرع يحتوي كل ذراع على اثنين من ترانزستورات القدرة ذوي البوابة المعزول وثنائي القطبية (IGBT) كما موضح في الشكل (4) ويعملان 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) مع متسعة(c) على التوالي لكل طور إذ أن (rc = 300Ω،c = 300μF) ويسمى هذا المرشح بمرشح التموج للغلق والفتح (VSC) في مظومة SRDPC لتعويض القدرة المتفاعلة وتحسين جودة القدرة. طريقة السيطرة على (VSC) موضحة في الشكل(5) عن طريق منظومة RPWM والإشارة المرجعية لهذه المنظومة تمثل تيار الحمل الآني والخالي من قيمة تيار الأساس ولغرض التحليل تتم هذه العملية عن طريق طرح القيمة الآنية لتيار الحمل الثلاثي الأطوار من القيمة الآنية لتيار جيبي ثلاثي الأطوار ومتزامن مع فولتية المصدر التي تصاغ معادلاته بالشكل الآتي:

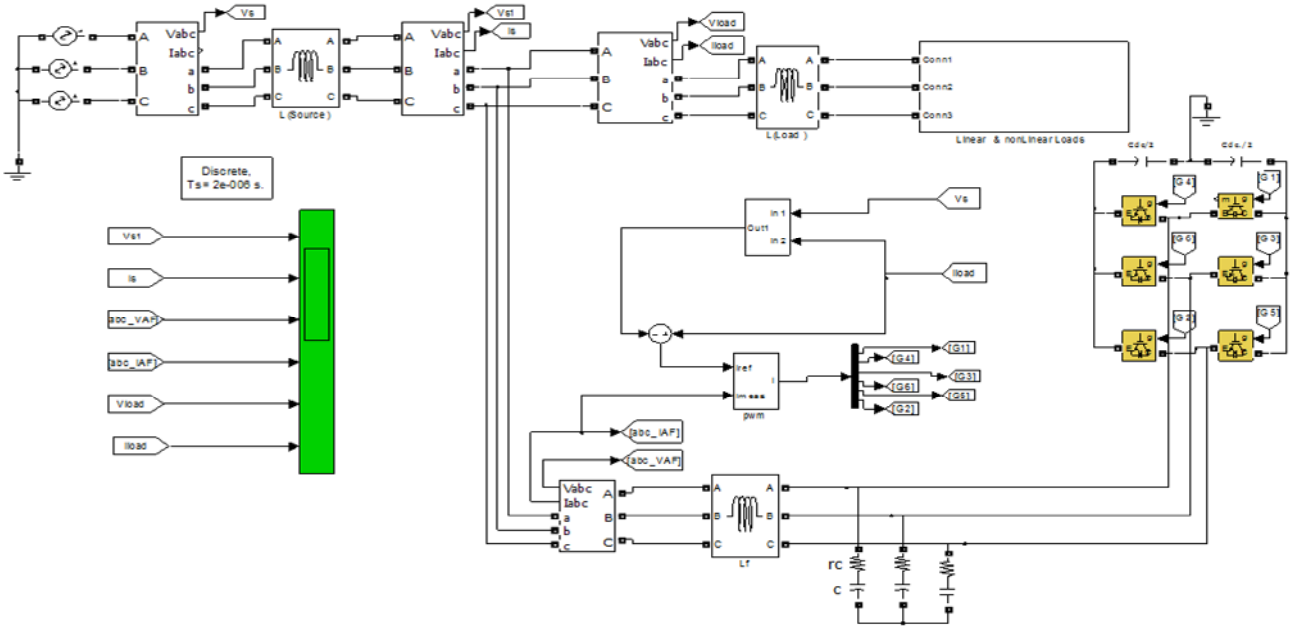
$$i_a = I_p \sin \omega t \ ،i_b = I_p \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) ،i_c = I_p \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

وان قيمة I_p= ($\sqrt{2}I_L \cos \Phi_{1L}$) التي تمثل الجزء الحقيقي لتيار الحمل ويتم احتسابها بالشكل الآتي:
$\sqrt{2}I_L$: يحسب بأخذ قيمة $(r.m.s)$ لتيار الحمل للأطوار الثلاثة مضروبة ب $(\sqrt{2})$.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

5.نتائج التمثيل الحاسوبي باستخدام منظومة SRDPC

تتناول هذا الفقرة 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 أوسعوية) ومعالجة التوافقيات للأحمال الغير خطية سواء كانت متزنة أو غير متزنة .



الشكل(4) تمثيل منظومة (SRDPC) وربطها الى الشبكة

1.5استخدام أحمال خطية:

تم استخدام حمل ثلاثي الطور مكافئ مربوط على شكل نجمي متزن باستخدام شكلين من الحمل الخطي:

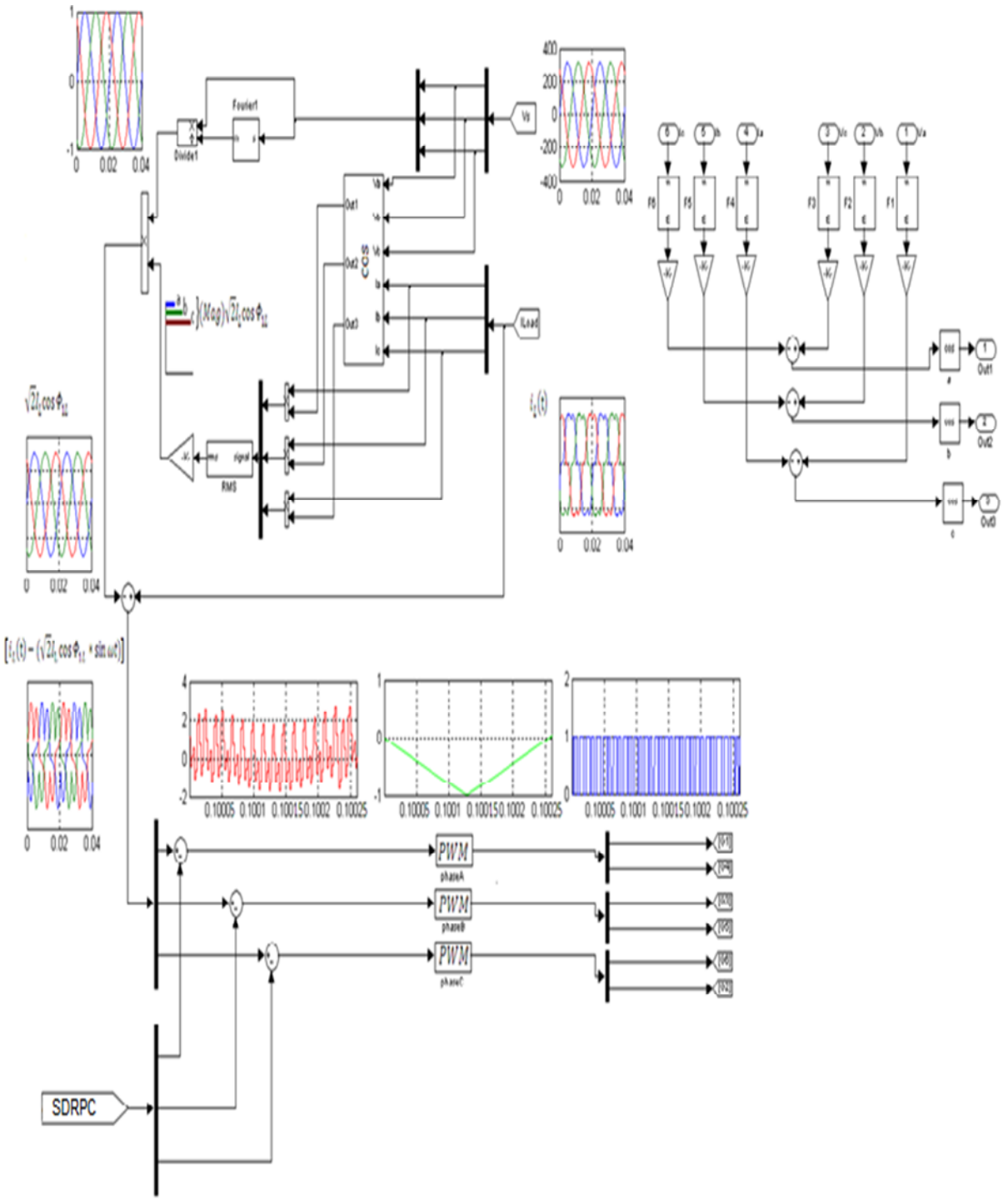
1.1.5 حمل حثي(بعامل قدرة متخلف): يوضح الشكل(6) فولتية وتيار الحمل، والمصدر، ومنظومة SRDPC بقيم مختلفة لعامل قدرة متخلف، ونلاحظ في هذا الشكل تحسن عامل القدرة وانخفاض قيمة تيار الأساس ولجميع تغيرات الحمل، ويبين الجدول (1) خصائص النظام لأحمال حثية وبعامل قدرة متخلف قبل وبعد ربط منظومة SRDPC .

الجدول(1) خصائص النظام لحمل حثي قبل وبعد ربط منظومة SRDPC

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

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

2.1.5 حمل سعوي: يوضح الشكل (7) فولتية وتيار الحمل، والمصدر، ومنظومةSRDPC 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 وبعامل قدرة متقدم قبل وبعد ربط منظومةSRDPC.

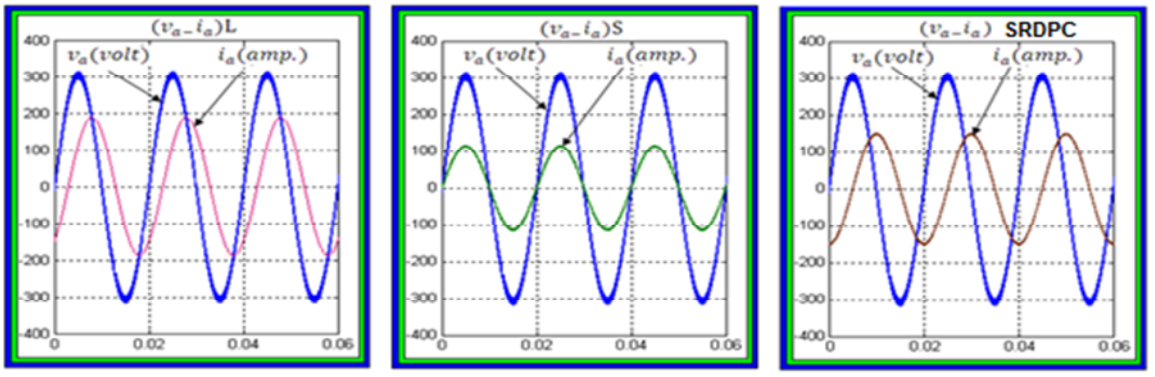


الشكل (5) دائرة السيطرة لمنظومة (SRDPC)

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

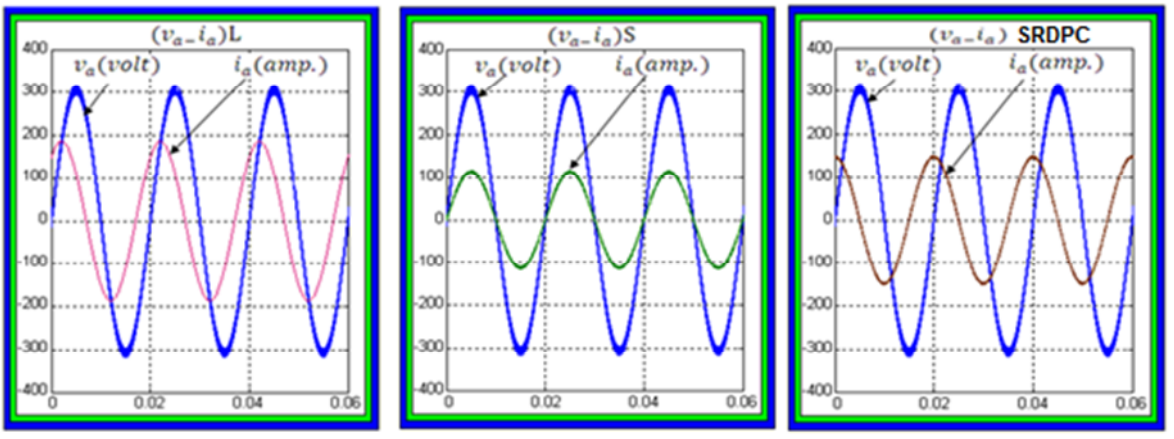
الجدول(2) خصائص النظام الحلي السعودي قبل وبعد ربط منظومة SRDPC

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



(a) (b) (c)

الشكل(6) فولتية وتيار:(a) الحلي عند عامل قدرة متخلف(0.6) (b) المصدر (c)المظومة SRDPC



(a) (b) (c)

الشكل(7) فولتية وتيار :(a) الحلي عند عامل قدرة متقدم(0.6) (b) المصدر (c) المظومة SRDPC

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

وتم حساب الكفاءة من المعادلة التالية:

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

5. استخدام أنواع مختلفة من الأحمال اللاخطية

تم عرض نموذج من النتائج لأحمال تحوي على تأثير قدرة حقيقية ومفاعلة ومشوهة وكذلك اخذت حالة عدم اتزان بين الاطوار الثلاثة . يوضح الاشكال (8) و (9) و (10) الحالات أعلاه . نلاحظ من هذه الاشكال عامل القدرة وشكل موجة تيار المصدر، وانخفاض قيمة تيار الأساس للمصدر مع انخفاض قيمة THD إلى اقل من 1%. في الشكل(8) تم استخدام حمل غير خطي متمثل بمقوم غير محكوم .

استخدام حمل غير خطي ثلاثي الطور يولد توافقيات بمرتبة زوجية:

ان استخدام هذا الحمل يسبب حقنا" 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 الحمل التام.

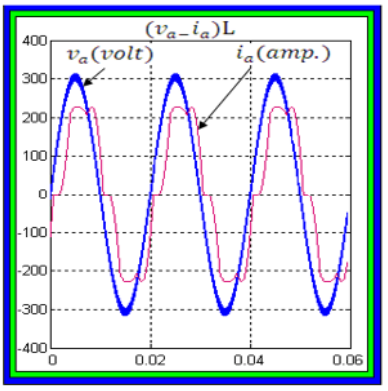
الجدول (3) خصائص النظام قبل وبعد ربط منظومة SRDPC للحمل ونصف الحمل التام للمقوم الثلاثي الطور غير المحكوم

خصائص النظام قبل وبعد ربط منظومة (SRDPC) في حالة نصف الحمل التام				
خصائص المصدر	$P.F$	$THD\%$	$I_{1s*}\sqrt{2}(Amp.)$	η%
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	$P.F$	$THD\%$	$I_{1s*}\sqrt{2}(Amp.)$	η%
قبل	0.8 Lag	9.36	426	
بعد	0.999 Lag	0.57	346.1	98.5

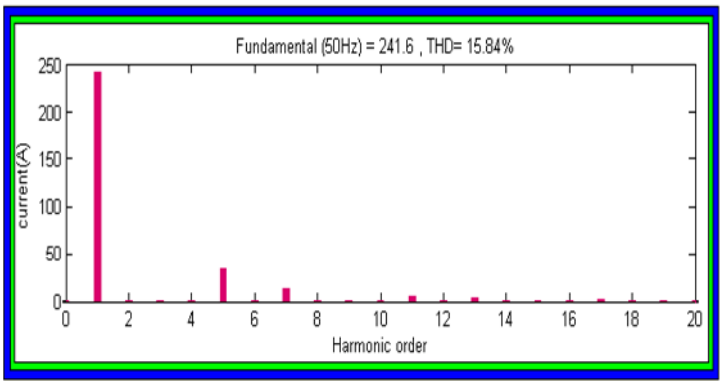
الجدول(4)خصائص النظام قبل وبعد ربط منظومة SRDPC لحمل غير خطي يولد توافقيات بمرتبة زوجية ولحالة الحمل التام.

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

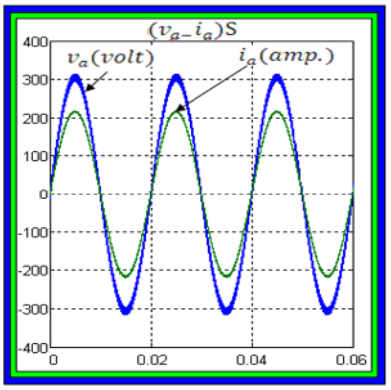
المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



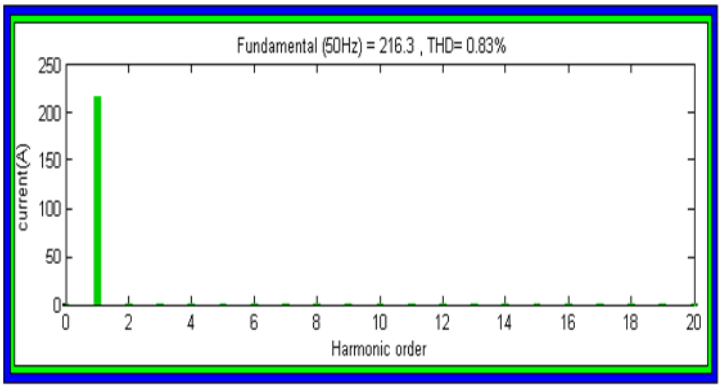
(a)



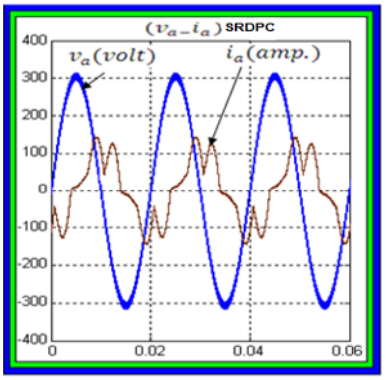
(b)



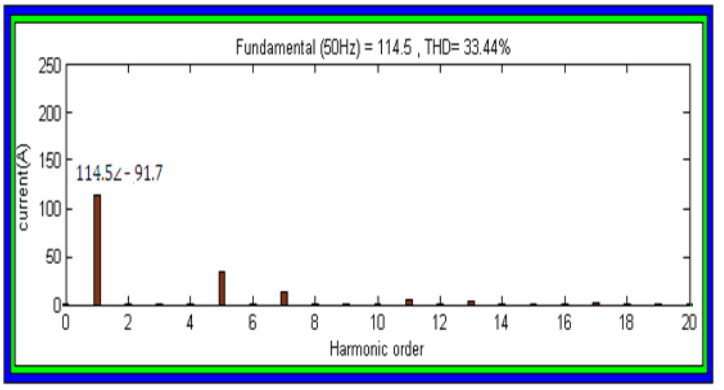
(c)



(d)



(e)



(f)

الشكل (8) باستخدام مقوم غير محكوم:
فولتية وتيار: (a)الحمل؛ (c)المصدرمع وجودSRDPC؛ (e)منظومةSRDPC
توافقيات تيار: (b)الحمل؛ (d)المصدرمع وجودSRDPC؛ (f)منظومةSRDPC

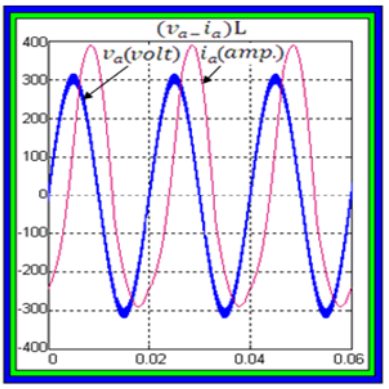
ويوضح الشكل (9) فولتية، وتيار، وتوافقيات التيار لكل من الحمل والمصدر ومنظومة SRDPCعند الحمل التلم والحمل غير الخطي ثلاثي الطور يولد توافقيات بمرتبة زوجية، ونلاحظ في هذا الشكل تحسن عامل القدرة وشكل موجة تيار المصدر عن طريق تعويض التوافقيات الزوجية ، وانخفاض قيمة تيار الأساس للمصدر مع انخفاض قيمة THD إلى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

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

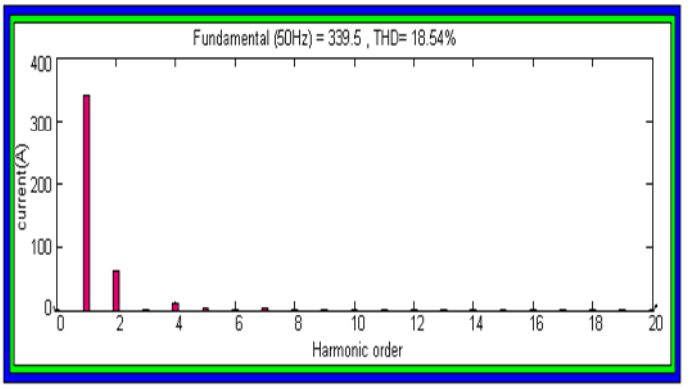
كذلك تم عرض حالة حمل غير خطي وغير متزن: حيث يسبب استخدام هذا النوع من الاحمال تشوهاً في موجة تيار المصدر ولكل طور مختلف عن الاخر. عند ربط مظومة SRDPC نلاحظ انخفاض قيمة تيار المصدر لكل طور مع انخفاض في قيمة THD إلى اقل من 1%. ويوضح الجدول (5) خصائص النظام قبل وبعد ربط مظومة (SRDPC) و الذي يوضح تحسن عامل القدرة وتقليل التوافقيات و لكل طور.

الجدول(5)خصائص النظام قبل وبعد ربط مظومة SRDPC للأطوار الثلاثة عند استخدام حمل غير خطي وغير متزن

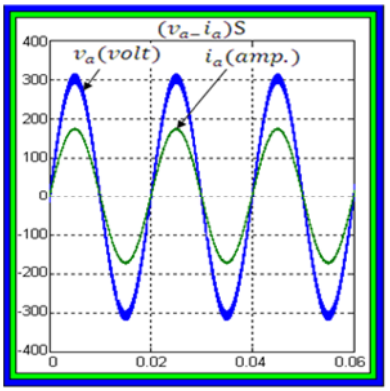
خصائص النظام قبل وبعد ربط مظومة (SRDPC) في حالة الحمل التام				
خصائص ph_a	$P.F$	$THD\%$	$I_{1s}\sqrt{2}(Amp.)$	η%
قبل	0.91 Lag	5.1	445.4	
بعد	0.999 Lag	0.52	404.3	
خصائص ph_b	$P.F$	$THD\%$	$I_{1s}\sqrt{2}(Amp.)$	η%
قبل	0.635 Lag	8.25	392.7	
بعد	0.999 Lag	0.87	252.2	99
خصائص ph_c	$P.F$	$THD\%$	$I_{1s}\sqrt{2}(Amp.)$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



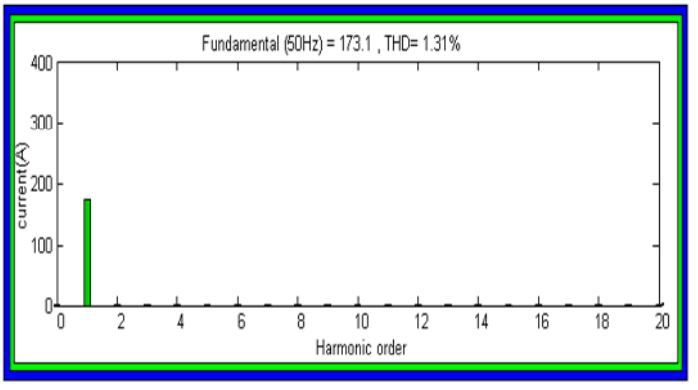
(a)



(b)

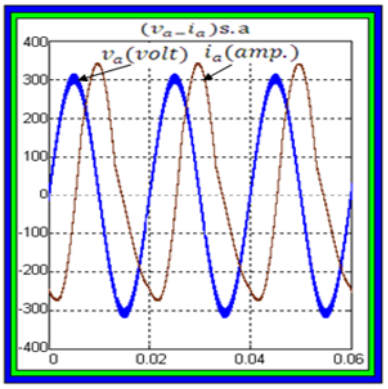


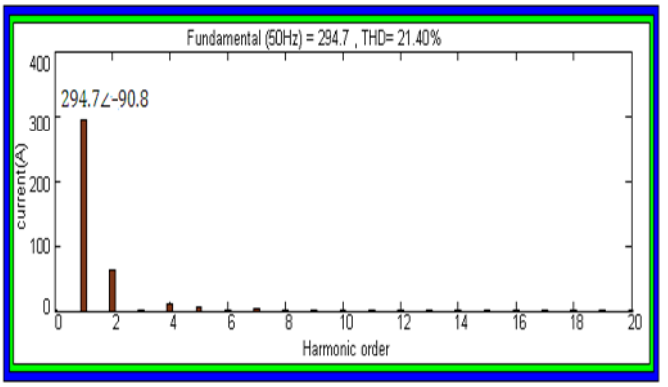
(c)



(d)

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

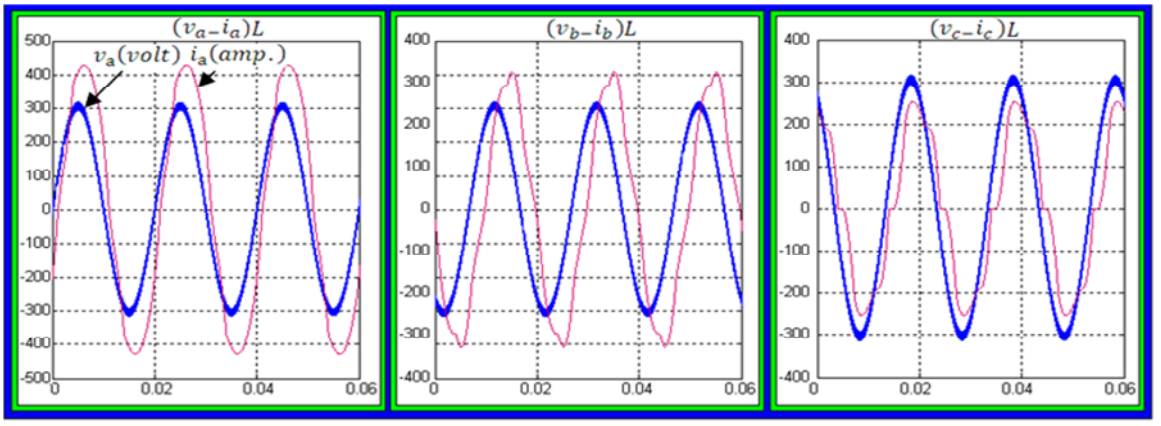




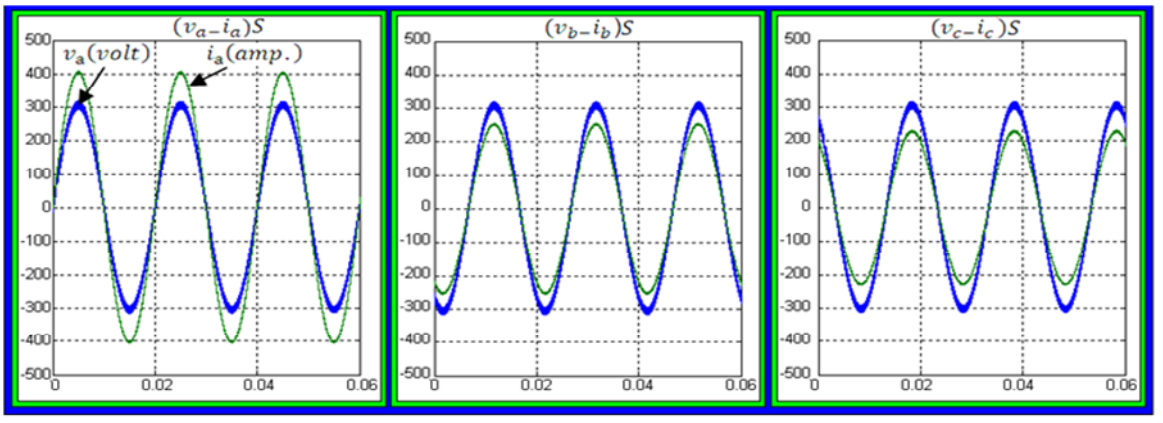
(e) (f)

الشكل (9) باستخدام حمل غير خطي يولد توافقيات زوجية:
فولتية وتيار: (a)الحمل ذو توافقيات زوجية؛ (c)المصدرمع وجودSRDPC؛ (e)منظومةSRDPC
توافقيات تيار: (b)الحمل؛ (d)المصدرمع وجودSRDPC؛ (f)منظومةSRDPC

كما يوضح الشكل(10) فولتية وتيار الأطوار الثلاثة للحمل الغير خطي وغير المتزن والمصدر والمنظومةSRDPC ونلاحظ أيضا الشكل(10) تحسن في أشكل موجات تيارات الاطوار الثلاثة للمصدر بالرغم من عدم اتزانها .
الشكل(11) يوضح توافقيات الاطوار الثلاثة للحمل والمصدر ومنظومة SRDPC.

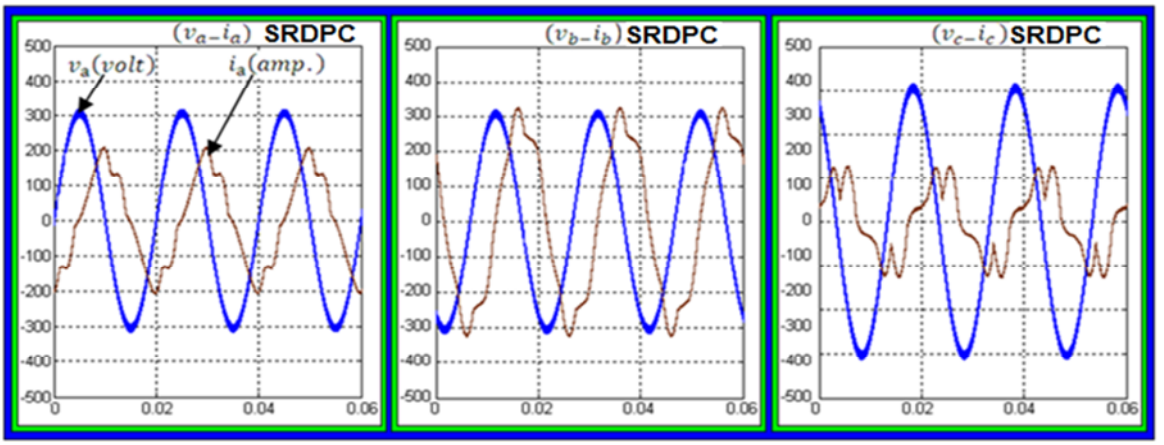


الشكل(10) (a)فولتية وتيار الأطوار الثلاثة والحمل غير خطي وغير متزن

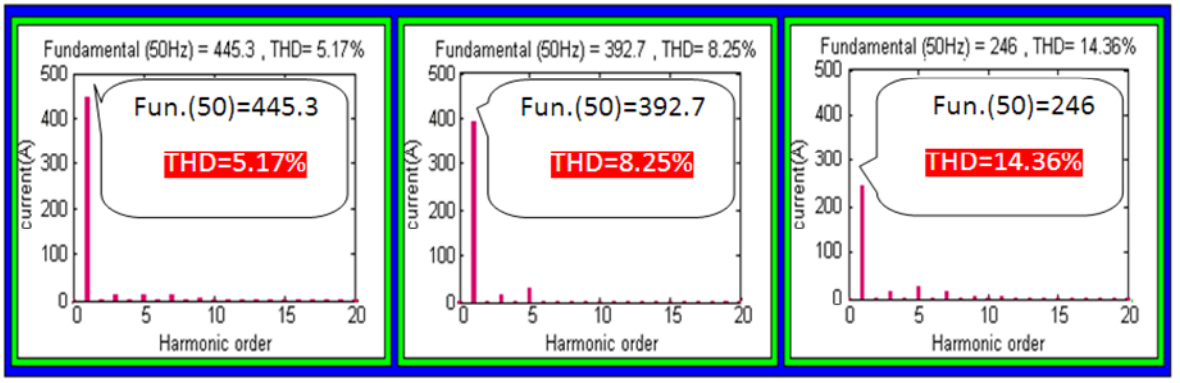


الشكل(10) (b) فولتية وتيار الاطوار الثلاثة للمصدر

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

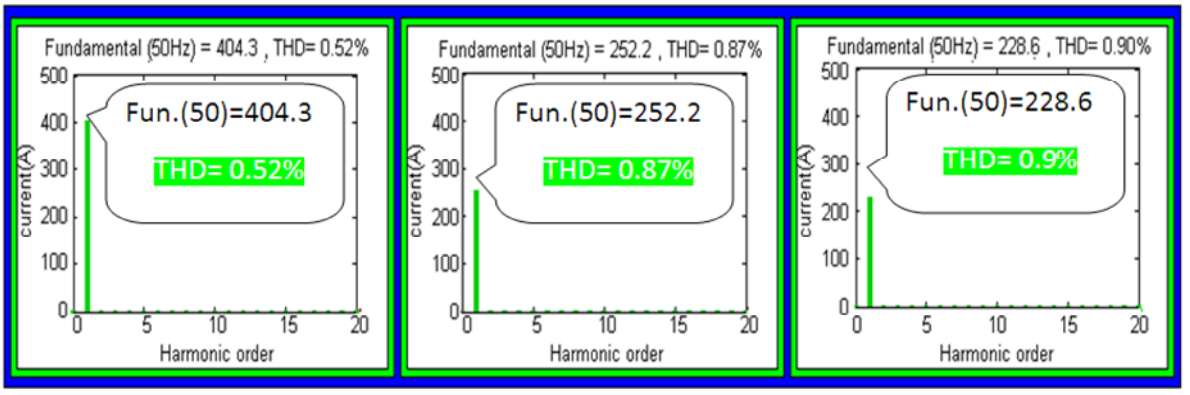


الشكل(10) (c) فولتية وتيار الاطوار الثلاثة لمنظومة(SRDPC)



Ph(a) Ph(b) Ph(c)

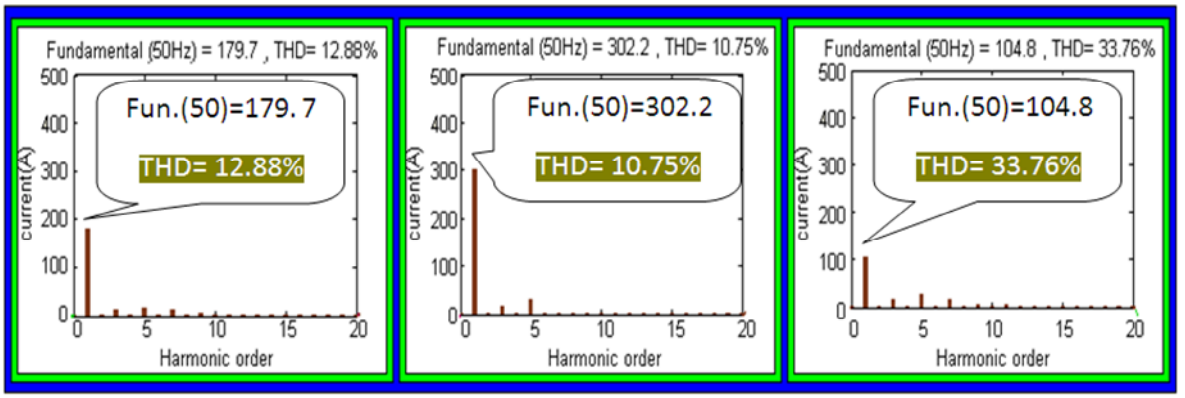
الشكل (11)(a) تحليل توافقيات التيار للأطوار الثلاثة لحمل غير خطي وغير متزن



Ph(a) Ph(b) Ph(c)

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

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com



Ph(a) Ph(b) Ph(c)

الشكل (11)(c) تحليل توافقيات التيار للأطوار الثلاثة لمنظومة (SRDPC)

6.الاستنتاجات :

يُسبب استخدام الأحمال الخطية الحثية أوالسعويه سريان القدرة المتفاعلة التي لها الأثر السلبي على عامل القدرة، إضافة إلى توسع استخدام الأحمال غير الخطية مثل المكائن الكهربائية و المقومات بتنوعها والمسوقات على اختلافاتها. وتقوم هذه الأحمال بحقن التوافقيات في منظومة الشبكة الكهربائية والتي لها تأثيرات سلبية على الأجهزة والمعدات فقد لجأ عدد من الباحثين إلى استخدام طرائق مختلفة لتقليل التوافقيات والقدرة المتفاعلة. في هذا البحث تم اقتراح منظومة معوض القدرة المشوهة والمتفاعلة الساكن (SRDPC). تقوم هذه المنظومة بتعويض القدرة المتفاعلة والتوافقيات في الوقت نفسه ولكل طور على حدا وتستطيع التعامل مع الأحمال الخطية واللاخطية المتزنة وبالاعتماد على نتائج التحليل و التمثيل تم التوصل إلى الاستنتاجات الآتية : وغير المتزنة لأجل تحسين عامل القدرة وتقليل التشوه الحاصل في نظام تجهيز القدرة الكهربائية.

1.عند استخدام حمل خطي (حثي أوسعوي) ولعامل قدرة متغير يتراوح بين0.368 و0.953 وبعد ربط منظومة SRDPC تم الحصول على قيمة لعامل القدرة قريبة من الواحد(0.99) من جهة مصدر التجهيز والنسبة المئوية لمجموع التشوه للتوافقيات (THD%) اقل من (5%) بسبب عملية الفتح و الغلق، ويقل تأثيرها كلما ازداد قيمة تيار الحمل ، كما ان كفاءة منظومة SRDPC هي أعلى من 98% . ويمكن تحسين قيمة THD باستخدام مرشح بسيط ذو تردد موائمة لتردد الفتح والغلق.

2.عند استخدام حمل غير خطي و المتمثل بمقوم ثلاثي الطور غير المحكوم ولحالتي الحمل التام ونصف الحمل التام على التوالي$(P.F = 0.87, \mathrm{THD\%} = 15.84\%)(P.F = 0.8, \mathrm{THD\%} = 9.36\%)$ وبعد ربط منظومة SRDPC تم الحصول على عامل قدرة بقيمه قريبة من الواحد من جهة مصدر التجهيز و(THD%)اقل من 1% والكفاءة أعلى من 98%.

3.عند استخدام حمل غير خطي يولد توافقيات زوجية وعند الحمل التام $(P.F = 0.49, \mathrm{THD\%} = 15.84\%)$ وبعد ربط منظومة تم الحصول على عامل قدرة قيمته واحد تقريباً من جهة مصدر التجهيز و(THD%) (1.3 %) وبكفاءة (96.1 %).

4. في حالة حمل غير خطي وغير متزن مثلا باستخدام مقوم الثلاثي الطور غير المحكوم مع مقوم أحادي الطور غير المحكوم و(0.9 = ph_c ,0.635 = ph_b ,0.91 = ph_a) $P.F$ للأطوار الثلاثة و(THD%) (-5.1%-8.25%-14.36%) وبعد ربط منظومة (SRDPC) تم الحصول على عامل قدرة قيمته واحد تقريبا من جهة مصدر التجهيز و(THD%) اقل من 1% وبكفاءة(99 %). ان قيمة THD في حالة الحمل الخطي و الغير خطي تعتمد على تردد الفتح و الغلق للمنظومة وعلى قيمة كل من التيار و عامل القدرة للحمل .

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

5. ان اختيار قيم كل من L_{fmax} , C_{dc} الخاصة بمنظومة (SRDPC) يعتمد على طبيعة الأحمال المربوطة والمناسبة أما في هذا البحث فقد تم اختيار قيم ثابتة بحيث تغطي معظم الحالات للحصول على تحسين كل من THD وعامل القدرة. لذا عند تصميم محدد لمنظومة معينة تشمل ممانعة خط النقل أو التوزيع ونوع الأحمال وطبيعتها فيكون اختيار قيم L_{fmax} , dc اعتماداً على معطيات المنظومة للحصول على امثل تحسين في كل من THD وعامل القدرة.

6. ان منظومة (SRDPC) تقوم بمعالجة كل طور على حدا وبذلك تتعامل المنظومة مع الأحمال سواء كانت متزنة أو غير متزنة. وعندما تتعامل المنظومة مع الأحمال الغير متزنة، فان المنظومة تقوم بتقليل من نسبة عدم الاتزان بين الأطوار الثلاثة إضافة إلى تحسين عامل القدرة وتقليل التوافقيات في مصدر التجهيز.

References المراجع

[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.

المنارة للاستشارات
www.manaraa.com

[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-Alone 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 ألموصل

www.manaraa.com