

استخدام حزمة التأخير المتكيفة للتحكم بمكيف جودة الطاقة الموحد لمعالجة اضطرابات الجهد والتيار

د. كارلو مقدسي*

د. عصام حسامو**

حسن عدنان قنجرأوي***

(تاريخ الإيداع 18 / 5 / 2021. قُبِلَ للنشر في 1 / 7 / 2021)

□ ملخص □

ازداد استخدام الأجهزة الإلكترونية الحساسة في الآونة الأخيرة، وأصبحت جودة الطاقة متطلباً هاماً في أنظمة الطاقة الكهربائية، حيث تؤثر الاضطرابات التي تحدث في الشبكة (توافقيات، انتفاخ، تدلي الجهد،... إلخ.) على المستهلكين وتؤدي إلى أضرار فنية- اقتصادية. إن أحد أبرز الحلول لمعالجة مشاكل جودة الطاقة هو مكيف جودة الطاقة الموحد (UPQC (Unified Power Quality Conditioner).

قما في هذه الورقة البحثية بدراسة مكيف جودة الطاقة الموحد المستخدم لتحسين جودة الطاقة الكهربائية في شبكات التوزيع حيث سيتم استخدام تحويلات بارك للحصول على الإشارات المرجعية المطلوبة، كذلك استخدمنا حزمة التأخير المتكيفة لتوليد نبضات المفاتيح الإلكترونية في كلا المبدلتين التسلسلية والتفرعية، حيث تم تحديد عرض الحزمة بالاعتماد على المنطق الضبابي.

تم التحقق من صحة النظام المدروس من خلال محاكاة حالات اضطراب مختلفة ومقارنة النتائج في حال استخدام تعديل عرض النبضة الحبيبي (SPWM) للتحكم بالمبدلتين. بينت النتائج تحسين جودة الطاقة الكهربائية من خلال استخدام متحكم حزمة التأخير المتكيفة، وبدا ذلك من خلال إنقاص عامل التشويه (THD%) التوافقي الكلي الذي نتج عنه تحسين شكل كلا من موجة الجهد والتيار.

الكلمات المفتاحية: مكيف جودة الطاقة الموحد، جودة الطاقة الكهربائية، حزمة التأخير المتكيفة، عامل التشويه الكلي THD%.

* أستاذ- قسم هندسة الطاقة الكهربائية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.
** مدرس- قسم هندسة الطاقة الكهربائية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.
*** طالب دراسات عليا (دكتوراه)- قسم هندسة الطاقة الكهربائية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

Hassan.a.kenjrawy@gmail.com

Use Adaptive Hysteresis Band to Unified Power Quality Conditioner Control for Voltage and Current Disturbances Treatment

Dr. Carlo Makdisie*
Dr. Issam Houssamo**
Hassan Kenjrawy***

(Received 18 / 5 / 2021. Accepted 1 / 7 / 2021)

□ ABSTRACT □

The use of sensitive electronic devices has increased in recent years, and the power quality has become an important requirement in electrical power systems, as network disturbances (harmonics, swell voltage, voltage drop, etc.) affect consumers and lead to technical-economic damage. One of the most prominent solutions to address power quality problems is the Unified Power Quality Conditioner (UPQC).

In this paper, we study the unified power quality conditioner used to improve the power quality in distribution networks where Park conversions will be used to obtain the required reference signals, and we also used an adaptive hysteresis band to generate electronic keys pulses in both the serial and shunt converter, where the hysteresis band width determined depending on fuzzy logic.

The validity of the studied system was validated by simulating different disturbances and comparing the results with the Sinusoidal Pulse width modulation (SPWM) was used to control the two converters. The results showed an improvement in the power quality through the use of the adaptive hysteresis band controller, and this appeared by reducing the total harmonic distortion factor (THD%), which resulted in improving the wave of both the voltage and current wave.

Keywords: Unified Power Quality Conditioner, Electric Power Quality, Adaptive hysteresis band, Total Harmonic Distortion Factor THD%.

* Professor , Department of Electric Power Engineering, Tishreen University, Lattaia, Syria.

**Assistant Professor, department of electric power engineering , Tishreen University, Lattaia, Syria.

***Postgraduate Student, Department of Electric Power Engineering, Tishreen University, Lattakia Syria. Hassan.a.kenjrawy@gmail.com

مقدمة:

أدى التقدم الصناعي والتقني إلى الاستخدام المتزايد للتجهيزات الإلكترونية المتطورة، ولكن تشغيل هذه التجهيزات أدى إلى ظهور مشاكل عديدة في الشبكة الكهربائية منها نشوء التوافقيات العليا، وبالتالي تشوه منحنى الجهد المغذي. وكذلك تعتبر الحالات العابرة التي تحدث في الشبكة الكهربائية أثناء فصل ووصل الأحمال الضخمة، وإقلاع المحركات ذات الاستطاعة العالية أحد أسباب الاضطرابات في الشبكة الكهربائية مثل تدلي وانتفاخ الجهد التي تؤثر سلباً على الأحمال الأخرى الموصولة مع الشبكة. بالمقابل فإن استخدام التجهيزات الكهربائية والإلكترونية الحساسة لنوعية الطاقة الكهربائية أدى إلى فرض قيود على نوعية الطاقة المقدمة من الشبكة [1].

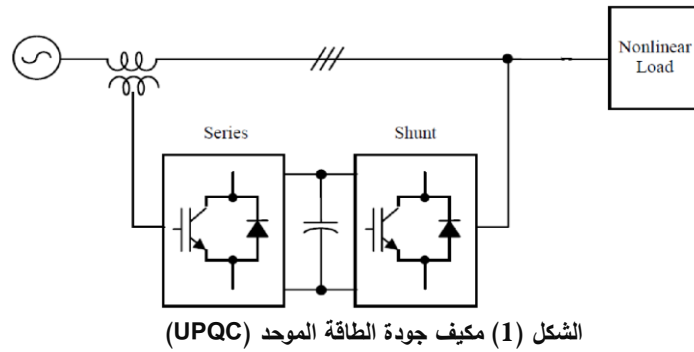
تعتبر منهجية تحسين جودة الطاقة بالاعتماد على الأجهزة الإلكترونية حلاً فعالاً لمشاكل جودة الطاقة. وأحد أفضل الحلول لتحسين جودة الطاقة الكهربائية يكمن في استخدام مكيف جودة الطاقة الموحد UPQC الذي يجمع خصائص المرشحات الفعالة التسلسلية والتفرعية معاً [1]، [2].

تم سابقاً استخدام العديد من الطرق التقليدية للتغلب على مشاكل جودة الطاقة؛ مثل المكثفات الساكنة لتعويض الاستطاعة الردية في الشبكة، كذلك استخدمت المفاعلات التحريضية لاستهلاك الاستطاعة الردية في الشبكة خلال فترة الحمل المنخفضة، واستخدمت أيضاً المكثفات والملفات المقادة ثايرستورياً (Thyristor Switched Capacitor (TSC) و (TCR) Thyristor Controlled Reactor) ومعوصلات الاستطاعة الردية الساكنة (Static VAR Compensator) مما أعطى مرونة أكثر للتحكم بتعويض الاستطاعة الردية [3]. و تم استخدام المرشحات غير الفعالة (Passive Filter) من أجل إلغاء التوافقيات، ولكن عانت هذه الطرق من عيوب عديدة، مثل: ضخامة الحجم واحتمال حدوث ظاهرة الطنين، والأهم من ذلك التعويض الثابت الذي يحد من إمكانية تأدية وظائفها [4].

كذلك استخدمت المرشحات الفعالة التي تتميز بأنها ذات مرونة أكثر من المرشحات غير الفعالة وأصغر حجماً، وتوفر إمكانية تحكم أكبر [5] ، حيث استخدمت المرشحات الفعالة التفرعية (Shunt Active Filters) التي توصل على التفرع مع الحمل للتغلب على مشاكل جودة الطاقة المتعلقة بالتأخر كالتوافقيات ولتعويض الاستطاعة الردية [6]. والمرشحات الفعالة التسلسلية (Series Active Filters) التي توصل على التسلسل مع الحمل، تستخدم للتغلب على مشاكل جودة الطاقة المتعلقة بالجهد (تدلي وانتفاخ الجهد، الانقطاعات،... إلخ.) [7]. واستخدمت المرشحات المختلطة (تسلسلية - تفرعية) والتي تجمع خصائص المرشحات التسلسلية والتفرعية معاً لمعالجة مشاكل جودة الطاقة المتعلقة بالجهد والتيار، ويطلق عليها اسم مكيف جودة الطاقة الموحد المختلط (UPQC) والذي يعد أبرز المرشحات الفعالة.

1- مكيف جودة الطاقة الموحد (المختلط) (UPQC):

وهو أحد أفضل الحلول لمعالجة مشاكل جودة الطاقة يتألف من مبدئين إحداهما توصل على التسلسل والأخرى توصل على التفرع مع الحمل ويتقاسمان وصلة جهد مستمر مشتركة (DC Link). ويبين الشكل (1) البنية الأكثر شيوعاً لـ UPQC، هناك العديد من طرق الوصل الممكنة لـ UPQC والتي تختلف حسب الوظيفة المطلوبة من UPQC [8].



ينقسم التحكم في الـ UPQC إلى:

- تنظيم جهد المكثف؛
- التحكم بالمبدلات التفرعية والتسلسلية؛

1-2 تنظيم جهد المكثف

استخدمت العديد من الطرق لتنظيم جهد المكثف مثل المتحكم التناسبي - التكاملي PI، والمتحكم التناسبي التكاملي التفاضلي PID، ولكنهما يحتاجان نموذجاً رياضياً خطياً، وبحسب الدراسات يعتبر PI أفضل من PID لأن عنصر التفاضل حساس جداً لقياس الضجيج [9]، ويفشل في تنظيم جهد المكثف عند شروط التشغيل الديناميكي. كذلك استخدمت طرق الذكاء الاصطناعي مثل الشبكات العصبونية [10] والمنطق الضبابي [11] حيث تتميز هذه الطرق بالاستجابة السريعة، كما أنها لا تتطلب نماذج رياضية [12].

سوف نستخدم المنطق الضبابي لتنظيم جهد المكثف وذلك لأنه يقدم أداءً أفضل من المتحكم PI ولا يحتاج نموذجاً رياضياً. تم اختيار سبع مجموعات ضبابية ممثلة بتتابع عضوية من النوع المثلثي لتوصيف الخرج كما هو مبين في الجدول (1).

الجدول (1) القواعد الضبابية للمتكم الضبابي المستخدم للتحكم بجهد المكثف

e Ce	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

2-2 التحكم بالمبدلات (توليد الإشارات المرجعية) :

هناك عدة طرق تستخدم لتوليد الإشارات المرجعية (توليد الجهود المرجعية للمبدلة التسلسلية، وتوليد التيارات المرجعية للمبدلة التفرعية) منها ما يعتمد على المجال الترددي مثل تحويل فورييه السريع وتحويل فورييه المتقطع. لكن

الاعتبارات الخاصة بإجراء الحسابات (الوقت الطويل والذاكرة الكبيرة المطلوبة) حدثت من استخدامها [13]. ومنها ما يعتمد على المجال الزمني مثل نظرية الاستطاعة الفعلية والردية اللحظية Instantaneous Active and Reactive Power (p & q) ، ونظرية الإطار المرجعي المتزامن Synchronous Reference Frame (SRF)، حيث تتميز هاتان الطريقتان بأن المركبات الأساسية للاستطاعات الفعلية و الردية المتعلقة بـ p & q ، والمركبة الأساسية للجهد أو للتيار في SRF هي كميات مستمرة يمكن استخراجها بسهولة باستخدام مرشحات مناسبة. لكن لا يمكن أن تعمل النظرية p - q بشكل صحيح إذا كانت الجهود غير متوازنة، حيث يؤدي عدم توازن الجهد إلى فشل في التحكم ، حيث تتطلب حلقات تحكم إضافية مما يؤدي إلى تعقيد نظام التحكم [14].

2-2-1 التحكم بالمبدلة التسلسلية

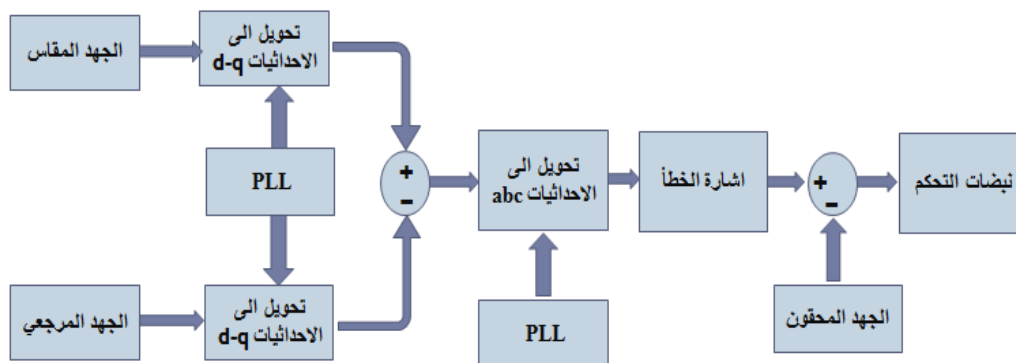
سوف نستخدم نظرية SRF لتوليد الجهود المرجعية، حيث من خلال طريقة شعاع الواحدة نقوم بتوليد ثلاثة أشعة مطال كل منها 1pu ومزاحة عن بعضها بزاوية 120° وموضحة في المعادلات (1)، حيث يتم الحصول على زاوية الجهد الابتدائية (θ) في الإحداثيات (d - q)، ونحصل عليها من خلال حلقة قفل الطور (PLL) Phase Locked Loop [15].

$$V_a = \sin(\omega t + \theta)$$

$$V_b = \sin(\omega t + \theta - \frac{2\pi}{3}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$V_c = \sin(\omega t + \theta + \frac{2\pi}{3})$$

يبين الشكل (2) مخطط التحكم للمرشح الفعال التسلسلي.



الشكل (2) مخطط التحكم للمرشح الفعال التسلسلي

تم التحويل من الإحداثيات abc إلى الإحداثيات d - q باستخدام تحويل بارك (park transformation) بالاعتماد على العلاقات (1) [6].

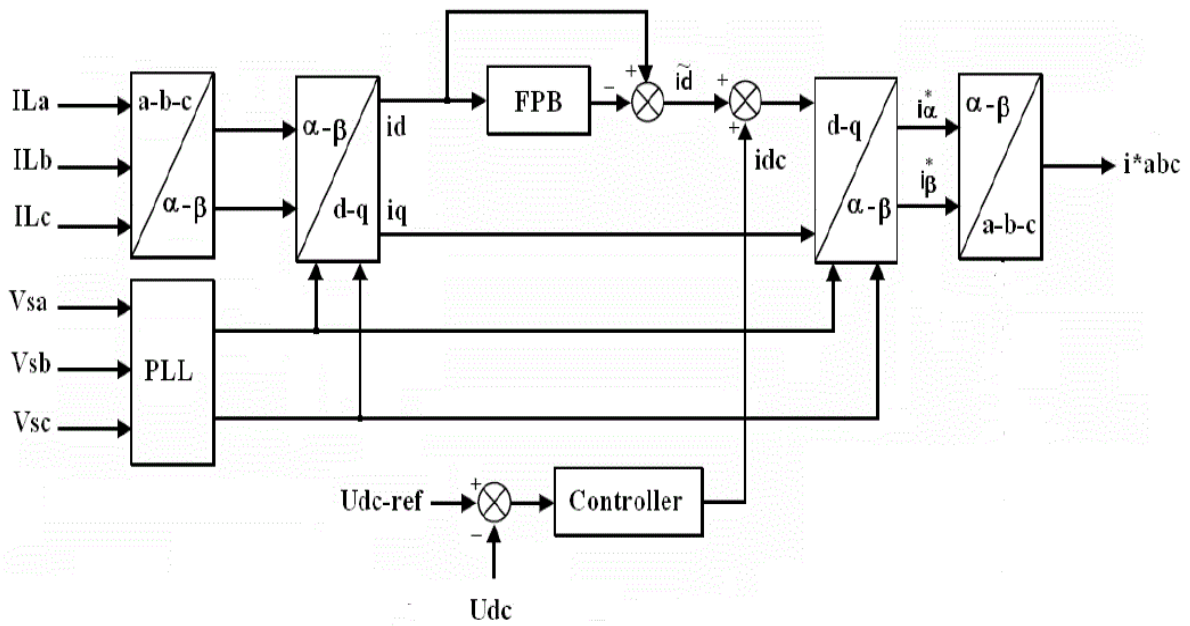
$$\begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ u_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ثم يتم ترشيح المركبات d - q ثم يتم التحويل من الإحداثيات d - q إلى الإحداثيات abc باستخدام تحويل بارك العكسي الموضح بالعلاقات (2) [6].

$$\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 1 \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_d \\ u_q \\ u_0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

2-2-2 التحكم بالمبدلة التفرعية

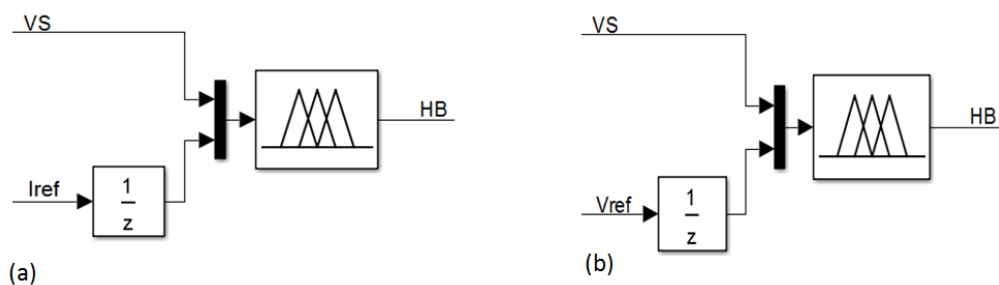
يقوم المرشح الفعال التفرعي بمعالجة مشاكل جودة الطاقة المتعلقة بالتيار وتعويض الاستطاعة الردية. يتم توليد الاشارات المرجعية اللازمة لعمل المرشح من خلال تحويلات بارك حيث يتم الانتقال من الاحداثيات (abc) إلى الاحداثيات d-q، حيث يتم الحصول على زاوية الجهد الابتدائية من خلال حلقة قفل الطور Phase Locked Loop PLL كما هو مبين بالشكل (3)، وبعد ذلك تتم عملية ترشيح المركبات d-q باستخدام مرشح مناسب، وأخيرا ومن خلال تحويل بارك العكسي يتم الحصول على الاشارات المرجعية وذلك بالانتقال من الاحداثيات d-q إلى الاحداثيات abc.



الشكل (3) مخطط التحكم بالمبدلة التفرعية

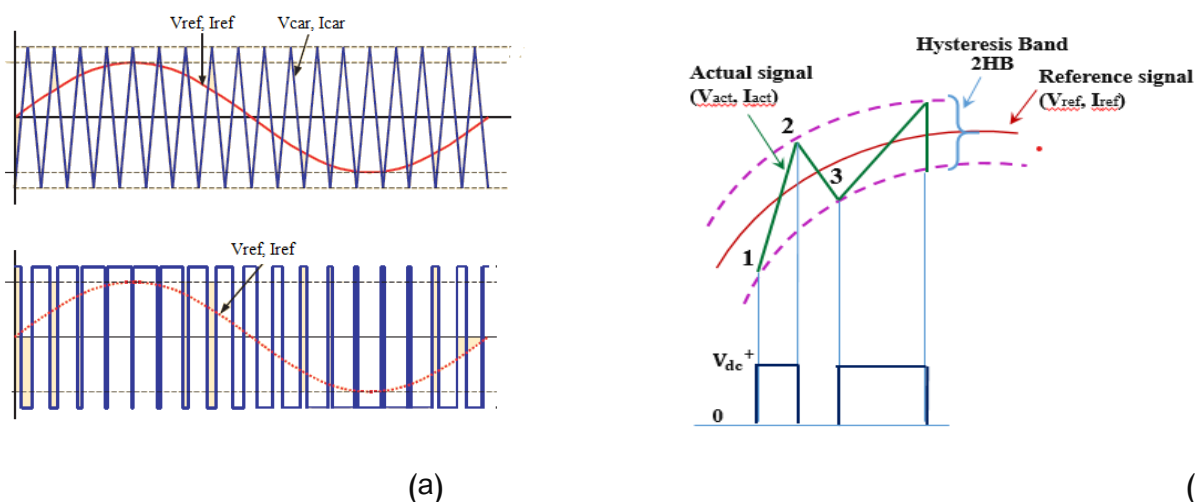
3-2-2 نظام توليد النبضات:

هناك عدة تقنيات لتوليد النبضات للمفاتيح الالكترونية، منها تقنيات خطية (PWM-SPWM-SVPWM) ومنها تقنيات غير خطية نذكر منها الشبكات العصبونية، والمنطق الضبابي، حزمة التأخير (Hysteresis Band (HB). سنقدم في هذا البحث حزمة التأخير المتكيفة Adaptive Hysteresis Band (AHB) للتحكم بخرج المبدلات في ال UPQC حيث تتميز باستجابة سريعة، الدقة في ملاحقة الإشارة، والتموج الأقل للإشارة. من الجدير بالذكر أن عرض الحزمة متغير ويمكن حسابه رياضياً أو من خلال طرق الذكاء الصناعي حيث تتم المقارنة بين الجهد المنبع (Vs) و تفاضل الاشارة المرجعية (ref) وتغذى الإشارة الناتجة إلى متحكم المنطق الضبابي، حيث يكون خرج هذا المتحكم هو عرض الحزمة، كما هو مبين بالشكل (4). وستتم مقارنة النتائج عند استخدام نظام (SPWM) الذي يعتمد على مقارنة الإشارة المرجعية (Vref, Iref) مع إشارة سن المنشار (الإشارة الحاملة) (Vcar, Icar) لتوليد نبضات التحكم للمفاتيح الالكترونية كما هو مبين بالشكل (5-a)



الشكل (4) حساب عرض حزمة التأخير المتكيفة (HB) باستخدام المنطق الضبابي (a) للتيار (b) للجهد

يظهر في الشكل (5-b) طريقة حزمة التأخير المتكيفة حيث يتم الحصول على النبضات لكل من مبدلة الجهد والتيار من خلال مقارنة القيمة الفعلية (actual signal) مع الإشارة المرجعية (Reference signal)، حيث يكون عرض الحزمة متغيراً (2HB)، وتم حسابه من خلال المنطق الضبابي.



الشكل (5) توليد النبضات (a) باستخدام SPWM، (b) باستخدام حزمة التأخير المتكيفة

تم تحديد عرض الحزمة من خلال المنطق الضبابي، حيث تم اختيار خمس مجموعات ضبابية ممثلة بتتابع عضوية من النوع المثلي لتوصيف الخرج كما يظهر في الجدول (2).

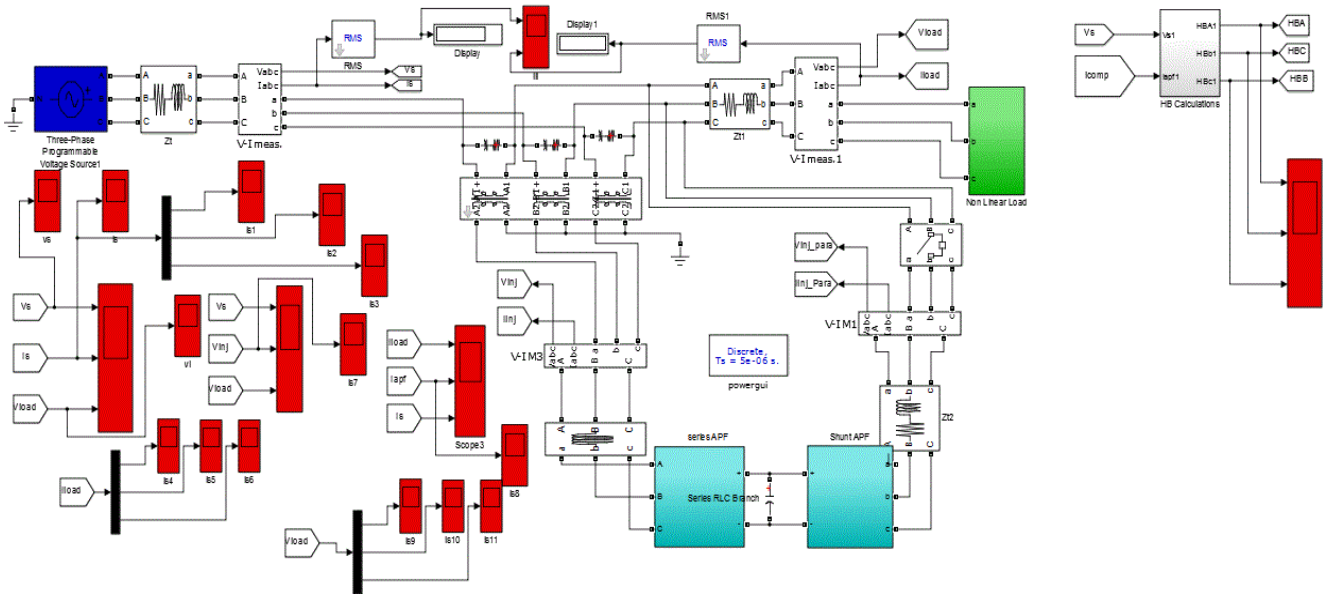
الجدول (2) المجموعات الضبابية لتحديد عرض الحزمة

V_s $\frac{di_c}{dt}$	NL	NM	ZE	PM	PL
NL	PVS	PS	PS	PM	PM
NM	PS	PS	PS	PM	PM
ZE	PL	PL	PVL	PL	PL
PM	PM	PM	PS	PS	PS
PL	PM	PM	PS	PS	PVS

تم بشكل مشابه تحديد عرض الحزمة للجهد من خلال المنطق الضبابي من خلال اختيار خمس مجموعات ضبابية ممثلة بتتابع عضوية من النوع المثلثي لتوصيف خرج المرشح التسلسلي.

3- نمذجة النظام المدروس

يبين الشكل (6) نموذج للنظام المدروس حيث تم نمذجة كل من المرشحين التسلسلي والتفرعي في بيئة MATLAB ودمجها مع بعض من خلال وصلة الجهد المستمر.



الشكل (6) نموذج النظام المدروس

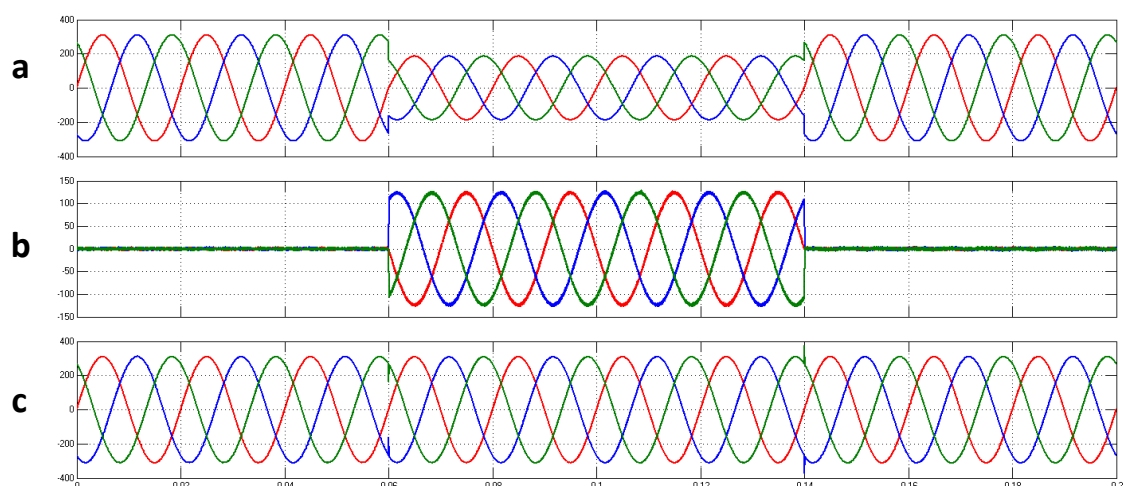
يبين الجدول (3) قيم عناصر النموذج المستخدم.

الجدول (3) القيم الاسمية للعناصر الموجودة في النظام

380 v	جهد الخط للشبكة
219.3 V	جهد الطور للشبكة
310.2 V	القيمة العظمى لجهد الطور
50 Hz	تردد الشبكة
$L= 30 \text{ mh}$, $R= 15\Omega$	ممانعة الحمل
1:1	نسبة تحويل المحولات
800 V	الجهد المستمر
$L_L= 10 \mu\text{h}$, $R_L= 0. 1\Omega$	ممانعة الخط

4- نتائج المحاكاة

تم تنفيذ عدة حالات لاضطرابات الجهد والتيار وتحديد قيم عامل التشويه الكلي لكل من موجة الجهد والتيار
4-1 حالة تدلي الجهد (انخفاض قيمة الجهد إلى 60 % من قيمته الاسمية): يبين الشكل (7) منحنى جهد التغذية في حالة انخفاضه 40 % من قيمته الاسمية حيث تبلغ قيمة عامل التشويه الكلي للجهد 15.15 %.



الشكل (7) حالة تدلي الجهد (a) الجهد المغذي، (b) الجهد المحقون، (c) الجهد الواصل إلى الحمل

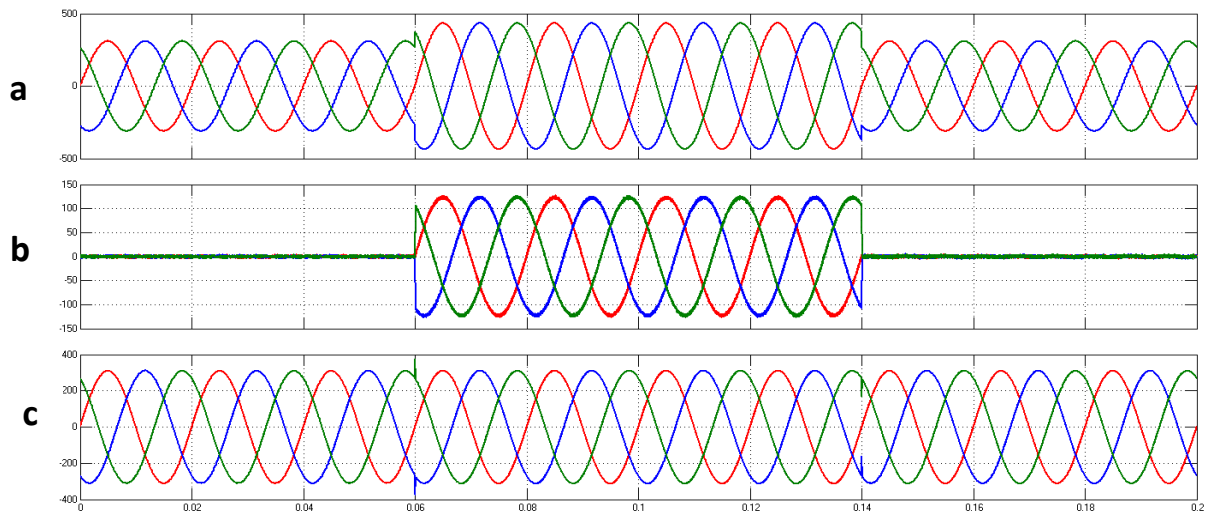
وبإجراء تحويل فورييه لحساب %THD لجميع الأطوار قبل وبعد استخدام UPQC كما هو مبين بـ الجدول (4) الذي يظهر مقارنة قيمة عامل التشويه الكلي عند استخدام تحويل فورييه لجميع الأطوار عند استخدام UPQC مقاد بـ AHB, SPWM لتعويض تدلي الجهد

الجدول (4) قيمة %THD في حالة تدلي الجهد

الطور	THD% للمنبع	THD% عند استخدام SPWM	THD% عند استخدام AHB
الطور a	15.15%	1.92%	1.63%
الطور b	15.5%	1.96%	1.69%
الطور c	15.32%	1.97%	1.7%

نلاحظ من الجدول السابق القيمة الكبيرة لعامل التشويه الكلي قبل دخول المرشح، وانخفاضه إلى قيمة صغيرة بعد دخول المرشح، الأمر الذي يبين أهمية الدور الفعال لـ UPQC بشكل عام وجودة متحكم حزمة التأخير AHB بشكل خاص في معالجة تدلي الجهد، والتخلص من آثاره.

4-2 حالة انتفاخ الجهد: (زيادة قيمة الجهد إلى 140% من قيمته الاسمية): يبين الشكل (8) منحنى جهد التغذية في حالة ازدياده بمقدار 40% من قيمته الاسمية، حيث تبلغ قيمة عامل التشويه الكلي للجهد 10.97%.



الشكل (8) حالة انتفاخ الجهد (a) الجهد المغذي، (b) الجهد المحقون، (c) الجهد الواصل إلى الحمل

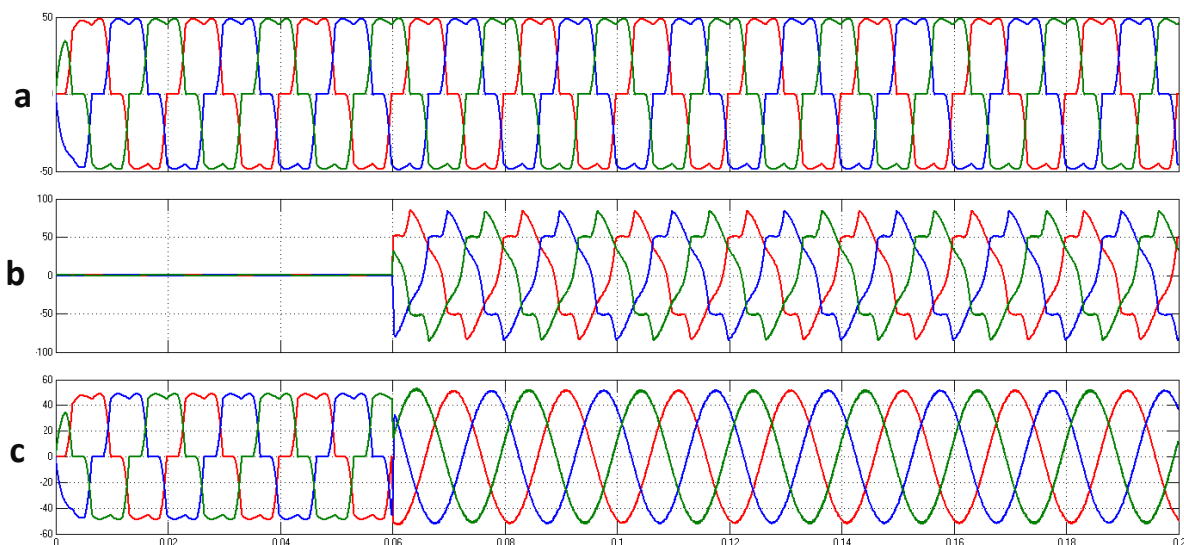
يظهر الجدول (5) مقارنة قيمة عامل التشويه الكلي عند استخدام تحويل فورييه لجميع الأطوار عند استخدام UPQC المقاد بـ SPWM, AHB لتعويض انتفاخ الجهد.

الجدول (5) قيمة THD% في حالة انتفاخ الجهد

الطور	THD% للمنبع	THD% عند استخدام SPWM	THD% عند استخدام AHB
الطور a	10.97%	1.75%	1.29%
الطور b	11.02%	1.76%	1.31%
الطور c	10.98%	1.78%	1.32%

بالتالي يتبين لدينا من خلال القيم المنخفضة لعامل التشويه الكلي THD% قدرة UPQC بشكل عام و UPQC المقاد بـ AHB بشكل خاص على معالجة انتفاخات الجهد التي قد تحدث في الشبكة.

3-4 معالجة توافقيات التيار: باعتبار الحمل لا خطي فإنه تظهر توافقيات في منحني التيار، يبين الشكل (9) شكل موجة التيار قبل وبعد تعويض توافقيات التيار، حيث يتم تعويض التوافقيات من خلال المبدلة التفرعية، حيث يتم دخول المرشح التفرعي عند زمن 0.08 sec .



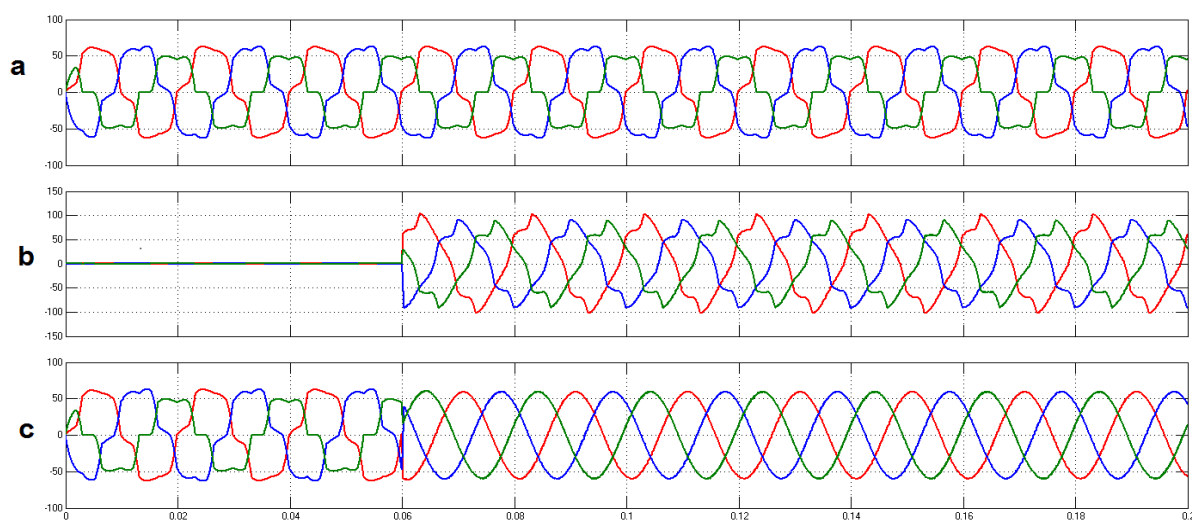
الشكل (9) منحنى موجة التيار قبل وبعد التعويض (a) تيار الحمل، (b) تيار المرشح، (c) تيار المصدر

بإجراء تحليل فورييه للأطوار الثلاثة لحساب عامل التشويه الكلي THD في الحالتين لـ UPQC (المقادير SPWM, AHB) كما يظهر في الجدول (6).

الجدول (6) قيمة THD% في حالة التحميل المتناظر

الطور	THD% للحمل	THD% عند استخدام SPWM	THD% عند استخدام AHB
الطور a	20.97%	3.72%	2.49%
الطور b	23.1%	3.76%	2.5%
الطور c	24.04%	3.77%	2.5%

4-4 معالجة التحميل غير متناظر: عند تحميل الطورين الأول والثاني بحمل أومي تحريضي فإن الحمل سيستجر من المصدر تيارات غير متساوية بين الأطوار الثلاثة. يبين الشكل (10) منحنيات التيارات في حالة التحميل غير المتناظر بين الأطوار الثلاثة.



الشكل (10) منحنيات التيار (a) تيار المصدر، (b) تيار المبدلة التفرعية، (c) تيار المصدر

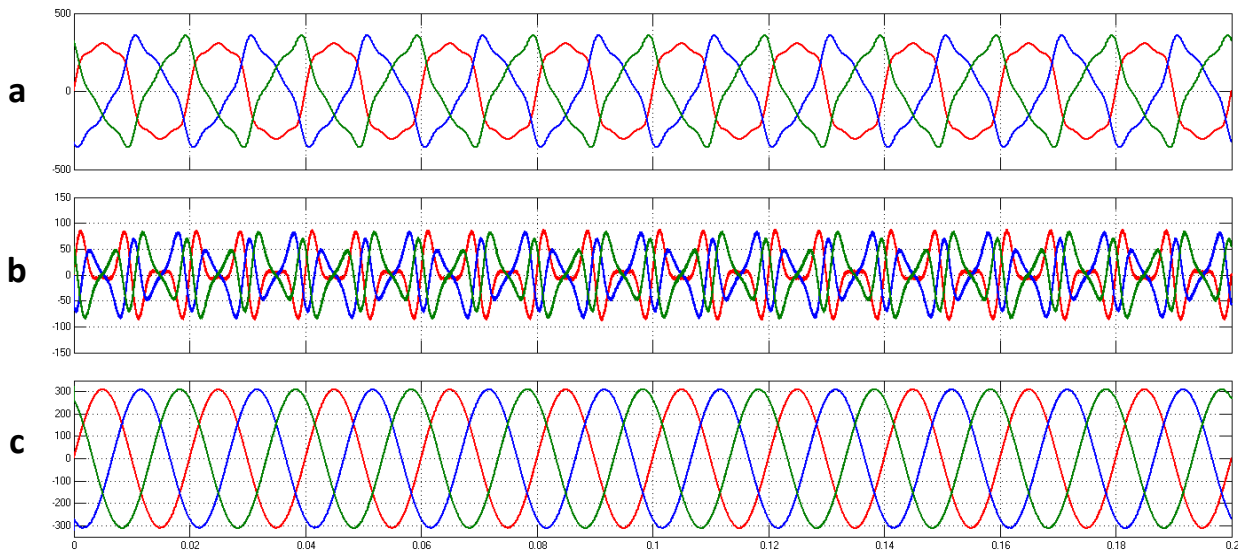
يظهر من الشكلين السابقين قدرة UPQC على معالجة الاضطرابات غير المتناظرة أيضاً، حيث نلاحظ انخفاض كبير في عامل التشويه الكلي من 15.2% (قبل دخول المرشح) إلى 2.43% بعد دخول UPQC. بإجراء تحليل فورييه للأطوار الثلاثة لحساب عامل التشويه الكلي THD في الحالتين للمرشح عند استخدام المرشح الفعال التسلسلي مقاد ب-SPWM, AHB لتعويض توافقيات التيار كما يظهر في الجدول (7).

الجدول (7) عامل التشويه الكلي عند التحميل غير المتناظر

الطور	THD% للحمل	THD% عند استخدام SPWM	THD% عند استخدام AHB
الطور a	15.2%	2.89%	2.43%
الطور b	15.22%	2.9%	2.44%
الطور c	18.06%	2.94%	2.43%

4-5 معالجة توافقيات الجهد

عند وجود توافقيات في منحنى الجهد المغذي كما هو موضح بالشكل (11)، حيث يبين الشكل كلاً من جهد المنبع والجهد المحقون من المبدلة التسلسلية و الجهد الواصل إلى الحمل.



الشكل (11) يظهر (a) جهد المنبع و (b) الجهد المحقون و (c) الجهد الواصل إلى الحمل.

بإجراء تحويل فورييه لجهد الطور نلاحظ انخفاض عامل التشويه الكلي من 17.67% إلى 0.6%. يظهر الجدول (8) مقارنة قيمة عامل التشويه الكلي عند استخدام تحويل فورييه لجميع الأطوار عند استخدام UPQC المقاد ب-SPWM, AHB لمعالجة توافقيات الجهد.

الجدول (8) قيمة THD% في حالة تعويض توافقيات الجهد

الطور	THD% للمنبع	THD% عند استخدام SPWM	THD% عند استخدام AHB
الطور a	17.67%	2.11%	1.55%
الطور b	17.69%	2.14%	1.58%
الطور c	17.7%	2.12%	1.56%

بالتالي يتبين لدينا من خلال القيم المنخفضة لعامل التشويه الكلي قدرة UPQC بشكل عام والـ UPQC مقاد بـ AHB بشكل خاص على معالجة توافقيات الجهد التي قد تحدث في الشبكة، وبالتالي التخلص من الأثار الضارة لوجود التوافقيات وما تسببه من مشاكل فنية واقتصادية على المستهلكين

النتائج والمناقشة:

- 1- تم اقتراح معوض تسلسلي تفرعي (UPQC) حيث يعمل كل جزء من المبدلات على حدى لتعويض مشاكل الجهد (التسلسلي) والتيار (التفرعي).
 - 2- تم نمذجة النظام المقترح ودراسة أنواع الاضطرابات المختلفة قبل و بعد التعويض للتحقق من فعالية المعوض التسلسلي التفرعي المقترح
- أظهرت النتائج امكانية التغلب على مشاكل الجهد والتيار باستخدام مكيف جودة الطاقة الموحد، ومن خلال تحويل بارك تم استخلاص دقيق للإشارات المرجعية. أيضا حققت حزمة التأخير المتكيفة باستخدام المنطق الضبابي نتائج جيدة لتوليد نبضات المفاتيح الالكترونية. كما تم لحظ انخفاض عامل التشويه الكلي لكل من موجة التيار وموجة الجهد لأقل من 3%. مما يؤثر ايجابياً بشكل كبير على تحسين شكل منحنى تيار المنبع، ومنحنى الجهد الواصل إلى الحمل.

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- استخدام UPQC لتعويض مشاكل الجهد والتيار في أنظمة القدرة الكهربائية
- 2- استخدام النظام المقترح في أنظمة فاكس كمعوضات متطورة يمكننا من خلالها الاستغناء عن المعوضات التقليدية TSC و TCR باعتباره جهاز تعويض مميز يحقق معامل تشوه أقل
- 3- اثناء فترات الانقطاع اللحظي (حالة عابرة) يمكن أن تنشأ توافقيات عليا تؤدي الى نشويه منحنيات الخرج، لذلك نوصي بمبدلات متعددة المستويات أو أجهزة عدم اقطاع تغذية (UPS) تكون في حالة الجاهزية الدائمة (stand by) كي تعمل أثناء فترات الانقطاع اللحظية.

References:

- [1] J.P.Sridhar, Dr.R Prakash “Power Quality Issues and Its Mitigation by Unified Power Quality Conditioner”. ICCTEST. 2017.
- [2] S. Paramanik, K. Sarker, D. Chatterjee, S.K Goswami "Smart Grid Power Quality Improvement Using Modified UPQC". IEEE,2019.
- [3] Standard definitions for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, non-sinusoidal, balanced, or unbalanced conditions. Revision of IEEE Std. 1459-2000, IEEE Standard 1459-2010.
- [4] A. Chauhan, R. Thakur.” Power Quality Improvement using Passive &Active Filters”.International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume 36 Number 3- June 2016.
- [5] Amir A. Imam, R. Sreerama Kumar and Yusuf A. Al-Turki. “Modeling and Simulation of a PI Controlled Shunt Active Power Filter for Power Quality Enhancement Based on P-Q Theory”. Electronics, 2020.
- [6] S. Agarwal, S. Chourasiya, D. K. Palwalia "Performance Measure of Shunt Active Power Filter Applied with Intelligent Control Techniques. Journal of Power Technologies. 2020.

- [7] M. Nabipour , M.Razaz , S.GH.Seifossadat, S.S.Mortazavi “A novel adaptive fuzzy membership function tuning algorithm for robust control of a PV-based Dynamic Voltage Restorer (DVR)”. ScienceDirect.2016.
- [8] T. M. Thamizh Thentral, R. Jegatheesan, K. Vijayakumar “Unified power quality conditioner with reduced switch topology for distributed networks”. Springer.2019.
- [9] G. Hailay “Reactive Power Compensation and Harmonic Mitigation in 25 kV AC Railway System Using Shunt Active Filter” addis ababa university.2016.
- [10] S.Vinnakoti, V.Reddy Kota Implementation of artificial neural network based controller for a five-level converter based UPQC.sceincedirect.2017.
- [11] K. Dhilleswaramma, K. B. Madhu Sahu, Ch. Krishna Rao.” improved power quality features using fuzzy based upqc topology for bldc drive applications”. International Journal of Electrical and Electronics Engineering Research (IJEEER).2015.
- [12] S. Chennai Novel "control scheme for unified power quality conditioner based on three-level (NPC) inverter using intelligent systems".IEEE.2017
- [13] V. Khadkikar “Enhancing Electric Power Quality Using UPQC A Comprehensive Overview”.IEEE.2012.
- [14] B. Gopal, P. K. Murthy, G.N. Sreenivas “A Review on UPQC for Power Quality Improvement in Distribution System. IEEE. 2019
- [15] K. Vijayakumar, A. M. Thamizh Thentral, R. Jegatheesan, “Power quality enhancement using Unified power quality conditioner with reduced switch topology for distributed networks”. Springer.2016.