

## تخفيض توافقيات التيار في شبكات التوزيع الكهربائية باستخدام مرشح فعال تفرعي متعدد المستويات مقاد بتقنية تعديل عرض النبضة الجيبي

أ. د. م. كارلو مقدسي\*

د. م. عصام حسامو\*\*

م. حسن قنجاوي\*\*\*

(تاريخ الإيداع 2021/ 3/ 25 . قبل للنشر في 2021/ 10/ 3)

### □ ملخص □

تعد الاحمال اللاخطية كالتجهيزات الالكترونية مصدراً للتوافقيات في الشبكات الكهربائية، حيث تؤدي إلى مشاكل في جودة الطاقة الكهربائية وبالتالي تؤثر على أداء أنظمة الحماية ونظام القدرة ككل. نقترح في هذه الورقة البحثية مرشح فعال تفرعي متعدد المستويات لمعالجة توافقيات التيار، حيث تم استخدام بنية مبدلة ذات تسعة مستويات، واستخدمت نظرية الإطار المرجعي المتزامن synchronous Reference Frame (SRF) لاستخلاص إشارة التيار المرجعية، واستخدم تعديل عرض النبضة الجيبي Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) للتحكم بالمفاتيح الالكترونية. لقد تم نمذجة النظام المقترح باستخدام بيئة MATLAB-Simulink حيث تم مقارنة أداء مرشح ثنائي المستوى ومتعدد المستويات وتم مناقشة عدة حالات كالتحميل المتناظر والتحميل غير المتناظر حيث أظهرت نتائج النمذجة والمحاكاة تحسین كبير في شكل موجة التيار باستخدام المرشح متعدد المستويات من خلال تخفيض عامل التشويه التوافقي الكلي THD% إلى قيمة أقل من 0.5%. **الكلمات المفتاحية:** المرشح الفعال التفرعي، التوافقيات، جودة الطاقة الكهربائية، تعديل عرض النبضة الجيبي، نظرية الإطار المرجعي المتزامن، عامل التشويه التوافقي الكلي THD%.

\*أستاذ- قسم هندسة الطاقة الكهربائية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية-سوريا

\*\*مدرس- قسم هندسة الطاقة الكهربائية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية-سوريا

\*\*\*طالب دراسات عليا(دكتوراه)-قسم هندسة الطاقة الكهربائية-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين-اللاذقية-سوريا

## **Reducing of current harmonics in a distribution networks using a multi-level shunt active filter controlled by sinusoidal pulse width modulation technology**

**Dr. Carlo Makdissi\***  
**Dr. Issam Houssamo\*\***  
**Eng. Hassan Kenjrawy\*\*\***

(Received 25/ 3/ 2021 . Accepted 3 / 10 / 2021)

### □ ABSTRACT □

The non-linear loads such as electronic equipment are considered provider of high harmonics in electrical network, that decline power quality and thus affect the systems of protection the power system as a whole.

In this paper, a multi-level shunt active filter is suggested to reduce the current harmonics, where a 9-level structure is used, as well as Synchronous Reference Frame (SRF) is used to extract the current reference signal, and used the Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) to control the electronic switches.

The MATLAB- Simulink is used to simulate the suggested system in which performance comparing by two-level and multi-level is done. Many cases are discussed such as symmetric and asymmetric loads. The results showed a significant improvement in the current wave using the multi-level filter by reducing the Total Harmonic Distortion factor THD% less than 0.5%.

**Key words:** shunt active filter, harmonics, electrical power quality, sinusoidal pulse width modulation, synchronous reference frame, THD% total harmonic distortion factor.

---

\* professor , department of electric power engineering, faculty of mechanical and electrical engineering, tishreen university, syria.

\*\* lecturer, department of electric power engineering, faculty of mechanical and electrical engineering, tishreen university, syria.

\*\*\*postgraduate student, department of electric power engineering, faculty of mechanical and electrical engineering, tishreen university, syria,

## المقدمة:

أدى التقدم الصناعي والتقني إلى استخدام متزايد للتجهيزات الإلكترونية، ولكن أدى تشغيل هذه التجهيزات إلى مشاكل عديدة في الشبكات الكهربائية منها ظهور التوافقيات والتي تسبب تشوه شكل موجة تيار المنبع. بالمقابل فإن استخدام التجهيزات الكهربائية والإلكترونية الحساسة لنوعية الطاقة الكهربائية أدى إلى فرض قيود على نوعية الطاقة المقدمة من الشبكة [1].

تعد منهجية تحسين جودة الطاقة بالاعتماد على الأجهزة الإلكترونية حل فعال لمشاكل جودة الطاقة الكهربائية. حيث استخدم سابقاً طرائق تقليدية عديدة للتغلب على مشاكل جودة الطاقة الكهربائية، مثل المكثفات الساكنة، والمفاعلات التحريضية والمرشحات غير الفعالة (Passive Filter). ولكن عانت هذه الطرائق من عيوب عديدة، مثل: ضخامة الحجم واحتمال حدوث الرنين، والأهم من ذلك التعويض الثابت يحد من إمكانية تأدية وظائفها بشكل فعال [2].

وحديثاً برزت المرشحات الفعالة كحلٍ واعد، فهي تتميز بأنها ذات مرونة أكثر من المرشحات غير الفعالة وأصغر حجماً، وتوفر إمكانية تحكم أكبر [3].

قام الكثير من الباحثين بدراسة وتحليل أداء المرشحات الفعالة (ثنائية المستوى ومتعددة المستويات) وتأثير طرق التحكم المختلفة على أدائها في تحسين جودة الطاقة الكهربائية عن طريق التخلص من التوافقيات.

قدم المرجع [4] نظام تحكم منفصل لإلغاء توافقيات التيار وذلك بالاعتماد على خوارزمية متكيفة أمامية Forward adaptive Algorithm تم فيها قياس تيار الحمل وفصل المركبة الأساسية عن المركبات التوافقية، حيث تم توليد نبضات القرح باستخدام متحكم تيار ذو حزمة تأخير ثابتة. أثبتت نتائج الدراسة فعالية في تخفيض عامل التشويه التوافقي الكلي.

كذلك قدم المرجع [5] تحويل فورييه السريع (Fast Fourier Transformation (FFT) لتوليد اشارات التيار المرجعي للمرشح الفعال التفرعي، واستخدم تعديل عرض النبضة لتوليد اشارات التحكم للمفاتيح الإلكترونية. أما المرجع [6] فقد استخدم تحويل فورييه السريع FFT واستخدم متحكم تيار ذي حزمة تأخير ثابتة لتوليد نبضات التحكم للمفاتيح الإلكترونية.

بينما في المرجع [7] استخدم تحويل فورييه المتقطع DFT مع اجراء تعديل عليه لتقليل العمليات الحسابية واستخدم متحكم تيار ذو حزمة تأخير ثابتة لتوليد نبضات التحكم للمفاتيح الإلكترونية. وعموماً يؤخذ على طرق المجال الترددي العدد الكبير من العمليات الحسابية والتي تسبب تأخير زمني في عملية التحكم.

بالنسبة للمرجع [8] استخدم مرشح فعال تفرعي احادي الطور لتعويض توافقيات التيار باستخدام الشبكات العصبونية الاصطناعية بالاعتماد على الخلايا العصبية الخطية (ADALINE) adaptive linear neuron، لاستخلاص الاشارات المرجعية للتيار كذلك تم مقارنة النتائج مع طريقة نظرية الاستطاعة اللحظية P-Q والتي تعتمد على تحويلات كلارك.

وللحصول على منحنى تيار أقل تشوهاً تم استخدام العديد من البنى للمرشحات، حيث قدم المرجع [9] مرشح فعال تفرعي متعدد المستويات (5 مستويات) حيث تم اعتماد البنية المتعاقبة (Cascade H-bridge) والتي تتميز بأن عدد مستويات الخرج التي يمكن الحصول منها أكثر من ضعفي عدد منابع الجهد المستمر ( $M=2S+1$ ) ولكن سيئتها أنها تتطلب منابع جهد مستمرة منفصلة لكل قالبة.

تم في المرجع [10] تقديم بنية مرشح ذي ثلاثة مستويات، حيث تم استخدام بنية القالبية متعددة المستويات مع ديودات ربط Clamped Diodes، كذلك استخدم المنطق الضبابي للتحكم بالمرشح ومقارنة النتائج مع تعديل عرض النبضة PWM حيث اظهرت النتائج فعالية المنطق الضبابي من خلال تقليل عامل التشويه التوافقي الكلي %THD.

قدم المرجع [11] مقارنة بين طرق التحكم للمرشح الفعال التفرعي متعدد المستويات، حيث تم اعتماد بنية المبدلات التعاقبية، كذلك تم اعتماد نظرية الإطار المرجعي المتزامن لاستخلاص الإشارات المرجعية. من الدراسة المرجعية نجد أن تحديد بنية المرشح المتعدد المستويات وكذلك نظام التحكم يؤثر بشكل كبير على أداء المرشح وعلى قيمة %THD. انطلاقاً مما سبق نقترح في هذه الورقة البحثية مرشح فعال تفرعي متعدد المستويات (9 مستويات) مع استخدام نظرية الإطار المرجعي المتزامن (SRF) لاستخلاص إشارة التيار المرجعية، واستخدام تعديل عرض النبضة الجيبية (SPWM) لتوليد نبضات القدر للمفاتيح الإلكترونية. لقد أظهرت النتائج دقة كبيرة وسرعة في الاستجابة لاستخلاص التيار المرجعي وكذلك في تحقيق قيمة منخفضة جداً لعامل التشويه الكلي، %THD < 0.5.

## 2- أهمية البحث وأهدافه

تتجلى أهمية هذا البحث في كونه يعالج إحدى أهم مشاكل جودة الطاقة الكهربائية وهي التوافقيات العليا، وبالتالي تحسين أداء النظام الكهربائي ككل، وكذلك التركيز على استخدام المبدلات المتعددة المستويات ودورها في تحسين أداء المرشحات الفعالة.

انطلاقاً من المشاكل التي لوحظت في نظام القدرة الكهربائي وبما يخص مشكلة التوافقيات، فإن هذه الورقة البحثية تهدف إلى تحسين جودة الطاقة الكهربائية من خلال:

- استخدام بنية ذات 9 مستويات للمرشح الفعال التفرعي والتي تضمن عامل تشويه توافقي منخفض.
- تحسين أداء المرشح الفعال التفرعي من خلال استخدام نظرية الإطار المرجعي المتزامن (SRF) التي تتميز بالسرعة والدقة في استخلاص إشارة التيار المرجعي.
- استخدام تعديل عرض النبضة الجيبية SPWM لتوليد نبضات المفاتيح الإلكترونية.

## 3 - مواد البحث وطرائقه:

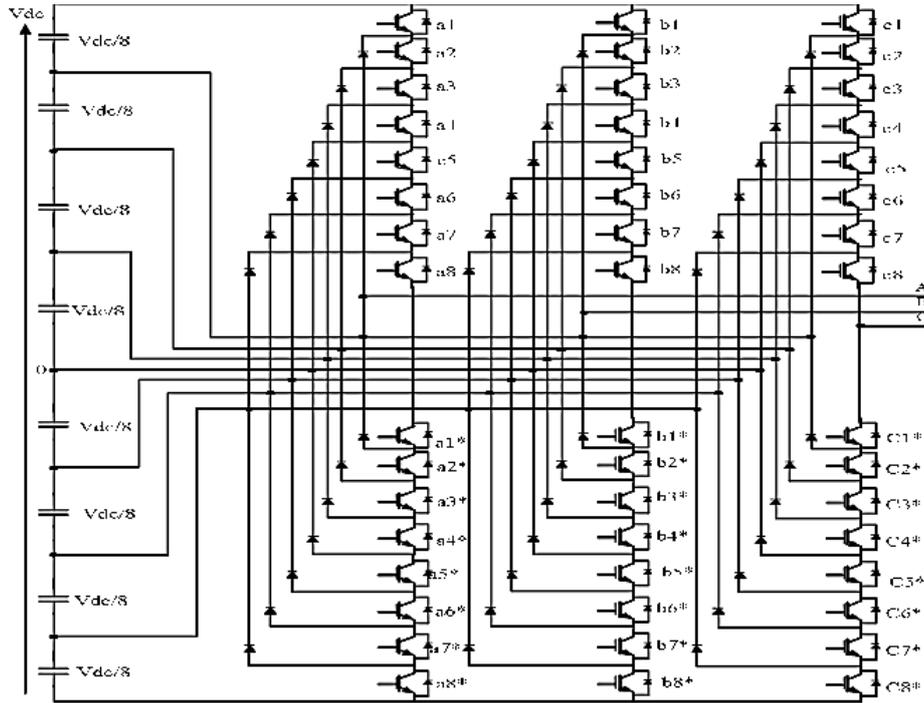
تم اختيار بنية القالبية المستخدمة في المرشح الفعال التفرعي ذات التسعة مستويات، وتم بناء نموذجها ومحاكاة عملها باستخدام برنامج MATLAB-R2013a. ومن أجل التحكم بالقالبية تم اعتماد تقنية SPWM التي يتم فيها مقارنة إشارة مثلثية مع إشارة جيبية، تمثل هذه الإشارة الجيبية قيمة التيار المرجعي.

#### 4- منهجية البحث:

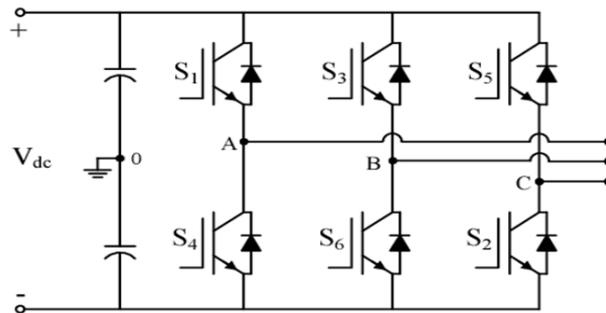
لقد تم الاعتماد على المنهجين التجريبي والتحليلي في إعداد هذا البحث، حيث شملت منهجية البحث المراحل التالية:

#### 1-4 تحديد بنية المرشح

كما ذكرنا سابقاً تم الاعتماد على بنية المرشح ذات ديودات الربط ذات تسعة مستويات، حيث تتشارك جميع الأطوار نفس جهد الدخل المستمر، وتتميز هذه المبدلات بفعالية عالية عند ترددات الوصل - الفصل الأساسية. يبين الشكل (1) بيئة القالب المستخدمة في المرشح الفعال التفرعي، أما الشكل (2) فيبين بنية المرشح الفعال ثنائي المستوى.



الشكل (1) بيئة القالب المستخدمة في المرشح التفرعي متعدد المستويات (9 مستويات)



الشكل (2) بيئة القالب المستخدمة في المرشح الفعال ثنائي المستوى

#### 2-4 توليد الإشارات المرجعية: لاستخراج إشارة التيار المرجعية تم استخدام نظرية الإطار المرجعي

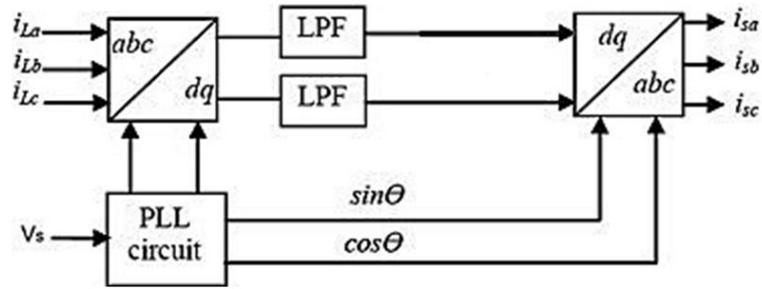
المتزامن (SRF) التي تعتمد على تحويلات بارك كما يظهر في المعادلات (1)، حيث يتم الانتقال من الإحداثيات abc إلى الإحداثيات d-q [6].

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

بعد الانتقال إلى الإحداثيات d-q يتم ترشيح المركبات d-q وفصل المركبة الأساسية عن التوافقيات، وبعد ذلك يتم الانتقال من الإحداثيات d-q إلى abc بالاعتماد على تحويل بارك العكسي بالاعتماد على العلاقات (2) [6].

$$\begin{bmatrix} I_{sa} \\ I_{sb} \\ I_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 1 \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

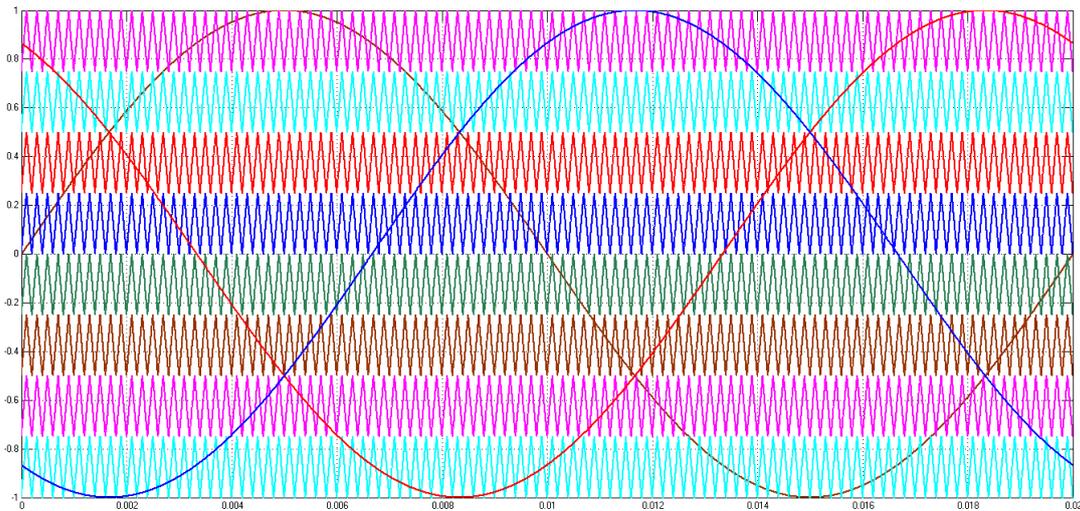
يظهر الشكل (3) توليد الإشارات المرجعية للتيار باستخدام نظرية الإطار المرجعي المتزامن (SRF)، حيث يتم الحصول على زاوية التزامن ( $\theta$ ) باستخدام حلقة قفل الطور (PLL). Phase Locked Loop (PLL).



الشكل (3) توليد الإشارات المرجعية باستخدام تحويلات بارك

#### 3-4 نظام التحكم المستخدم: اعتمدنا على تقنية تعديل عرض النبضة الجيبي SPWM لتأمين

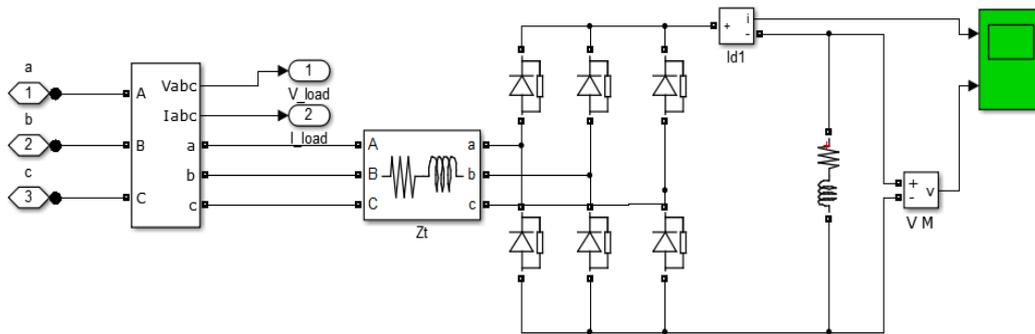
نبضات القذح للمفاتيح الالكترونية، حيث يتم مقارنة الإشارة المثلثية ذات التسعة مستويات مع إشارة التيار المرجعية (الجيبيية) والمستخرجة من خلال تطبيق نظرية الإطار المرجعي المتزامن (SRF) كما يظهر في الشكل (4).



الشكل (4) نظام توليد النبضات SPWM ثلاثي الطور للمقابلة ذات 9 مستويات

3-4 الحمل المستخدم: الغاية من المرشح الفعال التفرعي هي إلغاء التوافقيات الناتجة عن الأحمال الالكترونية

والمقومات، يظهر في الشكل (5) مقوم ديودي جسري ثلاثي الطور موصل إلى حمل R-L، حيث لدينا  $L = 10mH$  و  $R = 10\Omega$ . يغذى هذا الحمل من شبكة ثلاثية الطور جهدها الخطي  $V_l = 380 v$

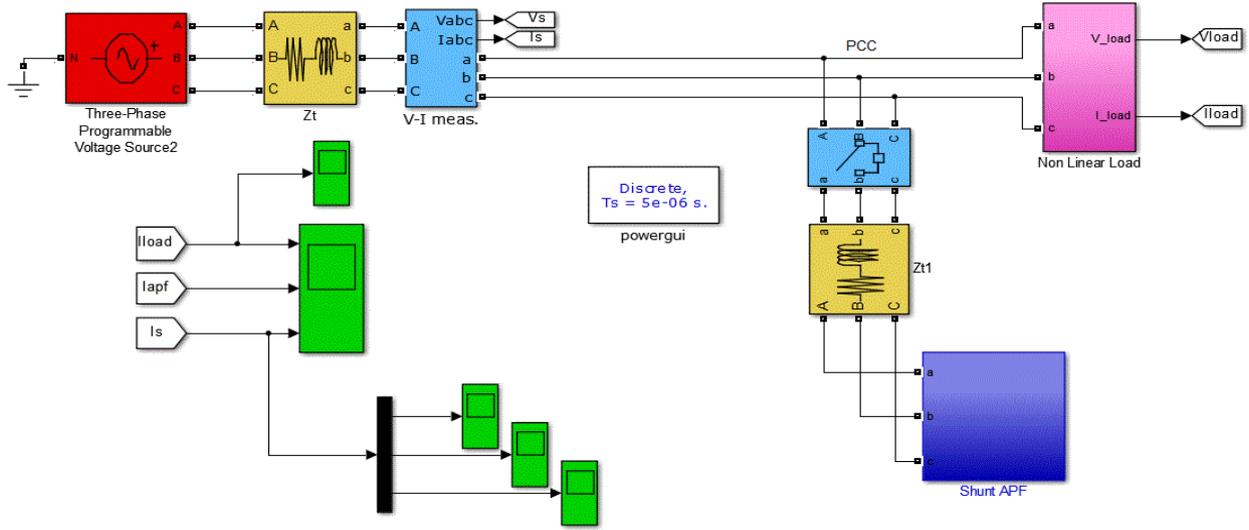


الشكل  
(5)  
المقوم

الديودي المستخدم كحمل في النظام المدروس

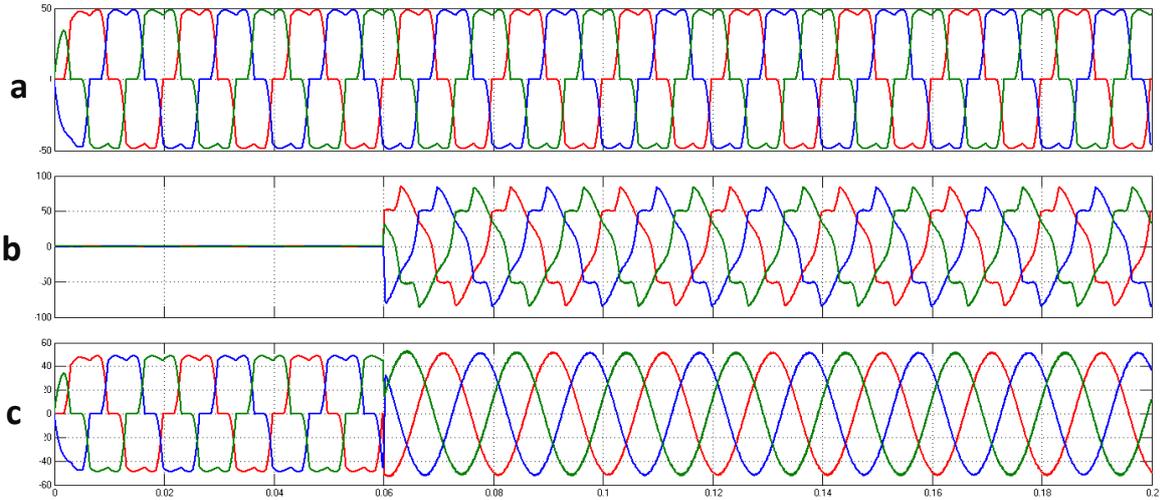
## 5- النتائج والمناقشة:

كما ذكرنا سابقا تم نمذجة النظام المدروس في بيئة MATLAB/Simulink، كما يظهر في الشكل (6) حيث تم تحديد عناصر النظام وتطبيق عدة حالات تحميل متناظر وغير متناظر وتم ومقارنتها عند استخدام مرشح فعال تفرعي ثنائي المستويات ومناقشة النتائج التي حصلنا عليها.



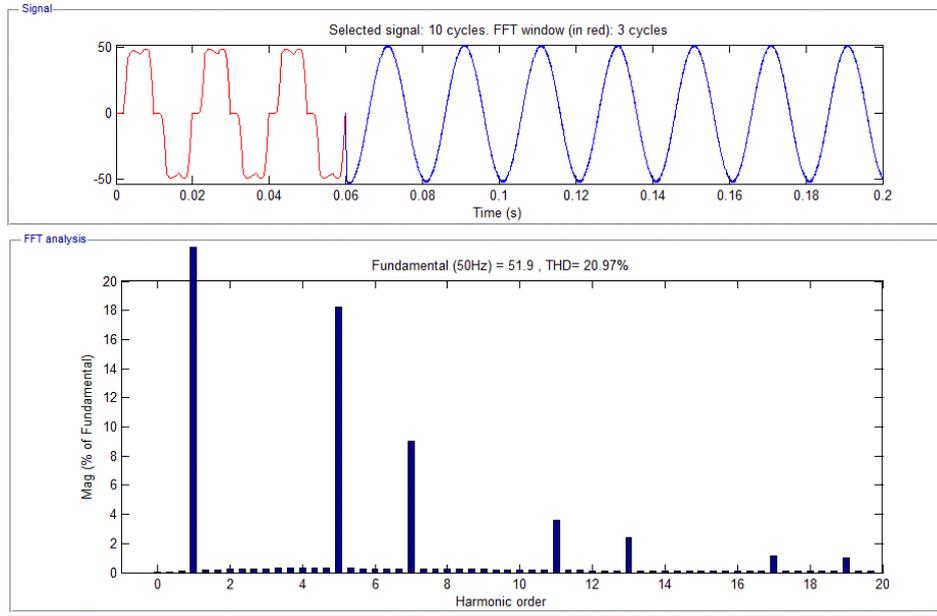
الشكل (6) نموذج MATLAB المرشح الفعال التفرعي

1-5 حالة التحميل المتناظر: أي عندما تكون الأطوار الثلاثة محملة بنفس القيمة. يظهر الشكل (7) تيار الحمل المشوه (a)، أما المنحني (b) فيمثل تأثير إدخال المرشح التفرعي عند زمن  $(t=0.06)$ ، وبالتالي يصبح تيار المنبع هو المجموع الجبري لتياري الحمل والمرشح كما هو مبين بالشكل (c).

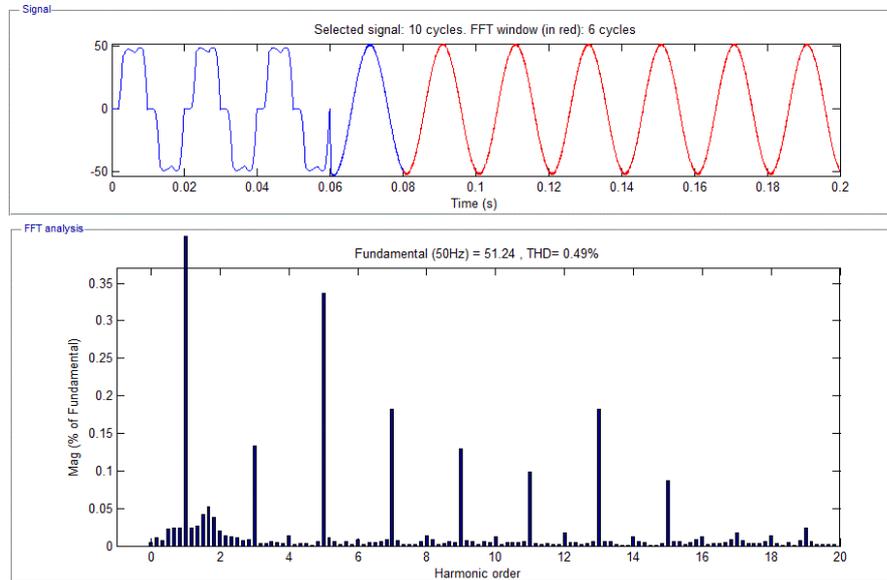


الشكل (7) منحنيات التيار عند الحمل المتناظر، تيار الحمل (a)، تيار المرشح الفعال (b)، تيار المنبع (c)

يظهر الشكل (8) تحليل فورييه لتيار الحمل للطور (a) عند استخدام مرشح متعدد المستويات، كما يظهر الشكل (9) تحليل فورييه لتيار الطور (a) للمنبع بعد إدخال المرشح.



الشكل (8) تحليل فورييه لتيار الحمل للطور (a)



الشكل (9) تحليل فورييه لتيار المنبع للطور (a)

بإجراء تحليل فورييه للأطوار الثلاثة لحساب عامل التشويه الكلي THD في الحالتين للمرشح (ثنائي المستوى والمرشح متعدد المستويات) كما يظهر في الجدول (1).

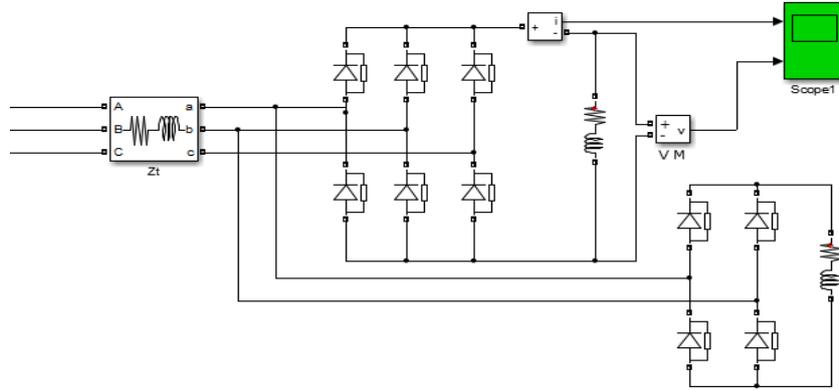
الجدول (1) عامل التشويه الكلي للمرشح ثنائي المستوى والمرشح متعدد المستويات في حالة الحمل المتناظر

الطور	THD% للحمل	THD% عند استخدام مرشح ثنائي المستوى	THD% عند استخدام مرشح متعدد المستويات
الطور a	20.97%	3.72%	0.49%
الطور b	21.1%	3.76%	0.5%
الطور c	21.04%	3.77%	0.5%

نلاحظ من الجدول (1) القيمة الكبيرة لعامل التشويه الكلي قبل إدخال المرشح (قبل إدخال المرشح  $THD=20.97\%$ )، وانخفاضه إلى قيمة صغيرة بعد دخول المرشح (بعد إدخال المرشح  $THD=0.49\%$ )، الأمر الذي يبين الأهمية والدور الفعال للمرشح الفعال التفرعي في معالجة اضطرابات التيار، والتخلص من أثارها. حيث يعود سبب الاختلاف في قيم  $THD\%$  بين الأطوار الثلاثة إلى اختلاف القيم اللحظية لتيارات الأطوار الثلاثة عند دخول المرشح.

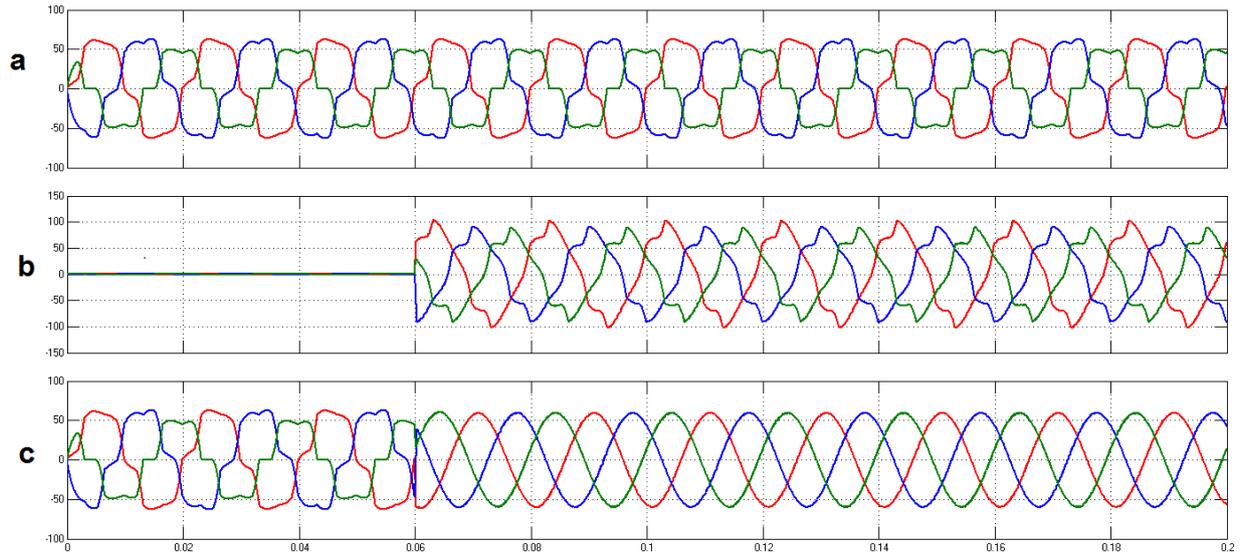
### 2-5 حالة التحميل غير متناظر: أي تحميل الأطوار الثلاثة بحمولة غير متساوية، حيث أنه بإضافة

للحمل السابق فقد تم تحميل الطورين الأول والثاني بمقوم ديودي إضافي كما يظهر في الشكل (10) يغذي هذا المقوم بدوره دارة R-L حيث  $L = 15mH$  و  $R = 35\Omega$ .

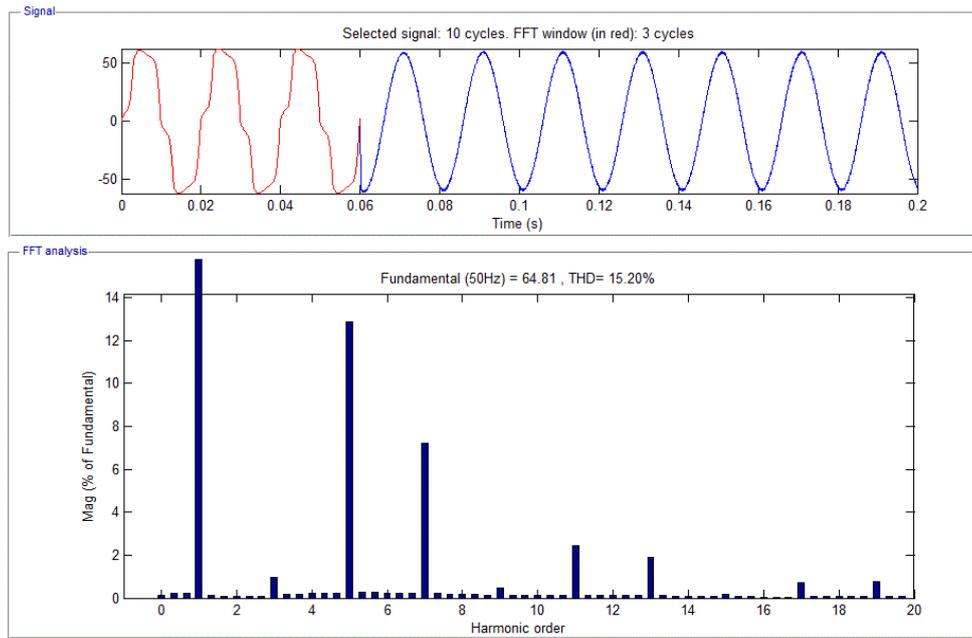


الشكل (10) حالة الحمل غير المتناظر

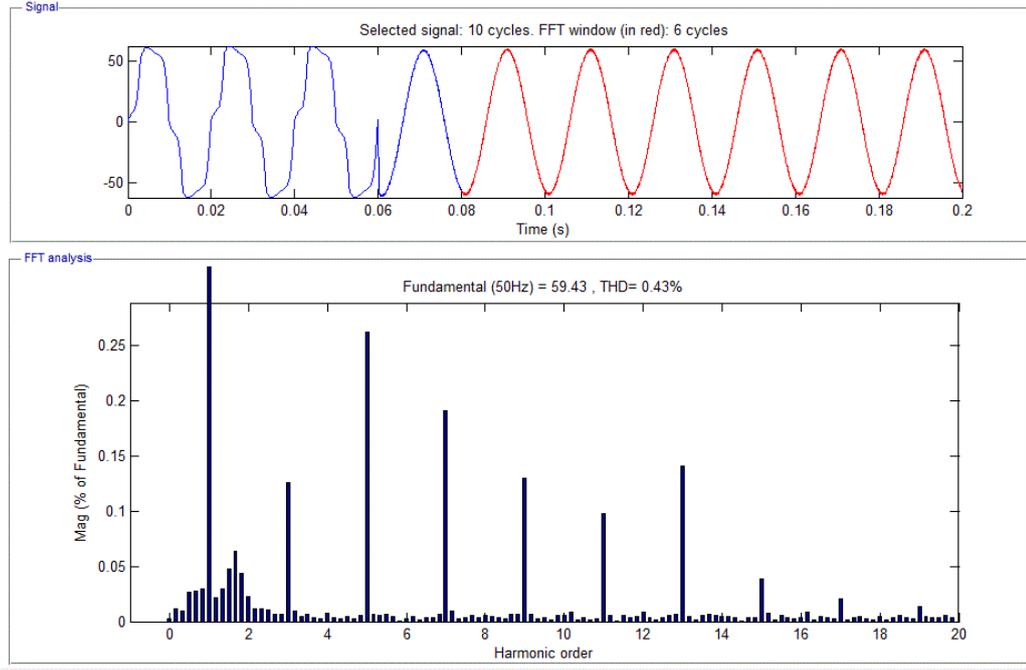
يظهر الشكل (11) تيار الحمل المشوه (a) وعند إدخال المرشح التفرعي متعدد المستويات عند زمن  $t=0.06$  كما هو مبين في الشكل (b)، وبالتالي يصبح تيار المنبع هو المجموع الجبري لتياري الحمل والمرشح، الشكل (c). حيث نلاحظ الاختلاف الواضح بين تيارات الأطوار الثلاثة للمنبع قبل إدخال المرشح الناتج عن التحميل غير المتناظر، وبالتالي يظهر لدينا فعالية المرشح التفرعي لتخفيض التوافقيات عند التحميل غير المتناظر.



الشكل (11) منحنيات التيار عند الحمل غير المتناظر، تيار الحمل (a)، تيار المرشح الفعال (b)، تيار المنبع (c) يظهر الشكل (12) تحليل فورييه لتيار الحمل للطور (a) عند استخدام مرشح متعدد المستويات، كما يظهر الشكل (13) تحليل فورييه لتيار المنبع للطور (a) بعد إدخال المرشح.



الشكل (12) تحليل فورييه لتيار الحمل للطور (a) عند الحمل غير المتناظر



الشكل (13) تحليل فورييه لتيار المنبع للطور (a) عند الحمل غير المتناظر بإجراء تحليل فورييه للأطوار الثلاثة لحساب عامل التشويه الكلي % THD في الحالتين للمرشح (ثنائي المستوى و متعدد المستويات) كما يظهر في الجدول (2).

الجدول (2) عامل التشويه الكلي للمرشح ثنائي المستوى ومتعدد المستويات في حالة التحميل غير المتناظر

الطور	THD% للحمل	THD% عند استخدام مرشح ثنائي المستوى	THD% عند استخدام مرشح متعدد المستويات
الطور a	15.2%	2.89%	0.43%
الطور b	18.06%	2.94%	0.43%
الطور c	21.05%	2.97%	0.46%

يظهر من الجدول (2) فعالية المرشح الفعال النفرعي في معالجة الاضطرابات غير المتناظرة أيضاً، حيث نلاحظ انخفاض كبير في عامل التشويه الكلي من 15.2% (قبل إدخال المرشح) إلى 0.43% بعد إدخال المرشح.

## 6- الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال النتائج السابقة نستنتج ما يلي:

### 1-6 الاستنتاجات

- I. فعالية المرشح الفعال التفرعي (المرشح ثنائي المستوى والمرشح متعدد المستويات) في معالجة اضطرابات جودة الطاقة الكهربائية المتعلقة بالتيار، سواء كانت هذه الاضطرابات متناظرة أم غير متناظرة، ويظهر ذلك من خلال القيمة المنخفضة ل THD.
- II. فعالية نظرية الإطار المرجعي المتزامن (SRF) لاستخراج الاشارات المرجعية، الأمر الذي انعكس ايجابا على نظام التحكم
- III. الدور البارز لنظام توليد النبضات (SPWM) في تقديم نبضات دقيقة للمفاتيح الالكترونية عند مختلف حالات الاضطرابات (المتناظرة وغير المتناظرة).

### 2-6 التوصيات

- متابعة البحث مع اقتراح نظم تحكم جديدة (SVPWM) Space Vector Pulse Width Modulation أو طرق غير خطية مثل متحكم حزمة التأخير الثابتة أو تحكم حزمة التأخير المنكيفة.
- العمل على بنى جديدة أو تطوير طوبولوجيات سابقة للمبدلات متعددة المستويات وذلك بغية انقاص عدد المفاتيح الالكترونية، حيث تعتبر السلبية الأكبر للمبدلات متعددة المستويات هي العدد الكبير للمفاتيح الالكترونية.

## 7- المراجع

- [1] Rajat, S. 2019 ,Design of Shunt Active Power Filter with Optimal PI Controller - A Comparative Analysis. IEEE.
- [2] Ragam R; Palanisamy K. 2019, *Shunt Active Filter Based on 7-Level Cascaded Multilevel Inverter for Harmonic and Reactive Power Compensation*. Springer.
- [3] Chandani, P; Paresh M; Minesh K ,2020, *Shunt Active Power Filter for Power Quality Improvement by using PI and Fuzzy Controller*. Electrical india.
- [4] LENG, S; LIU, W; CHUNG, Y; CARTES, D, 2009, *Active Power Filter for Three-Phase Current Harmonic Cancellation and Reactive Power Compensation*, American Control Conference, Hyatt Regency Riverfront, St. Louis, MO, USA, June 10-12.
- [5] DAHIDAH, M. S. A; MARIUN, N; MAHMOD, S; KHAN, N, 2003, *Single Phase Active Power Filter For Harmonic Mitigation In Distribution Power Lines*, IEEE Power Engineering Conference. PEcon. Proceedings. National.
- [6] Jain, S; Agarwal, P, Member IEEE; H. O. Gupta, H. O; Agnihotri, G, 2005, *Modeling of Frequency Domain Control of Shunt Active Power Filter Using MATLAB Simulink and Power System Blockset*.
- [7] Fathi, S. H; Pishvaei, M; Gharehpetian, G. B, 2006, *A Frequency Domain Method for Instantaneous Determination of Reference Current in Shunt Active Filter*, IEEE.
- [8] Maurizio C; Marcello P ; Gianpaolo V ; Abdellatif M 2009, " *Current Harmonic Compensation by a Single-Phase Shunt Active Power Filter Controlled by Adaptive Neural Filtering*" Volume: 56 , Issue: 8.
- [9] Tsang, K M. ; Chan W. L ; Xin Tang 2013, *Multi-level Shunt Active Power Filter Using Modular Cascade H-bridge and Delay Firing*. Electric Power Components and Systems. Volume 41, Issue 6.
- [10] Saad,S; L. Zellouma 2012, *Fuzzy logic controller for three-level shunt active filter compensating harmonics and reactive power*. elsevir .
- [11] Praveen Bansal; Alka Sing; 2019, *Control of Multilevel Inverter as Shunt Active Power Filter using Maximum Versoria Criterion*, IEEE.