استخدام مرشح فعال تسلسلي متعدد المستويات يعتمد تقنية تعديل عرض النبضة الجيبي (SPWM) لتحسين جودة الطاقة في شبكات التوزيع الكهربائية

د. كارلو مقدسي*

د. عصام حسامو**

حسن عدنان قنجراوي***

(تاريخ الإيداع 12 / 1 / 2021. قُبِل للنشر في 23/ 2 / 2021)

□ ملخّص □

أدى التوسع الكبير في الشبكات الكهربائية، وازدياد حساسية الأجهزة للاضطرابات الكهربائية إلى فرض قيود صارمة على جودة الطاقة الكهربائية المغذية للأحمال. تعد منهجية تحسين جودة الطاقة بالاعتماد على الأجهزة الإلكترونية حلاً فعالاً لمشاكل جودة الطاقة.

نقترح في هذا البحث استخدام المرشح الفعال التسلسلي Series Active Filter (SAF) متعدد المستويات لمعالجة مشاكل جودة الطاقة المتعلقة بالجهد في شبكات التوزيع. تم في هذه الورقة البحثية نمذجة المرشح الفعال التسلسلي في بيئة MATLAB/Simulink، ثم طُبِقت نظرية الإطار المرجعي المتزامن من أجل استخلاص إشارات الجهد المرجعية. وأخيراً، تم مقارنة تلك الإشارات مع الجهود المقاسة في نظام Sinusoidal Pulse Width (SPWM) Modulation لتوليد نبضات القدح للمفاتيح القالبة نصف الناقلة.

تم التحقق من صحة النظام المدروس من خلال محاكاة حالات اضطراب جهد مختلفة ومقارنة النتائج في حال استخدام مرشح ثنائي المستوى ومتعدد المستويات. بينت النتائج تحسين جودة الطاقة الكهربائية عند استخدام المرشح الفعال التسلسلي متعدد المستويات، وبدا ذلك من خلال إنقاص عامل التشويه التوافقي الكلي الذي نتج عنه تحسن شكل موجة الجهد.

الكلمات المفتاحية: جودة الطاقة الكهربائية، مرشح فعال تسلسلي (SAF)، قالبة متعددة المستويات، نظرية الإطار المرجعي المتزامن، عامل التشويه التوافقي الكلي (THD%) Total Harmonic Distortion.

* 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 موبايل 963991885012+ ايميل Hassan.a.kenjrawy@gmail.com

Use a Multi-level Series Active Filter Controlled by Sinusoidal Pulse Width Modulation Technology to Power Quality Enhancement in an Electrical Distribution Network

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

(Received 12 / 1 / 2021. Accepted 23 / 2 / 2021)

□ ABSTRACT □

The significant expansion of electrical networks and the increased sensitivity of devices to electrical disturbances have imposed severe restrictions on the power quality feeding the loads. The methodology for improving power quality using electronic devices is an effective solution to power quality problems.

In this paper, we suggest using the multi-level Series Active Filter (SAF) to address power quality problems related to voltage in distribution networks. The active filter was modeled in the MATLAB / Simulink platform, and the synchronous reference frame theory was applied to extract the reference voltage signals. Finally, those signals were compared with the measured voltage in the Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) system to generate the semi- conductors switches pulses.

The studied system was validated by simulating different voltage disturbances, then comparing the results if a two-level and multi-level filter was used. The results showed an improvement in the power quality when using the multi-level series active filter, and this appeared by reducing the total harmonic distortion factor that improves the voltage curve.

Keywords: Power Quality, series active filter (SAF), multi-level inverter, synchronous reference frame theory, total harmonic distortion Total Harmonic Distortion (THD**%**).

*Professor , department of electric power engineering, faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Assistant Professor, department of electric power engineering, faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

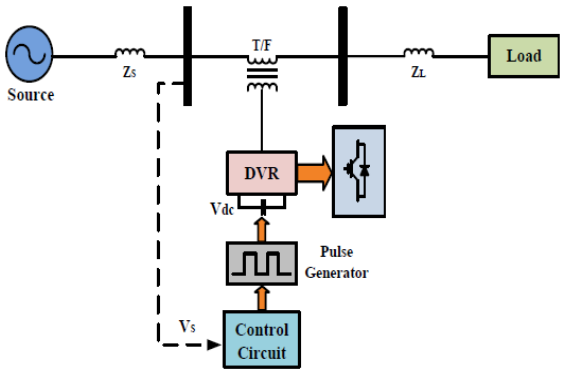
***Postgraduate Student (PhD), department of electric power engineering, faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria, email: Hassan.a.kenjrawy@gmail.com Tel: +963991885012

مقدمة:

تعد جودة الطاقة الكهربائية عاملاً هاماً في تقييم الشبكات الكهربائية، فقد أدى الاستخدام المتزايد للتجهيزات الإلكترونية الحساسة لنوعية الطاقة الكهربائية إلى فرض قيود على نوعية الطاقة المقدمة من الشبكة [1].

بشكل عام، تتعرض الشبكة الكهربائية لاضطرابات كثيرة تؤثر على جودة الطاقة الكهربائية، مثل الحالات العابرة المرافقة لفصل ووصل الأحمال الضخمة، أو إقلاع المحركات ذات الاستطاعة العالية. حيث تسبب هذه الاضطرابات تدلياً (Voltage sag) أو انتفاخاً في موجة الجهد (Voltage swell)، الأمر الذي يؤثر سلباً على الأحمال الأخرى المرتبطة بالشبكة. ومن الاضطرابات الشائع حدوثها في شبكات التوزيع عدم تناظر الجهود (Unbalanced Voltages) الناجم عن التحميل غير المتناظر للأطوار. تعتبر مشاكل جودة الطاقة المتعلقة بالجهد (تدلي، انتفاخ، توافقيات...) واحدة من أكثر الاضطرابات التي تؤثر على المستهلك [2].

تعد منهجية تحسين جودة الطاقة بالاعتماد على الأجهزة الإلكترونية حلاً فعالاً لمشاكل جودة الطاقة، وأبرز الحلول لمعالجة اضطرابات الجهد وأحدثها هو استخدام المرشح الفعال التسلسلي، يظهر في الشكل (1) بنية المرشح الفعال التسلسلي، حيث يتكون من محولات حقن توصل على التسلسل بين الحمل والمنبع ومفاعلات تنعيم تسلسلية وقالبة منبع جهد Voltage Source Converter - VSC متصلة مع وصلة جهد مستمر [3].



الشكل (1) بنية المرشح الفعال التسلسلي

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 تحسين منحني الجهد المغذي.

بعض الباحثين استخدم طرق المجال الترددي للحصول على الإشارات المرجعية والبعض الأخر استخدم طرق المجال الزمني.

يقدم المرجع [4] مرشحاً فعالاً تسلسلي ثنائي المستوى لمعالجة اضطرابات الجهد (تدلي وانتفاخ الجهد) المتناظرة وغير المتناظرة حيث يستخدم طرق المجال الترددي (تحويل فورييه) للحصول على إشارة الجهد المرجعية، مع استخدام طريقة عرض النبضة Pulse Width Modulation (PWM) لتوليد نبضات القدح. كذلك يقدم المرجع [5] تحويل فورييه لمعالجة انتفاخ وتدلي الجهد غير المتناظرين بالإضافة لمعالجة التوافقيات في منحني الجهد (التوافقية الخامسة والسابعة والحادية عشرة والثالثة عشرة). لكن الاعتبارات الخاصة بإجراء الحسابات (الوقت الطويل والذاكرة الكبيرة المطلوبة) حدا من استخدام طرق المجال الترددي، فلجأ الباحثون إلى طرق المجال الزمني.

يقدم المرجع [6] طريقة جديدة تعتمد على المجال الزمني حيث يعتمد على تحويلات بارك Park Transformations للحصول على الإشارة المرجعية للجهد كذلك استخدم تعديل عرض النبضة الجيبي SPWM للحصول على نبضات القدح للمفاتيح حيث تمت معالجة توافقيات الجهد بالإضافة إلى حالات التدلي والانتفاخ.

وفي المرجع [7] طريقة أخرى من طرق المجال الزمني لاستخراج الاشارات المرجعية للجهد وهي طريقة الاستطاعة اللحظية والتي تعتمد على تحويلات كلارك في المجال $(\alpha - \beta)$، ويستخدم PWM للحصول على نبضات القدح للمفاتيح الالكترونية النصف ناقلة.

أيضاً يقدم المرجع [8] طريقة الاستطاعة اللحظية للحصول على الإشارات المرجعية، ومع استخدام طرق الذكاء الصنعي (المنطق الضبابي) لتوليد نبضات القدح للمفاتيح.

أما المرجع [9] فيقارن بين طريقتي التحكم الشعاعي وتعديل عرض النبضة الجيبي SVPWM-SPWM للحصول على نبضات القدح للمفاتيح الالكترونية، مع استخدام نظرية الإطار المرجعي المتزامن للحصول على الإشارات المرجعية.

ولكن بغية تحسين شكل منحني الجهد وتقليل المحتوى التوافقي في موجة الجهد لجأ الباحثون إلى استخدام القالبات المتعددة المستويات في تصميم المرشحات الفعالة، لذا يقدم المرجع [10] مرشحاً فعالاً تسلسلياً مع بنية قالبة ذات خمس مستويات مع ديودات ربط (5- level clamping diodes inverters) لتعويض اضطرابات الجهد من تدلي (sag) وانتفاخ (swell) وتوافقيات (harmonics) في شبكة الجهد المتوسط.

ويقدم المرجع [11] مرشحاً فعالاً مع مبدلة بتسعة مستويات، حيث تم الاعتماد على البنية المتعاقبة للقالبة (H– Bridge cascaded inverters) مع متحكم صناعي لتعويض اضطرابات الجهد مع تقديم نموذج مخبري باستطاعة 1KVA حيث يعتمد على تحويلات بارك (d-q) لتوليد الإشارات المرجعية.

أما المرجع [12] فيستخدم التحكم الشعاعي مع المنطق الضبابي للتحكم بالمرشح الفعال التسلسلي، حيث تم معالجة توافقيات الجهد، وفيه تم اعتماد بنية ذات 9 مستويات للقالبة ذات الجسور المتعاقبة، ولكن لم يتطرق إلى مشاكل جودة الطاقة كالتدلي (sag) والانتفاخ (swell).

سوف نقدم في هذا البحث مرشح فعال تسلسلي ذا بنية بتسعة مستويات مع ديودات ربط لمعالجة اضطرابات الجهد (تدلي، انتفاخ، توافقيات) وستتم مقارنة النتائج مع مرشح ذي مستويين. حيث سنعتمد على تحويلات بارك لاستخراج الاشارات المرجعية، وسنتحكم بالمبدلة بالاعتماد على تقنية تعديل عرض النبضة الجيبي SPWM.

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث من كونه يعالج مشاكل الجودة الأكثر شيوعا في شبكات التوزيع الكهربائية وهي اضطرابات الجهد، وبالتالي تحسين الجهد الواصل إلى الحمل، وكذلك التركيز على استخدام المبدلات المتعددة المستويات ودورها في تحسين أداء المرشحات الفعالة.

انطلاقا من المشاكل التي لوحظت في النظام الكهربائي ، فإن هذا البحث يهدف إلى:

- معالجة اضطرابات الجهد (تدلي، انتفاخ، توافقيات) وبالتالي تحسين منحني الجهد الواصل إلى الحمل.
- استخدام بنية ذات 9 مستويات للمرشح الفعال التسلسلي والتي تضمن عامل تشويه توافقي أقل.
- تحسين أداء المرشح الفعال التسلسلي من خلال استخدام تحويلات بارك التي تتميز بالسرعة والدقة في استخلاص اشارة التيار المرجعي.

- استخدام تعديل عرض النبضة الجيبي SPWM لتوليد نبضات المفاتيح الالكترونية.

طرائق البحث ومواده:

تم اختيار بنية القالبة المستخدمة في المرشح الفعال التسلسلي ذات 9 مستويات، وتم بناء نموذج ومحاكاة عمله باستخدام برنامج MATLAB R2013a. ومن أجل التحكم بالقالبة تم اعتماد تقنية SPWM والتي يتم فيها مقارنة اشارة مثلثية مع اشارة جيبية، تمثل هذه الاشارة الجيبية قيمة التيار المرجعي.

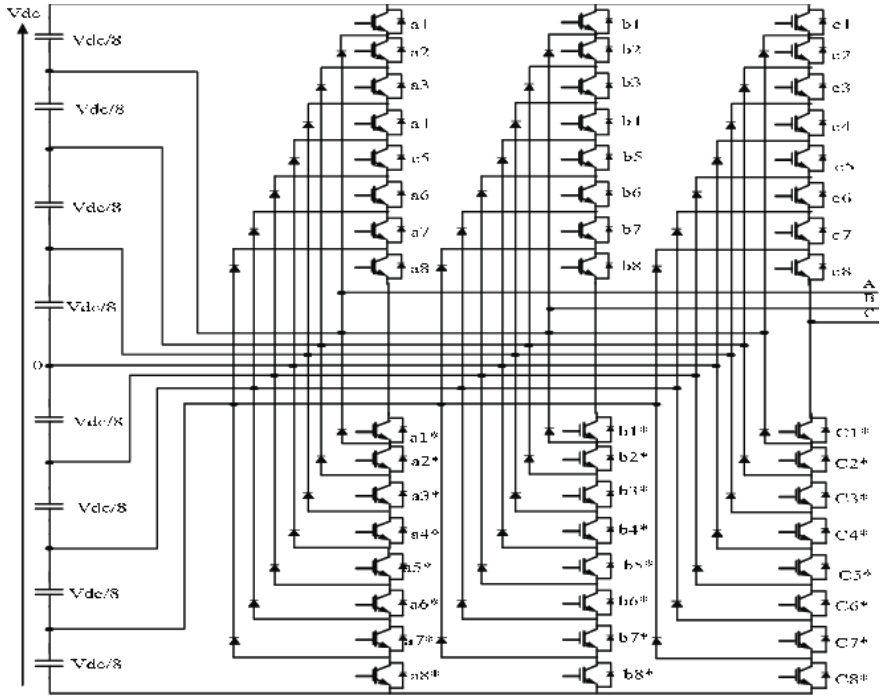
1- منهجية البحث:

تم الاعتماد على المنهجين التجريبي والوصفي حيث شملت منهجية البحث المراحل التالية:

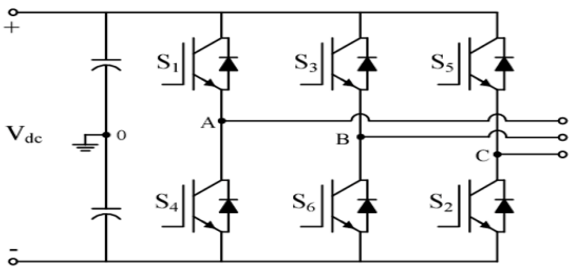
1-1 تحديد بنية المرشح

تم الاعتماد على بنية المرشح بديودات الربط ذات 9 مستويات، حيث تتشارك جميع الأطوار نفس جهد الدخل المستمر، وتتميز هذه المبدلات بفعالية عالية عند ترددات الوصل – الفصل الأساسية.

يبين الشكل (2) بينة القالبة المستخدمة في المرشح الفعال التسلسلي، أما الشكل (3) فيبين بنية المرشح الفعال ثنائي المستوى.



الشكل (2) بنية القالبة المستخدمة في المرشح التفرعي متعدد المستويات



الشكل (3) بنية القالبة المستخدمة في المرشح الفعال ثنائي المستوى

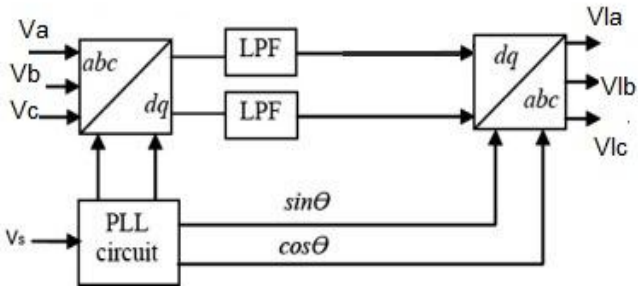
2-1 توليد الإشارات المرجعية: لاستخراج إشارة الجهد المرجعية تم استخدام نظرية الإطار المرجعي المتزامن (SRF) والتي تعتمد على تحويلات بارك كما يظهر في المعادلات (1)، حيث يتم الانتقال من الإحداثيات abc إلى الاحداثيات d-q [6].

$$\begin{bmatrix} U_d \\ U_q \\ U_0 \end{bmatrix} = \frac{2}{3}\begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta+\frac{2\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta-\frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta+\frac{2\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

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

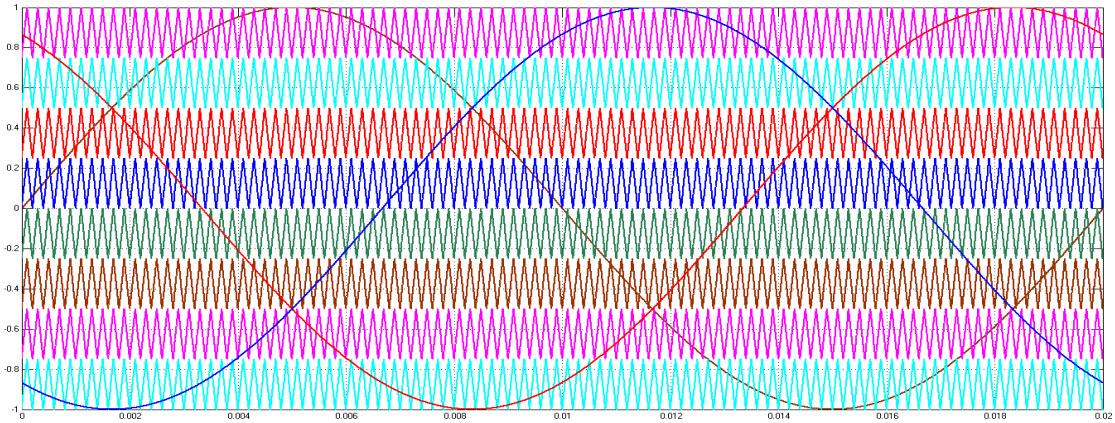
$$\begin{bmatrix} U_{la} \\ U_{lb} \\ U_{lc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 1 \\ \cos(\theta-\frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta-\frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\theta+\frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta+\frac{2\pi}{3}) & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} U_d \\ U_q \\ U_0 \end{bmatrix} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

يظهر الشكل (4) ألية توليد الإشارات المرجعية للجهد باستخدام نظرية الإطار المرجعي المتزامن (SRF)، حيث يتم الحصول على زاوية التزامن (θ) باستخدام حلقة قفل الطور (PLL).



الشكل (4) توليد الإشارات المرجعية باستخدام تحويلات بارك

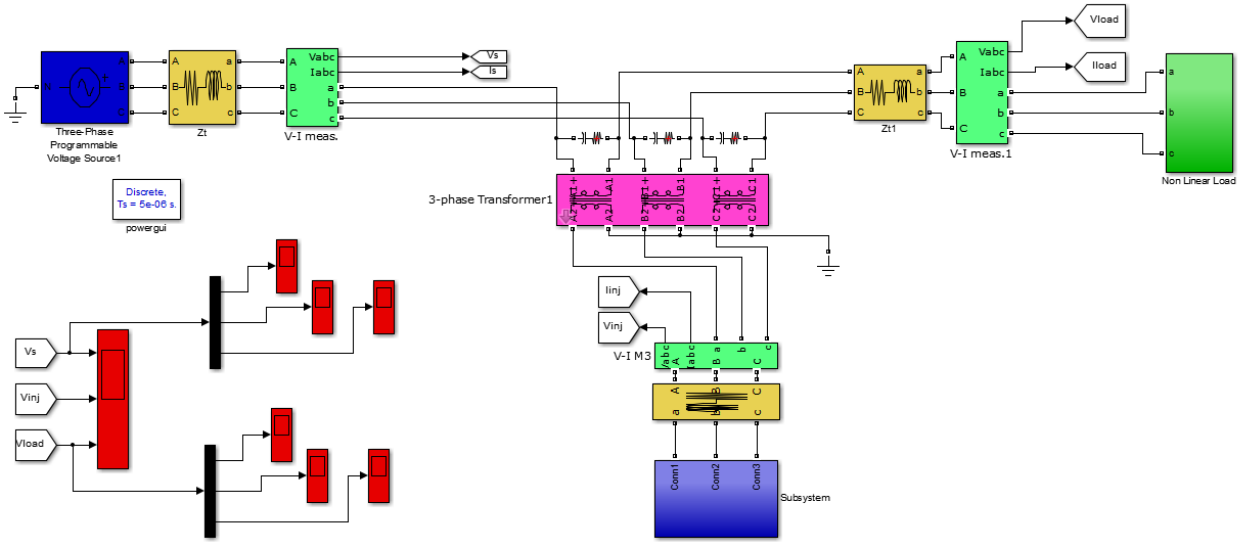
3-1 نظام التحكم المستخدم: تم الاعتماد على تقنية تعديل عرض النبضة الجيبي SPWM لتأمين نبضات القدح للمفاتيح الالكترونية، حيث يتم مقارنة الاشارة المثلثية ذات تسعة مستويات مع اشارة التيار المرجعية (الجيبية) للتيار والمستخرجة من خلال نظرية الإطار المرجعي المتزامن (SRF) كما يظهر في الشكل (5).



الشكل (5) نظام توليد النبضات SPWM ثلاثي الطور للقالبة ذات 9 مستويات

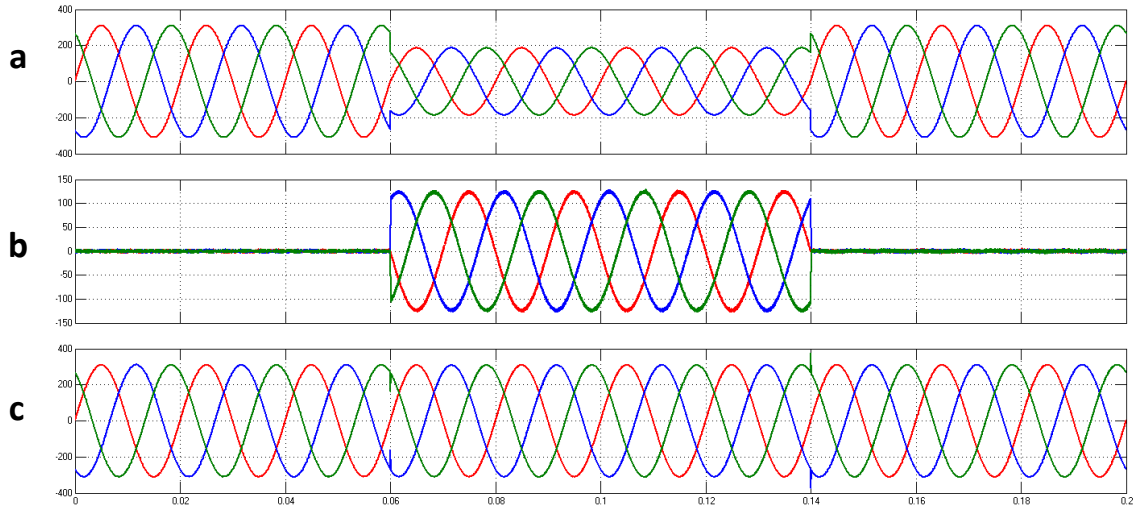
النتائج والمناقشة:

تمت نمذجة النظام المدروس في بيئة MATLAB/Simulink كما يظهر في الشكل (6) حيث تم تحديد عناصر النظام وتطبيق عدة اضطرابات على جهد التغذية (تدلي، انتفاخ، توافقيات) ومقارنتها عند استخدام مرشح فعال تسلسلي ثنائي المستويات ومناقشة النتائج التي حصلنا عليها



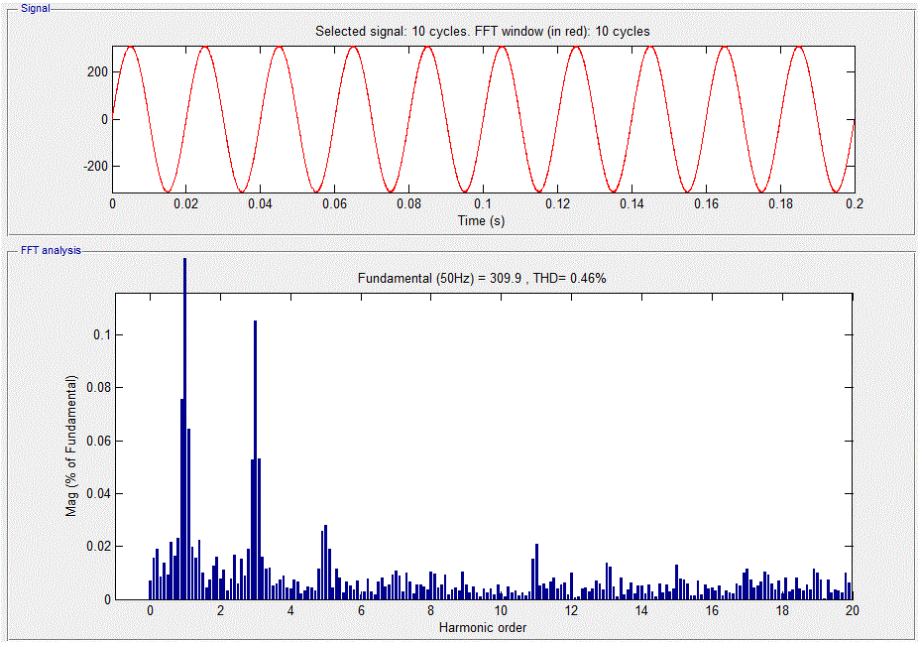
الشكل (6) نموذج المرشح الفعال التسلسلي

1- حالة تدلي الجهد (انخفاض قيمة الجهد إلى 60% من قيمته الاسمية): يبين الشكل (7) منحني 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

بإجراء تحويل فوريه للطور (a) عند استخدام مرشح متعدد المستويات، كما هو مبين في الشكل (8)



الشكل (8) تحويل فوريه في حالة تدلي الجهد للطور (a) عند استخدام مرشح متعدد المستويات

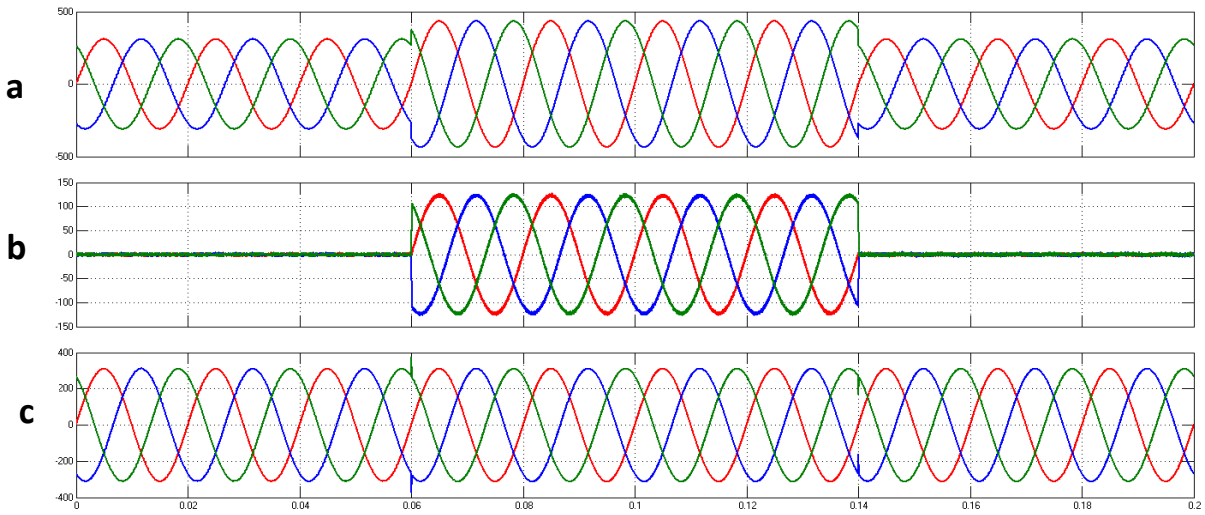
يظهر الجدول (1) قيمة عامل التشويه الكلي عند استخدام تحويل فوريه لجميع الأطوار عند استخدام المرشح الفعال التسلسلي (ثنائي المستوى، ومتعدد المستويات) لتعويض تدلي الجهد

الجدول (1) قيمة THD% في حالة تدلي الجهد

الطور	THD% للمنبع	THD%عند استخدام مرشح ثنائي المستوى	THD%عند استخدام مرشح متعدد المستويات
الطور a	15.15%	1.92%	0.46%
الطور b	15.5%	1.96%	0.48%
الطور c	15.32%	1.97%	0.48%

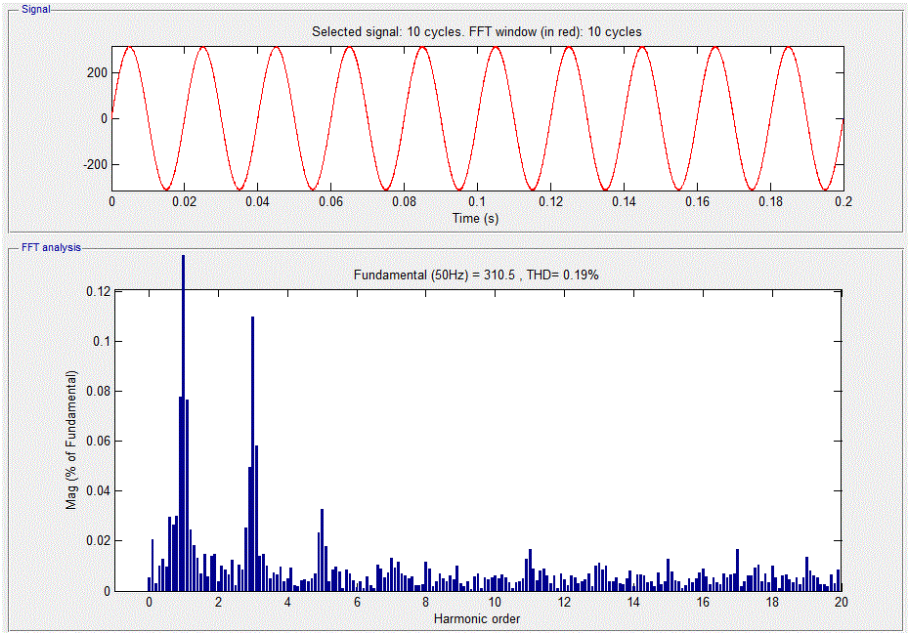
نلاحظ من الشكلين السابقين القيمة الكبيرة لعامل التشويه الكلي قبل دخول المرشح ، وانخفاضه إلى قيمة صغيرة بعد دخول المرشح، الأمر الذي يبين الأهمية والدور الفعال للمرشح الفعال التسلسلي بشكل عام والمرشح التسلسلي متعدد المستويات بشكل خاص في معالجة تدلي الجهد، والتخلص من أثاره.

2- حالة انتفاخ الجهد (زيادة قيمته الى 140% من القيمة الاسمية): يبين الشكل (9) منحني جهد التغذية في حالة ازدياده 40% من قيمته الاسمية حيث تبلغ قيمة عامل التشويه الكلي للجهد للطور (a) 10.97%.



الشكل (9) حالة انتفاخ الجهد (a) الجهد المغذي، (b) الجهد المحقون، (c) الجهد الواصل إلى الحمل

وبإجراء تحويل فورييه لمنحني الجهد للطور (a) باستخدام المرشح التسلسلي متعدد المستويات نلاحظ انخفاض عامل التشويه من 10.97% إلى 0.19% كما هو مبين في الشكل (10).



الشكل (10) تحويل فورييه في حالة تدلي الجهد للطور (a) عند استخدام مرشح متعدد المستويات

يظهر الجدول (2) قيمة عامل التشويه الكلي عند استخدام تحويل فورييه لجميع الأطوار عند استخدام المرشح الفعال التسلسلي (ثنائي المستوى، ومتعدد المستويات) لتعويض انتفاخ الجهد.

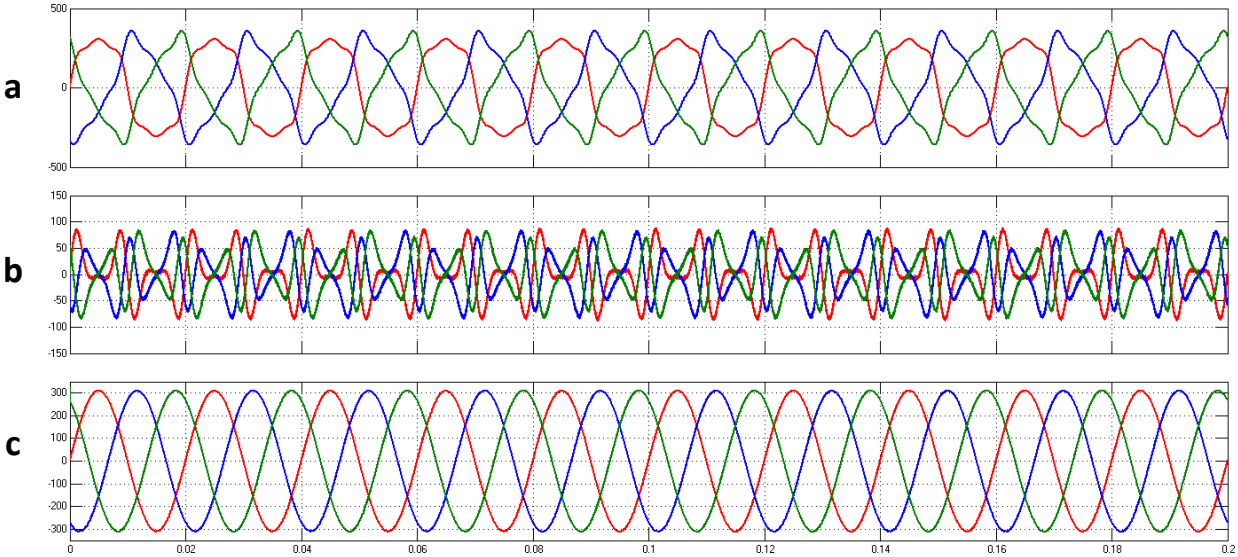
الجدول (2) قيمة THD% في حالة انتفاخ الجهد

الطور	THD% للمنبع	THD% عند استخدام مرشح ثنائي المستوى	THD%عند استخدام مرشح متعدد المستويات
الطور a	10.97%	1.45%	0.19%
الطور b	11.02%	1.46%	0.21%
الطور c	10.98%	1.48%	0.2%

بالتالي يتبين لدينا من خلال القيم المنخفضة لعامل التشويه الكلي قدرة المرشح الفعال التسلسلي بشكل عام والمرشح الفعال التسلسلي متعدد المستويات بشكل خاص على معالجة انتفاخات الجهد التي قد تحدث في الشبكة.

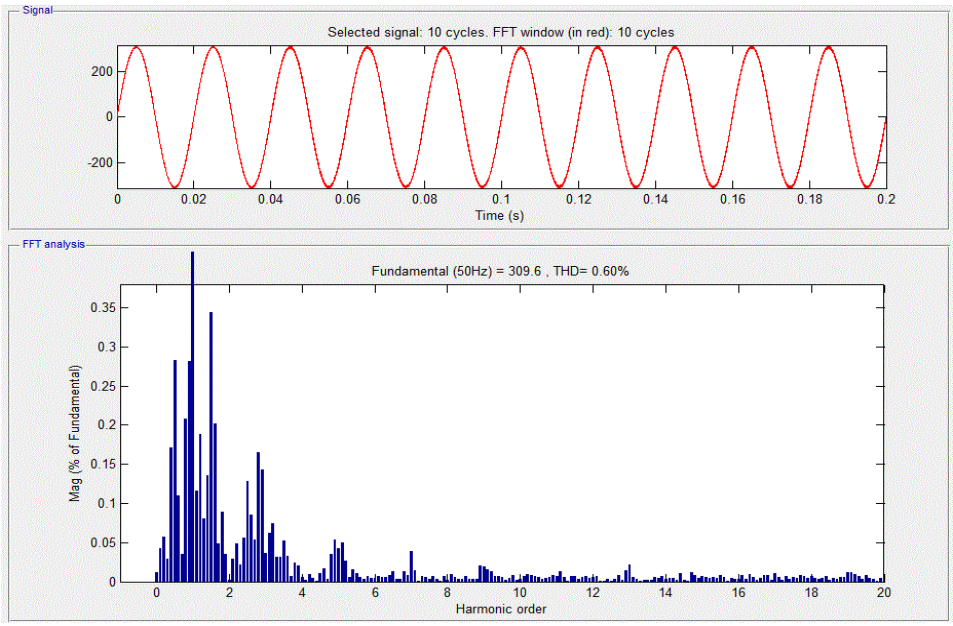
3- معالجة توافقيات الجهد

سنستعرض حالة وجود توافقيات في منحني الجهد المغذي، نتيجة الأحمال اللاخطية كالتجهيزات الالكترونية التي تقوم بحقن التوافقيات في جهد التغذية، كما هو موضح بالشكل (11)، حيث يظهر كلاً من جهد المنبع والجهد المحقون من المرشح التسلسلي والجهد الواصل إلى الحمل.



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

وبإجراء تحويل فوريه لمنحني الجهد للطور (a) باستخدام المرشح التسلسلي متعدد المستويات نلاحظ انخفاض عامل التشويه من 17.67% إلى 0.6% كما هو مبين في الشكل (12).



الشكل (12) تحويل فوريه في حالة تعويض توافقيات الجهد للطور (a) عند استخدام مرشح متعدد المستويات

يظهر الجدول (3) قيمة عامل التشويه الكلي عند استخدام تحويل فوريه لجميع الأطوار عند استخدام المرشح الفعال التسلسلي (ثنائي المستوى، ومتعدد المستويات) لتعويض توافقيات الجهد.

الجدول (3) قيمة THD% في حالة تعويض توافقيات الجهد

الطور	THD% للمنبع	THD% عند استخدام مرشح ثنائي المستوى	THD%عند استخدام مرشح متعدد المستويات
الطور a	17.67%	2.11%	0.6%
الطور b	17.69%	2.14%	0.62%
الطور c	17.7%	2.12%	0.61%

بالتالي يتبين لدينا من خلال القيم المنخفضة لعامل التشويه الكلي قدرة المرشح الفعال التسلسلي بشكل عام والمرشح الفعال التسلسلي متعدد المستويات بشكل خاص على معالجة توافقيات الجهد التي قد تحدث في الشبكة، وبالتالي التخلص من الأثار الضارة لوجود التوافقيات.

الاستنتاجات والتوصيات:

من خلال النتائج السابقة نستنتج ما يلي:

قدرة المرشح الفعال التسلسلي (ثنائي المستوى و متعدد المستويات) على معالجة اضطرابات جودة الطاقة المتعلقة بالجهد (تدلي – انتفاخ – توافقيات) وذلك من خلال القيمة المنخفضة لـ THD.

فعالية النظام المتبع لاستخراج الاشارات المرجعية (الاعتماد على تحويلات كلارك)، الأمر الذي انعكس ايجابا على نظام التحكم الدور البارز لنظام توليد النبضات (SPWM) في تقديم نبضات دقيقة للمفاتيح الالكترونية عند مختلف حالات الاضطرابات.

الأداء الفعال والدقيق للمرشح الفعال التسلسلي متعدد المستويات في معالجة الاضطرابات حيث نلاحظ انخفاض قيمة THD% إلى قيم منخفضة جدا (أقل من 0.6%)

لذلك نوصي بما يلي

- متابعة البحث مع اقتراح نظم تحكم جديدة space vector pulse width modulation (SVPWM) أو طرق غير خطية مثل التحكم بحزمة التأخير الثابتة أو التحكم بحزمة التأخير المتكيفة.
- العمل على بنى جديدة أو تطوير بنى سابقة للمبدلات متعددة المستويات وذلك بغية انقاص عدد المفاتيح الالكترونية، حيث تعتبر السلبية الأكبر للمبدلات متعددة المستويات هي العدد الكبير للمفاتيح الالكترونية.

References:

[1] "*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.

[2] M. Sharmila, C.K.Sundarabalan, K.Selvi**.** "*power quality disturbances classification using data mining technique*". International Journal of Research In Science & Engineering Volume: 3 Issue: 3 May-June 2017

[3] 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.

[4] G. Devadasu ,M. Sushama *"Voltage Sag and Swell Identification Using FFT Analysis and Mitigation with DVR"*. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), Volume 12, Issue 2 Ver. I (Mar. – Apr. 2017), PP 30-40.

[5] Mustafa Inci ; Mehmet Buyuk ; Mehmet Tumay *"FFT based reference signal generation to compensate simultaneous voltage sag/swell and voltage harmonics*". IEEE, 2016.

[6] Saripalli Rajesh*, Mahesh K. Mishra, *Senior Member IEEE* and Sridhar K. " *Design and Simulation of Dynamic Voltage Restorer (DVR) Using Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)*". 16th NATIONAL POWER SYSTEMS CONFERENCE. INDIA. 2010.

[7] Pedro Martin García-Vite ; Juan M. Ramirez ; Johnny Posada Contreras *" DVR control based on instantaneous power*" . IEEE,2009.

[8] Mohammed Yahya Suliman "*Design of Fast Real Time Controller for the Dynamic Voltage Restorer Based on Instantaneous Power Theory*". IJREE.2010.

[9] G. Mohan1, A. Lakshmi " *Design and Simulation of Dynamic voltage restorer (DVR) using SPWM and SVPWM Techniques for Voltage Sags &Voltage Swells Mitigation*" . International Journal of Modern Engineering Research (IJMER). 2013.

[10] N. Chellammal ; Subhransu Sekar Dash ; V. Velmurugan ; Ravitheja Gurram. "*Series Active Filter Design Based on Asymmetric Hybrid Modular Multilevel Converter for Traction System*". IEEE, 2012.

[11] Alexander Varschavsky, Juan Dixon, Mauricio Rotella, Luis Morán. "*Cascaded Nine-Level Inverter for Hybrid-Series Active Power Filter, Using Industrial Controller*" . IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 57, NO. 8, AUGUST 2010.

[12] G.Nageswara, Rao, P. Sangameswara, Raju, K. Chandra sekhar "*Multilevel Inverter Based Active Power Filter for Harmonic Elimination* ". International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS) Vol.3, No.3, September 2013.