تخفيف تدلي الجهد في شبكات التوزيع الكهربائية عن طريق تحسين التحكم بمرمم الجهد الديناميكي

د. نسمت أبو طبق*

د. هيثم دغرور**

علاء ديوب***

(تاريخ الإيداع 26 / 4 / 2021. قُبِل للنشر في 1/ 7 / 2021)

□ ملخّص □

إن أداء نظام القدرة الكهربائي يتأثر بشكل مباشر باضطراب معايير جودة القدرة، وأحد أهم هذه الاضطرابات التي تؤثر على أداء نظام القدرة هو تدلي الجهد الكهربائي الذي يؤثر على جهد الاحمال الحساسة حيث يمكن أن يؤدي الى توليد تيار اندفاع مغناطيسي كبير، وفشل النظام، زيادة الضياعات وخاصة في الاحمال الصناعية وبالتالي زيادة الكلفة.

يعتبر مرمم الجهد الديناميكي DVR أحد أفضل الطرق الامثل التي تستخدم مع نظام القدرة لتخفيف تدلي الجهد حيث أن التصميم الامثل لمرمم الجهد الديناميكي مع التحكم بالانفيرتر باستخدام تصميم مناسب للمتحكم التناسبي التكاملي PI يمكن أن يحسن أداء جهاز DVR وذلك من خلال تقليل زمن الاستجابة الديناميكي وبالتالي تخفيف تدلي الجهد في نظام القدرة.

في هذه الدراسة البحثية نقترح تقنية التحكم بـDVR باستخدام متحكم PI مع وحدة تحكم تسلسلية وأخرى تفرعية لتحسين جودة القدرة بالشكل الامثل. تقنية التحكم المقترحة يمكن أن تعمل على تعويض الجهد في نظام أحادي الطور أو ثلاثي الطور.

هذه الدراسة تمت باستخدام برنامج المحاكاة ماتلاب لنمذجة وحدة التحكم PI مع DVR للتحكم بنظام القدرة.

النتائج التي حصلنا عليها في هذه الدراسة تظهر التفوق الكبير لتقنية التحكم المقترحة في تحسين جودة القدرة خلال فترات تدلي الجهد.

الكلمات المفتاحية: تدلي الجهد، مرمم الجهد الديناميكي(DVR) ، متحكم تناسبي تكاملي (PI)، ماتلاب، نظام التشغيل.

* **مدرس – قسم هندسة الطاقة الكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية– سورية.**

** **أستاذ مساعد – قسم هندسة الطاقة الكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية– سورية**

*** **طالب دكتوراه – قسم هندسة الطاقة الكهربائية – جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.**

Reducing Voltage Sag in Electrical Distribution Networks by Improving Dynamic Voltage Restoration Control

Dr. Nesmat Abo Tabak[*]
Dr. Haitham Daghour[**]
Alaa Dayoub[***]

(Received 26 / 4 / 2021. Accepted 1 / 7 / 2021)

□ ABSTRACT □

The performance of the electrical power system is directly affected by the disturbance of power quality standards, and one of the most important of these disturbances that affect the performance of the power system is the voltage sag that affects the voltage of sensitive loads as it can lead to the generation of a large magnetic impulse current, system failure, increased losses, especially in industrial loads and thus increase the cost.

Dynamic Voltage Restorer DVR is one of the best and optimum methods used with the power system to reduce voltage sag. The optimal design of the dynamic voltage restorer with inverter control using a suitable design of the PI controller can improve the performance of the DVR by reducing the dynamic response time and thus reducing the sag voltage in the power system.

In this research study, we propose a DVR control technology using a PI controller with a serial and parallel controller to optimize the power quality. The proposed control technique can act as voltage compensation in a single-phase or three-phase system.

This study was carried out using Matlab simulation software to model the PI controller with a DVR to control the power system.

The results that we obtained in this study show the great superiority of the proposed control technique in improving the quality of power during periods of voltage sag.

Keywords: Voltage Sag, DVR, PI Controller, MATLAB,Power System.

[*] **Assistant Professor- Department of Electrical Power Engineering - Tishreen University- Latakia- Syria.**
[**] **Associate Professor- Department of Electrical Power Engineering - Tishreen University Latakia- Syria.**
[***] **PhD Student - Electrical Power Engineering Department - Tishreen University- Latakia- Syria.**

مقدمة:

مع ازدياد الطلب على الطاقة الكهربائية والتوسع في أنظمة القدرة تتولد ظروف غير مرغوبة في نظام القدرة مثل(تدلي الجهد، انخفاض الجهد، ارتفاع الجهد، انتفاخ الجهد،..) والتي تؤثر بشكل مباشر على جودة الطاقة الكهربائية[1]. يعرف تدلي الجهد على أنه انخفاض قيمة جهد النقل بين,0.1p.u و 0.9p.u من القيمة الفعلية لجهد النظام، حيث أن 80% من مشاكل جودة القدرة متعلقة بتدلي الجهد مما يجعلها واحدة من أكثر المشاكل التي تتم دراستها في مجال جودة القدرة الكهربائية[2]، علماً أن السبب الرئيسي لنشوء تدلي الجهد هو الزيادة اللحظية في تيار نظام القدرة وخاصة الناشئة من (تيارات اقلاع المحركات الحثية ذات عامل الاستطاعة المرتفع ، عطل خط مع أرضي، دارات القصر التي ترافع الاعطال ثلاثية الطور، البدء في تهييج المحولات) والذي يكون له تأثير سلبي على دارات التحكم الالكترونية أو على الكمبيوترات ونتيجة لذلك فقد يسبب حدوث تدلي الجهد عندما يصل الى 100ms الى توقف نظام الانتاج الى أكثر من ساعة[3]، والذي يؤدي بدوره الى تكاليف عالية وخاصة في التطبيقات الصناعية لهذا يجب معالجة مشكلة تدلي الجهد لتحسين جودة القدرة الكهربائية وزيادة استقرار النظام.

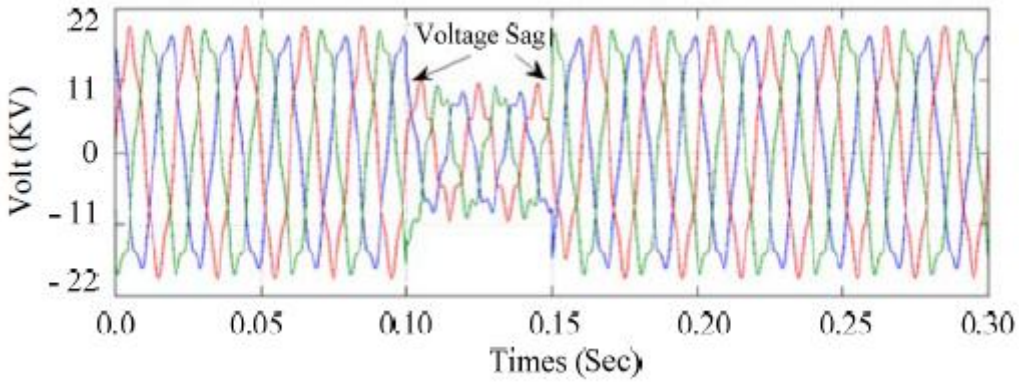
تدلي الجهد يمكن أن يكون متوازناً أو غير متوازناً وذلك حسب نوع العطل الحاصل في نظام القدرة [4] ، يظهر الشكل(1) اكتشاف تدلي الجهد لمدة تصل الى 50ms خلال بدء تهييج محولة طاقة.

هناك بعض الطرق التي تطبق لمعالجة تدلي الجهد مثل استخدام: المكثفات الثابتة، المعوض الساكن، تركيب وحدات عدم انقطاع التغذية UPS[5]، لكن هذه الطرق لاتحل مشكلة تدلي الجهد بشكل كامل بسبب عدم القدرة على التحكم بالقدرة الردية المعوضة فضلاً على الكلفة العالية لهذه التطبيقات.

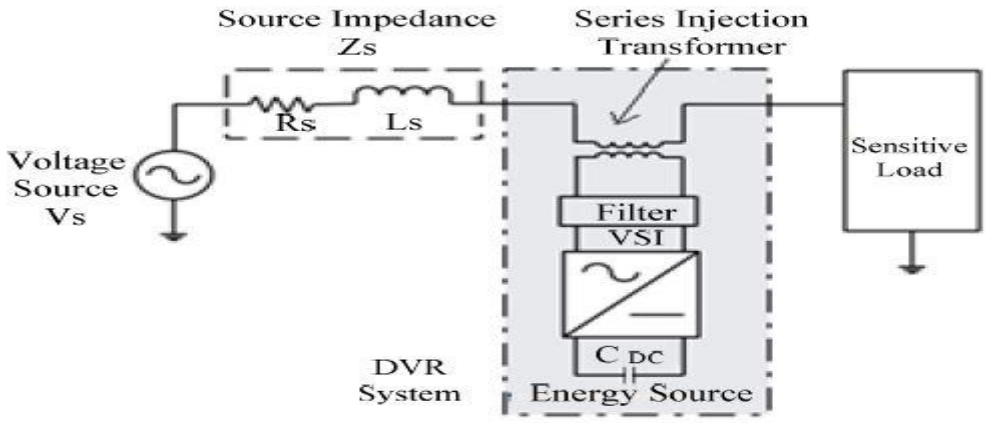
مرمم الجهد الديناميكي هو الطريقة الامثل لمعالجة تدلي الجهد وهو جهاز قدرة يوصل تسلسلياً مع نظام نقل القدرة يتميز بزمن استجابة عالي جداً مقارنة مع بقية التطبيقات المستخدمة لتخفيف تدلي الجهد وهو الجهاز الالكتروني الامثل الذي يعمل بالاعتماد على معدل عرض النبضة PWM للتحكم بالجهد. يظهر الشكل(2) مخطط DVR المتصل مع نظام نقل القدرة لتعويض تدلي الجهد.

توجد بعض أنظمة التحكم التي تستخدم مع DVR مثل (نظام التغذية الامامية، المخطط المتتالي لمتحكم التغذية العكسية للجهد والتيار) [6],[7].

تناقش هذه المقالة تخفيف تدلي الجهد في نظام القدرة من خلال استخدام متحكم PI مع DVR من خلال وصل المتحكم على التسلسل و على التفرع مع الانفيرتر المستخدم وتحسين جودة القدرة بالشكل الامثل.



الشكل(1) انخفاض الجهد الفعلي لمدة 50ms بسبب بدء تشغيل محول القدرة



الشكل (2) مخطط DVR التسلسلي لتعويض تدلي الجهد

يتألف DVR وفقاً للشكل (2) من الاجزاء الرئيسية هي: محولة حقن series injection transformer وأداة لتخزين القدرة Energy source، مكثف ثابت حيث تستخدم محولة الحقن بالإضافة لحقن الجهد في نظام القدرة أيضا في الحد من الاضطرابات من منبع الجهد الى الحمل [8]، في حين تستخدم أداة تخزين القدرة لتعويض القدرة أثناء حدوث تدلي الجهد كما تستخدم المرشحات الخاملة Filter لتخفيف التوافقيات في الجهد المحقون في النظام

ويوصل جهاز DVR على التسلسل بين جهد منبع التغذية(Voltage Source) ذو الممانعة Zs والحمل الحساس(Sensitive Load)

أهمية البحث وأهدافه:

أهمية البحث:

تكمن أهمية البحث في توضيح أهمية استخدام DVR في تحسين جودة القدرة الكهربائية وما حققه تعديل نظام التحكم PI المقترح من تحسين أداء عمل DVR وبالتالي تخفيف اضطرابات جودة القدرة الكهربائية التي تؤثر سلبا على التجهيزات الالكترونية الحساسة وتقليل الكلفة الاقتصادية للضياعات الناتجة عن هذه الاضطرابات.

أهداف البحث:

يهدف البحث الى تحسين أداء DVR ذي الحساسية العالية عن طريق تحسين نظام التحكم به بهدف تقليل زمن الاستجابة ودراسة النتائج التي يحققها نظام التحكم المقترح في تخفيف تدلي الجهد.

منهجية البحث:

تبنى الرؤى العلمية في الأبحاث والدراسات الحديثة على المنهج العلمي القائم على دراسة وتحليل الواقع المدروس والمتغيرات المتعلقة بتساؤلات الباحث، لذلك سيتم استخدام المنهج الوصفي ومنهج التحليل الكمي (القياسي).

طرائق البحث ومواده:

1- استراتيجيات تشغيل DVR

مرمم الجهد الديناميكي هو جهاز تسلسلي لتعويض تدلي الجهد في نظام القدرة الكهربائي حيث يعتمد المنطق الرئيسي لتشغيل DVR على حقن الجهد من خلال محولة تسلسلية[9].حيث عند الكشف عن أي انخفاض في جهد التغذية V_{source} يبدأ نظام التحكم في DVR بحقن الجهد V_{DVR} عبر محولة الحقن مثل جهد الحمل المطلوب V_{Load}، جهد DVR المحقون يعطى بالمعادلة التاليه:

$$V_{DVR} = V_{load} + Z_S I_{Line} - V_S \qquad (1)$$

حيث V_{DVR}جهد DVR المحقون، V_{Load} هو جهد الحمل المرغوب به.

Z_S : ممانعة خط النقل، I_{Lin} تيار الحمل، V_S جهد الحمل في ظروف العطل

عندما يكون النظام مستقر فإن جهد النظام يكون معادل لجهد الحمل ويكون جهد الحقن صغير جداً جداً لتعويض مفاقيد الخط والتي تعطى بالعلاقة $Z_S.I_{Line}$.

عمليات التشغيل في وحدة DVR تصنف كالتالي: وضع الحماية- وضع الاستعداد – وضع الحقن.

وضع الحماية يكون في حالة مفتاح التمرير bypass مفصول بين وحدة DVR ونظام القدرة حيث يتم حماية مكونات DVR خاصة عند حدوث قصر في دارة الحمل.

وضع الاستعداد يحدد عندما يكون جهد الحمل مساوي لجهد التغذية لذلك فإن المفاتيح الالكترونية للانفيرتر لن تعمل وتيار الحمل سوف يمر عبر ملفات أولي محول الحقن وتكون ملفات الثانوي مقصورة لمنع الجهد العالي الناتج في ملفات الثانوي [10].

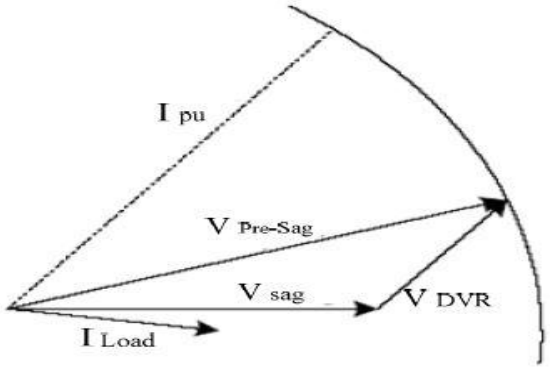
وضع الحقن يحدد بأنه عند حدوث اضطراب في جهد النظام فان DVR يحقن الجهد المطلوب من خلال محولة الحقن.

2-تقنيات تعويض الجهد في DVR

تصنف تقنيات تعويض الجهد في ثلاث طرق رئيسة توضح وفق التالي:

2-1- طريقة التعويض قبل تدلي الجهد

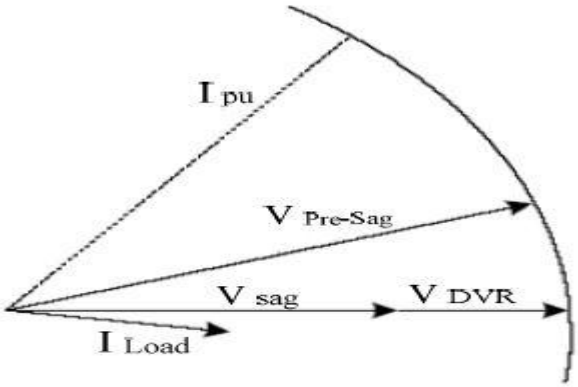
تستخدم هذه الطريقة مع الاحمال اللاخطية مثل الثايرستورات وأجهزة التحكم حيث يتم في هذه الطريقة تعويض قيمة الجهد وزاوية الطور[11]، كما هو مبين في الشكل(3) وتحتاج هذه الطريقة الى محولات حقن جهد مع جهاز تخزين طاقة ذو قدرة عالية.



الشكل(3) المخطط الشعاعي لطريقة التعويض قبل تدلي الجهد

2-2- طريقة التعويض في الطور

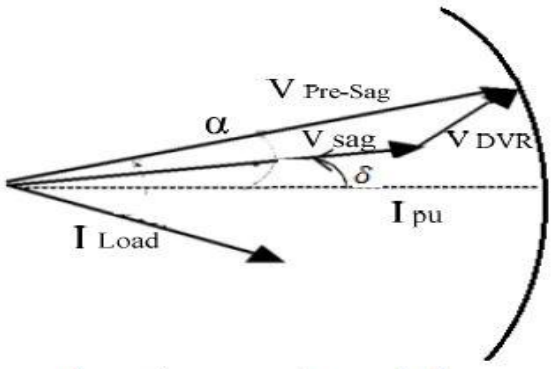
تستخدم هذه الطريقة للاحمال النشطة(الفعلية) التي تتطلب تعويض قيمة الجهد فقط من دون التأثير على زاوية الطور[12]، كما هو موضح في الشكل (4) وهي طريقة مناسبة للاحمال الخطية.



الشكل(4) تقنية التعويض في الطور

2-3- الطريقة الامثل لتحسين القدرة في الطور

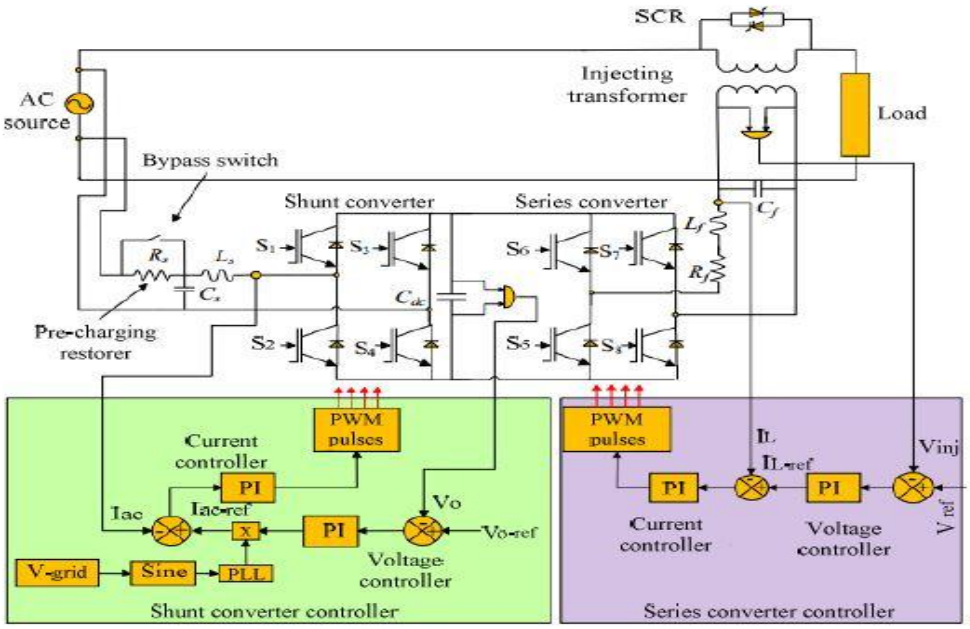
تستخدم هذه الطريقة لتقليل القدرة المستخدمة من قبل الاحمال الفعلية لتصبح أقل مايمكن أو تكون بالقرب من الصفر حيث ان هذه الطريقة تقلل من حجم أدوات تخزين القدرة[13]. يظهر الشكل(5) قيمة جهد الحمل الذي تمت استعادته في ظروف تدلي الجهد من خلال استخدام الطريقة الامثل لتحسين القدرة في الطور.



الشكل (5) طريقة التعويض الطورية المتقدمة

3- منطق التحكم في DVR

يعد نظام التحكم في DVRالتحدي الرئيسي في تصميمه حيث أن التشغيل الامثل لـ DVR أمر بالغ الاهمية للوصول الى دقة عالية واستجابة سريعة لمعالجة موجة الجهد في ظروف تدلي الجهد في نظام القدرة [14]، حيث أن إعدادات التحكم بـ DVR وآلية التشغيل تعتبر هي التحسين الرئيسي لاستجابة مثلى للDVR. تشغيل المتحكم PI يعتمد على وظيفة اشارة الدخل الفعلية التي ترسل الاشارة المطلوبة الى مولد عرض النبضة PWM للتحكم بجهد الانفيرتر وذلك عندما يحدث خلل في الجهد. نظام التحكم الشائع يحتوي على مكثف dc–link يمكن أن يكون هذا النظام على التسلسل أو على التفرع كما في الشكل(6). المتحكم بالانفيرتر التسلسلي يستخدم لحقن الجهد بشكل تسلسلي مع جهد الشبكة وفق اعدادات المتحكم PI[15]، في حين أن المتحكم التفرعي بالانفيرتر يستخدم للتحكم بجهدdc–link من خلال المتحكم PI ويستخدم أيضاً كوحدة تقويم لمعامل القدرة.



الشكل(6) نظام التحكم لـ DVR أحادي الطور مع انفيرتر تسلسلي وتفرعي

في الشكل (6) يتم توضيح نظام التحكم المقترح حيث تم وصل المتحكم PI على التسلسل مع الانفيرتر (seriese converter) وفق حلقة يتم فيها التحكم بالجهد بالاعتماد على قيمة جهد الحقن Vinj وعلى قيمة الجهد المرجعي Vref بالإضافة الى التحكم بالتيار بالاعتماد على قيمة تيار الحمل IL وعلى قيمة تيار الحمل المرجعي ILref ثم يكون ناتج خرج المتحكم إشارة يتم ارسالها معدل عرض النبضة PWM الذي يعمل على التحكم بنبضات قدح بوابات المفاتيح الالكترونية المستخدمة في الانفيرتر، كما يتم وصل المتحكم PI على التفرع أيضاً (shunt converter) مع الانفيرتر الا أنه في حلقة التحكم هذه يتم التحكم بالجهد من خلال الاعتماد على جهد خرج وصلة dc–link (Vo) وعلى قيمة جهد مرجعي Vo–ref بالإضافة للتحكم بالتيار بالاعتماد على قيمة تيار المنبع Iac وقيمة مرجعية لتيار المنبع Iac–ref.

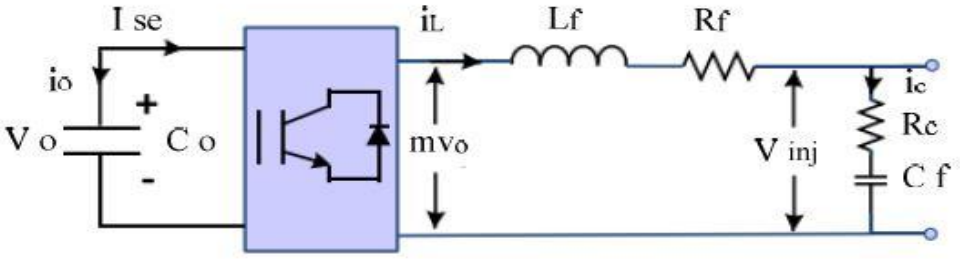
مع العلم أن الانفيرتر هو converter DC/AC يعمل على تحويل الطاقة المستمرة المخزنة في أدوات تخزين الطاقة الى طاقة متناوبة وذلك عند حدوث تدلي الجهد، ويتم حماية تجهيزات الـ DVR في حالة استقرار جهد الحمل بواسطة ثايرستورات SCR تتحمل جهود كبيرة ويكون عندها مفتاح التمرير Bypass switch مفصول.

3-1- تصميم المتحكم التسلسلي بالانفيرتر

يظهر الشكل(7) الدارة المكافئة للمتحكم التسلسلي بالانفيرتر، اعتماداً على قانون كيرشوف للجهد في هذه الدارة يكون عند ذلك mv_0 هو جهد الانفيرتر، V_{inj} هو الجهد المحقون في أولي المحولة وتيار مكثف المرشح i_c متعلق بالمعادلتين(2) و(3) [16] .

$$mv_0 = \text{iL. Rf} + \text{If}\frac{di_L}{dt} + V_{inj} \qquad (2)$$

$$V_{inj} = i_c R_c + \frac{1}{Cf}\int (i_c\, \text{dt}) \qquad (3)$$



الشكل(7) الدارة المكافئة لـ DVR مع متحكم تسلسلي بالانفيرتر

البارمترات في الشكل (7) يمكن تحديدها كالتالي:

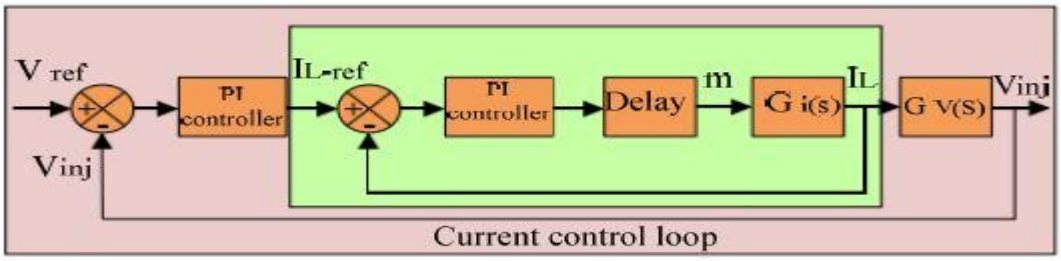
iL التيار الحثي، mv_0 دخل التحكم: Vinj جهد الحقن، V_0 جهد dc–link ، Cf سعة مكثف المرشح، Lf مفاعلة المرشح، Rf المقاومة الحثية للمرشح، Rc مقاومة مكثف المرشح [11–14].

بأخذ تحويل لابلاس للمعادلتين (2) و(3) يمكننا الحصول على المعادلات التالية:

$$\widehat{m}(s)vo = \widehat{iL}\,(s)(Rf + sLf) + \widehat{V_{inJ}}(s) \qquad (4)$$

$$\widehat{V_{inJ}}(s) = \widehat{iL}\,(s)\left(Rc + \frac{1}{sCf}\right) \qquad (5)$$

يظهر الشكل(8) المخطط الصندوقي للتحكم بالتيار الداخلي وجهد الخرج من خلال المتحكم التسلسلي بالانفيرتر



الشكل(8) المخطط الصندوقي لـ DVR مع متحكم تسلسلي بالانفيرتر

تعطى معادلة تابع النقل للمتحكم PI وفق التالي:

$$Hi(s) = Kp + \frac{Ki}{s} \qquad (6)$$

من المعادلتين (4)و(5) نستطيع الحصول على تابع تيار التحكم والذي يعطى بالعلاقة:

$$G_{ise}(s) = \frac{\widehat{\imath L}(s)}{\widehat{m}(s)} = \frac{sCfV_{dc}}{s^2\,LfCf + s(Rf + Rc)Cf + 1} \qquad (7)$$

في المعادلة(7) فإن المقاومة Rc تهمل لصغر قيمتها مقارنة مع قيمة المقاومة Rf . في منطق التحكم هذا هناك تأخير زمني في حلقة التحكم العكسية للتيار بسبب عملية التحويل من القيمة التناظرية الى القيمة الرقمية. التأخير الزمني Td يمكن أن يستخدم كما في المعادلة (8) مع الاخذ بعين الاعتبار التأثير التراكمي لهذا التأخير على وقت الاستجابة في ظروف تدلي الجهد. تابع النقل لمتحكم الـ DVR يمكن أن يحدد من المعادلة (5) ويصبح كما في المعادلة (9) [11-8].

$$G_d(s) = \frac{1}{1 + sTd} \qquad (8)$$

$$G_{vse}(s) = \frac{\hat{V}_{inj}(s)}{\hat{\imath}_C(s)} \qquad (9)$$

3-2- تصميم المتحكم التفرعي بالانفيرتر

يبين الشكل(9) الدارة المكافئة للمتحكم التفرعي بالانفيرتر المستخدم مع DVR، اعتماداً على قانون كيرشوف لهذه الدارة [16-10] ،حيث mv_0 هو جهد الانفيرتر و Vin جهد الحقن في أولي المحولة، C_0 هي سعة dc-link، Rs,Ls هي البارمترات الحثية، i_0 تيار المكثف الخاص بالمرشح. الدارة التفرعية يمكن نمذجتها على أساس المعادلتين(10) و(11)

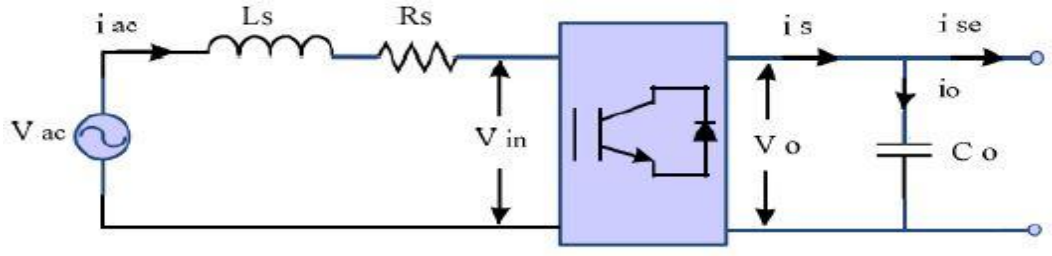
$$V_{ac} = i_{ac}R_S + L_S\frac{di_{ac}}{dt} + V_{in} \qquad (10)$$

$$V_0 = C_0\int(i_0\,dt) \qquad (11)$$

وبأخذ تحويل لابلاس للمعادلات(10) و(11) نحصل على المعادلتين (12) و(13)

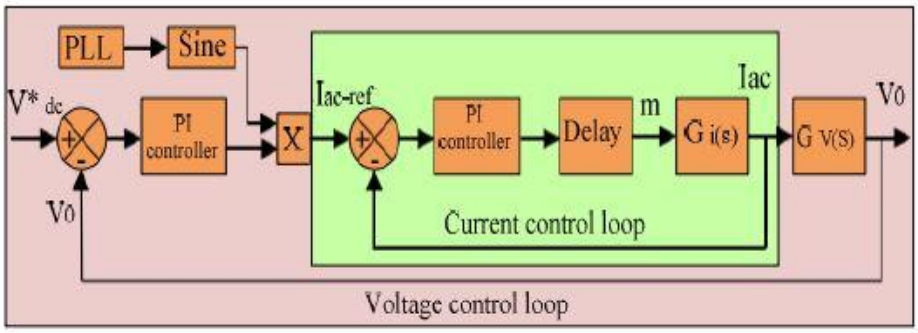
$$V_{ac} = \widehat{\imath_{ac}}\,(R_S + SL_S) + \widehat{V_{inJ}}(s) \qquad (12)$$

$$\widehat{V_0}(s) = \frac{1}{sCo}\,\widehat{\imath c}\,(s) \qquad (13)$$



الشكل(9) الدارة المكافئة لـ DVR مع انفيرتر تفرعي

المتحكم التفرعي بالانفيرتر مع DVR يمكنه المحافظة على جهد وصلة dc–link عند قيمة ثابتة أثناء تدلي الجهد [11–16]. يظهر الشكل(10) المخطط الصندوقي لتيار الدخل وجهد الخرج للمتحكم التفرعي بالانفيرتر حيث جهد خرج المتحكم يتم مقارنته مع جهد مفاعلة الانفيرتر التفرعي لتوليد الاشارة المرجعية وهذه الاشارة المرجعية تحافظ على جهد dc–link عند قيمة ثابتة.

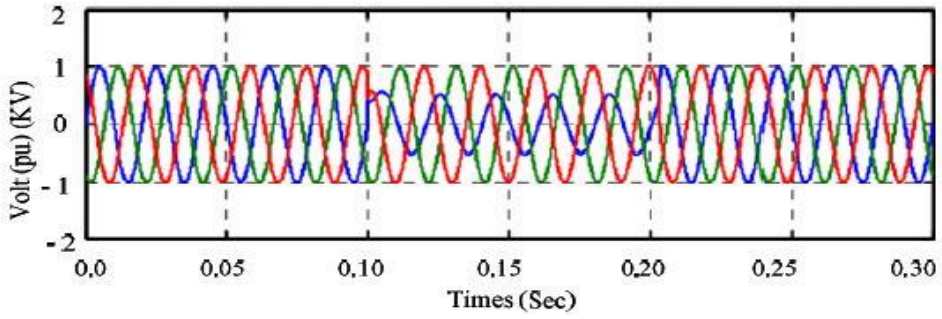


الشكل(10) المخطط الصندوقي لـ DVR مع متحكم تفرعي بالانفيرتر

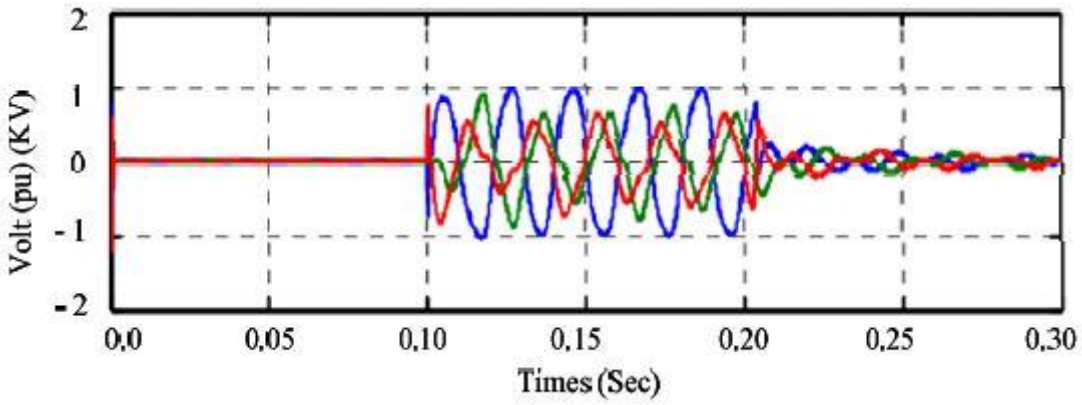
4–نموذج محاكاة DVR

في هذا البحث قمنا بمحاكاة عمل نظام التحكم المقترح في نظام تغذية 400v وترددz50H كما في الشكل(2) في بيئة المحاكاة ماتلاب سيمولينك. نظام DVR المستخدم تم توصيله على بداية خط تغذية حيث مقاومة منبع الجهد 0.08Ω ، جهد بار DC يصل حتى 150v ، نسبة تحويل محولة الحقن N=1:1 ، مقاومة DVR و مفاعلة المرشح هي على التوالي 7mΩ,10mH وبارامترات ممانعة خط النقل تعطي كالتالي Rs=0.01Ω,Ls=1mH. يظهر الشكل(11) حالة عطل أحادي الطور، في أثناء ذلك سيبدأ DVR بالعمل على تعويض الجهد عن طريق حقن الجهد في نظام القدرة كما هو موضح بالشكل(12) ونتيجة حقن DVR للجهد المفقود في الخط سيؤدي ذلك الى الحفاظ على قيمة الجهد المغذي للأحمال وهذا ما يوضحه الشكل(13).

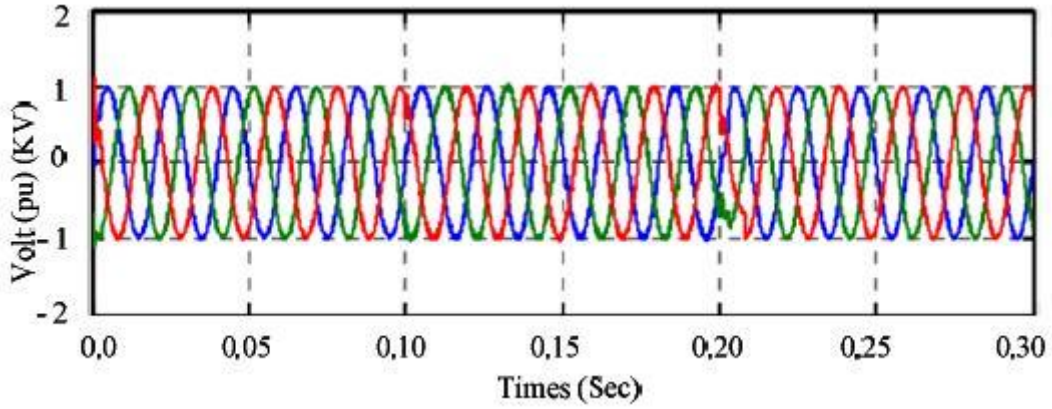
في حالة عطل ثلاثي الطور في نظام القدرة، فإن تدلي الجهد سوف يتم تحديده في جهد الاطوار الثلاثة كما هو موضح بالشكل(14) عندها يبدأ DVR بحقن الجهد في النظام كما هو مبين في الشكل(15) قيمة الجهد المحقون سوف تحافظ على استقرار النظام لتمنع الحمل من الاضطراب كما هو مبين في الشكل(16).



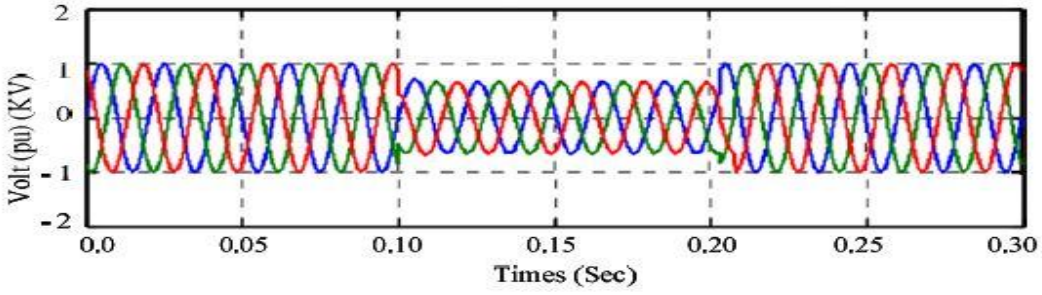
الشكل(11) تدلي جهد أحادي الطور نتيجة عطل على طور واحد



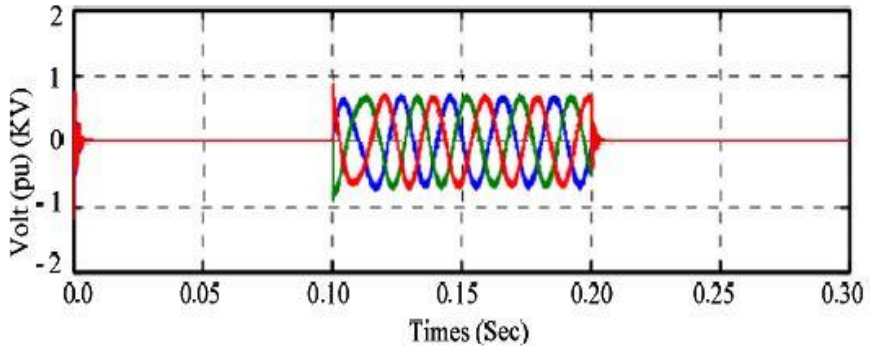
الشكل(12) جهد حقن DVR بسبب تدلي الجهد



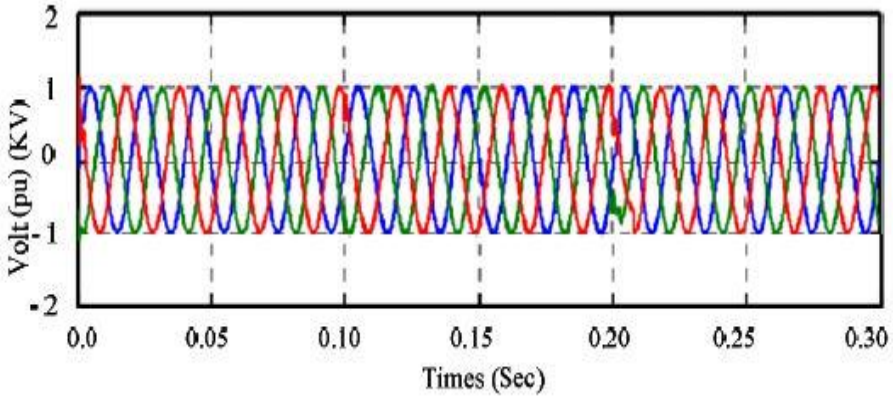
الشكل(13) جهد الحمل بعد تعويض تدلي الجهد أحادي الطور بواسطة DVR



الشكل(14) تدلي جهد ثلاثي الطور بسبب حدوث عطل ثلاثي الطور



الشكل(15) جهد DVR المحقون بسبب تدلي الجهد ثلاثي الطور



الشكل(16) جهد الحمل بعد تعويض تدلي الجهد ثلاثي الطور بواسطة DVR

الاستنتاجات والتوصيات:

– زمن استجابة DVR هو التحدي الرئيسي لمنع اضطراب الحمل، هذا المقال العلمي قدم تصميماً مطوراً للتحكم بـ DVR من خلال استخدام متحكم PI كمتحكم تسلسلي بالانفيرتر و كمتحكم تفرعي أيضاً وبالاعتماد على قانون كيرشوف للجهد وتحويل لابلاس فإن حلقة التحكم بالتيار سوف تؤثر على التأخير الزمني كاستجابة لتدلي الجهد كما أن اشارة التحكم الناتجة سوف تحقن اشارة جهد مثالي خلال الانفيرتر.

– من خلال هذا البحث تبين أن التصميم المقترح للتحكم يDVR عالج مشكلة التأخير الزمني حتى وصل تقريبا الى الصفر من خلال مجمع اشارة الخطأ والتي هي الفرق بين قيمة الخرج الفعلي المتحسس له والقيمة المتكاملة.

– تبين أن مرمم الجهد الديناميكي DVR ذي التصميم الأمثل يشكل تقنية فعالة لمعالجة مشكلة تدلي الجهد في نظم القدرة الكهربائية.

– أخيراً، نوصي باستخدام DVR ذي تصميم مناسب في نظم القدرة الكهربائية لحماية الاحمال الحساسة وخاصة الصناعية منها من الوصول الى الانقطاع الدائم بسبب تدلي الجهد وتحسين جودة نظام القدرة الكهربائي.

References:

[1] Vinay A., Praveen J. and Tara S. *Mitigation of Voltage Sag and Power Quality Improvement with an Optimum Designed Dynamic Voltage Restorer*. IEEE, (2016), 978-1-4673-8888-7/16.

[2] Ali Eltamaly, Abou-Hashema El-Sayed, Yehia. S. and Amer A. Elghaffar. *Mitigation Voltage Sag Using DVR with Power Distribution Networks for Enhancing the Power System Quality*. IJEEAS Journal. ISSN, Vol.1 No.2.Oct.2018, (2018), 2600 –7495.

[3] Ali Eltamaly; Yehia S; Abou-Hashema El-Sayed and Amer A.Elghaffar. *Multi-Control Module Static VAR Compensation Techniques for Enhancement of Power System Quality*. Annals of Faculty Engineering Journal. ISSN, (2018), 2601–2332, Aug.2018.

[4] Nguyen Minh; Bach Kh. and Pham Phu.*Comparative simulation results of DVR and D-STATCOM to improve voltage quality in distributed power system*, ICSSE - Conf, Ho Chi Minh City.Vietnam. DOI: 10.1109/ICSSE.2017.8030864, (2017).

[5] Amer A. Elghaffar; Ali Eltamaly;Y. S. and Abou-Hashema El-Sayed.*Enhancement of Power System Quality Using Static Synchronous Compensation (STATCOM)*. IJMEC, EISSN ,2305- 0543 Vol. 8(30), Oct. 2018, (2018). PP. 3966-3974.

[6] Sang-Joon Lee et.al. *A Novel Control Method for the Compensation Voltages in Dynamic Voltage Restorers*. APEC-Conf '04. Nineteenth Annual IEEE. DOI: 10.1109/APEC.2004.1295870. (2005).

[7] S. Lee Y. Chae; J. Cho; G. Choe; H. Mok; D. Jang. *A New Control Strategy for Instantaneous Voltage Compensator Using 3-Phase PWM Inverte*, Conf. Rec. IEEE-PESC DOI: 10.1109/PESC.1998.701907, (1998). pp. 248-254.

[8] Bibhu Prasad Ga, Samprati Mohanty, Prashanta Kumar Rana and Preeti Kum. *Compensation of voltage sag using DVR with PI controller. Int*. Conf. (ICEEOT), India. DOI: 10.1109/ICEEOT.2016.7755068, (2016).

[9] Amit m; shirazul I; sandeep A; yogesh sona and sanjay tung. *Design and control of single-phase dynamic voltage restorer*. IASJ, Vol.42,No. 8, Aug.2017, (2017). pp. 1363–1375.

[10] S.Srinivasa R; P.Siva K and Sai B. *Mitigation of voltage sag, swell and THD using Dynamic Voltage Restorer with Photovoltaic System*. (ICAMMAET) Conf, India,DO10.1109/ICAMMAET.2017.8186668, (2017).

[11] S. S. Choi; J. D. Li and D. Mahinda Vil. *A generalized voltage compensation strategy for mitigating the impacts of voltage sags/swells*. IEEE, Trans. P. D. DOI: 10.1109/TPWRD.2005.848442, (2005).

[12] ZhanC; R. chan; Arulam A,;Fitzzer C; Barnes M and Jenk N. *Control of a battery supported dynamic voltage restorer*. IEE proceedings onTransmission and Distribution,(2002). pp.533-542.

[13] Ezoji H; Sheik. A; Tabasi M and Saeednia M.M. *Simulation of Dynamic Voltage Restorer Using Hysteresis Voltage Control*.European Journal of Scientific Research (EJSR),(2009). pp.152-166.

[14] Hubana T; Begić E; Šarić M.*Voltage Sag Propagation Caused by Faults in Medium Voltage Distribution Network*. I. IAT Lecture Notes in Networks and Systems, vol 28. Springer, (2018).

[15] Abaei E; Kangarlu M F and Sabahi M.Dyna*mic voltage restorer based on multilevel inverter with adjustable dc-link voltage*.IET. Power Electron. 7(3): 576–590. doi: 10.1049/iet-pel.2013.0179,(2014).

[16] Remya; V.K; Parthiban, P; Ansal, V. et al. *Single-Phase DVR with Semi-Z-Source Inverter for Power Distribution Network*. AJSE Journal. June. 2018, Vol. 43, Issue 6, (2018).