

## تحسين استقرار الجهد في شبكات نقل القدرة باستخدام المعوض المتواقت الساكن اعتماداً على المنطق الضبابي

د. فيصل شعبان\*  
د. زياد هرموش\*  
عماد الدين الصاري\*\*

تاريخ الإيداع 14 / 7 / 2016. قُبل للنشر في 11 / 5 / 2017

### □ ملخص □

إنّ تغيرات الجهد لا يمكن التسامح بها بالنسبة للتجهيزات الحساسة المستخدمة في المنشآت الصناعية الحديثة مثل المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) والروبوتات وأحمال الإنارة وغيرها من الأجهزة والمعدات. لذلك لا بد من استخدام الوسائل المناسبة بحيث يتم ضبط الجهد والتحكم به. في هذه الدراسة استخدمنا المعوض المتواقت الساكن ( $\pm 25\text{Mvar}$ ) من أجل تحسين استقرار الجهد في شبكة نقل قدرة (66 Kv) وبإستطاعة (1500MV.A). ينظم المعوض المفروض جهد شبكة النقل في حال تغير الجهد بمقدار ( $\pm 7\%$ ). حيث تم باستخدام برنامج (MATLAB/Simulink) وضع نموذج لنظام نقل قدرة ذو جهد (66 Kv) وإستطاعة (1500MV.A) ونموذج للمعوض المتواقت الساكن الذي يقوم بعملية تحسين استقرار الجهد، وتمت عملية التحكم في المعوض باستخدام المتحكم التناسبي التكاملي (Proportional Integrative Controller) مع مراقب (Fuzzy Logic) لأجل ضبط بارامترات متحكم (PI) في منظم الجهد المستمر خلال الحالات العابرة لتغير الحمولة مما يحقق استقرار أكبر في الجهد المستمر على مكثفات المعوض المتواقت الساكن. تم عرض وتحليل نتائج عملية النمذجة، حيث توضح هذه الدراسة إمكانية المعوض المتواقت الساكن في تنظيم جهد نظام القدرة من خلال التحكم في سريان الاستطاعة الردية عبر نظام القدرة، مع تحقيق استقرار أكبر في الجهد المستمر خلال الحالات العابرة المرتبطة بتغير الحمولة.

**الكلمات المفتاحية:** المعوض المتواقت الساكن، مراقب المنطق الضبابي، المتحكم التناسبي التكاملي، استقرار

الجهد.

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

## Enhancement of voltage Stability in power transmission networks using Static Compensator (STATCOM) based on Fuzzy logic

Dr. Faisal Shaaban \*  
Dr. Ziyad Harmoosh \*  
Emad Addeen Alsari \*\*

(Received 14 / 7 / 2016. Accepted 11 / 5 / 2017)

### □ ABSTRACT □

The fluctuation of voltage cannot be tolerant for equipment in modern industrial plants such as lighting loads, PLC, robots, and another equipment, which exist in transmission and distribution systems, so we should use proper aids to regulate voltage and control it.

In this study a ( $\pm 25\text{Mvar}$ ) Static Synchronous Compensator (STATCOM) is used to enhance voltage stability in a (66 kv, 1500MV.A) power transmission network. The STATCOM in this study regulates the voltage of the transmission network for changing in voltage ( $\pm 7\%$ ) from the nominal value. A model of the power transmission system and another model of the STATCOM device, which will enhance the stability of voltage are designed in MATLAB/Simulink. And the control of (STATCOM) is achieved by using a Proportional Integrative (PI) controller with Fuzzy Logic Supervisor to adjust the parameters in PI controller in DC voltage regulator during transient states of load changing which gives more stability in DC voltage. The results of the simulation are shown. This study demonstrates the ability of STATCOM for regulating the voltage of the transmission system by injecting and absorbing reactive power from the power system, and the DC voltage be more stability by using Fuzzy Logic supervisor.

**Key words:** Static synchronous compensator (STATCOM), Fuzzy Logic Supervisor, PI Controller, Voltage Stability.

---

\*Professor in the Department of PowerElectrical Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

\*\*Postgraduate, Department of Power Electrical Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

**مقدمة:**

إنّ تقلبات الجهد لا يمكن التسامح بها بالنسبة للتجهيزات الحساسة المستخدمة في المنشآت الصناعية الحديثة مثل المتحكمات المنطقية القابلة للبرمجة (PLC) والروبوتات وأحمال الإنارة وغيرها من الأجهزة والمعدات. لذلك لا بد من استخدام الوسائل المناسبة بحيث يتم ضبط الجهد والمحافظة على استقراره. طرحت تقنيات متعددة في هذا المجال فاستخدمت خوارزميات فصل الحمل وذلك بناءً على قياسات مستمرة لكل من الجهد والتردد حيث يتم فصل الحمل إذا وصل الجهد والتردد إلى أقل من المستوى المطلوب [1]، واستخدمت مثبتات أنظمة القدرة لتحسين استقرار الجهد وذلك من خلال التحكم في أنظمة التهيج للمولدات والتي تحقق ضبط لجهد الشبكة في حالة التغيرات الصغيرة [2]، ثم إنّ التطور السريع في صناعة الكترونييات القدرة عالية الاستطاعة جعل من أنظمة نقل التيار المتناوب المرنة (Flexible Alternating Current Transmission Systems) وسائل فعالة من أجل استخدامها في تطبيقات أنظمة القدرة فاستخدمت المكثفات التسلسلية المتحكم بها ثايرستورياً من أجل تحسين استقرار الجهد والاستقرار العابر لأنظمة القدرة من خلال حقن استطاعة ردية سعوية فقط وبشكل تسلسلي عبر خط النقل [3-4]، واستخدم المعوض الردي الساكن من أجل تحسين استقرار الجهد وتحسين هامش استقرار أنظمة القدرة من خلال تبادل استطاعة سعوية وتحريضية و بشكل تفرعي مع نظام القدرة [5-6]، واستخدم متحكم سريان الاستطاعة الأوحد لتحقيق استقرار أنظمة القدرة والمحافظة على استقرار الجهد من خلال حقن استطاعة ردية بشكل تسلسلي وتفرعي [7-8]، و يعتبر المعوض المتواقت الساكن (STATCOM) واحداً من أجهزة (FACTS) الأكثر أهمية والذي يلعب دوراً هاماً في تنظيم الجهد وتحسين استقرار أنظمة القدرة من خلال التحكم في سريان الاستطاعة الردية في نظام القدرة. يتم توصيل المعوض المتواقت الساكن بشكل تفرعي إلى نظام القدرة ويعتمد على مبدأ أساسي حيث تولد مبدلة مصدر الجهد (والتي تعتبر أحد المكونات الأساسية لجهاز STATCOM) جهد متناوب ثلاثي الطور متحكم به خلف مفاعلة تسريب المحولة ولذلك فإنّ اختلاف الجهد عبر مفاعلة التسريب ينتج استطاعة ردية يتم تبادلها بين نظام القدرة والمعوّض المتواقت الساكن [9]، العديد من طرق التحكم تم طرحها من أجل التحكم في جهاز (STATCOM) للحصول على أداء جيد مثل متحكم PI والذي يتميز في أنّه بسيط وسهل التصميم ولكن من مساوئ هذا المتحكم أنه يحتاج إلى نموذج رياضي دقيق للنظام المدروس [10-11]، في حين أن متحكم المنطق الضبابي لا يحتاج إلى نموذج رياضي للنظام وإنما يعتمد على قواعد لغوية ويمكنه التعامل مع الأنظمة الخطية وغير الخطية ويقدم أداء جيد في حال تغير شروط تشغيل النظام [12-13].

**أهمية البحث وأهدافه:**

تكمن أهمية البحث في:

زيادة القدرة التمريرية لخطوط النقل.

زيادة هامش التحميل وهامش الاستقرار لأنظمة القدرة.

ويهدف البحث إلى ضبط جهد نظام نقل القدرة عند القيمة الإسمية في حالة تغير الحمل (أو تغير جهد التوليد)

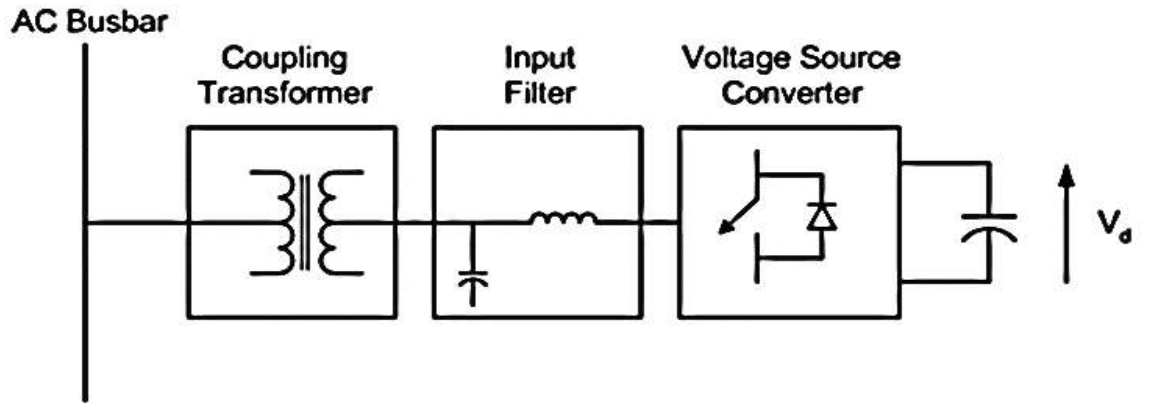
مع تحقيق استقرار أكبر في الجهد المستمر على مكثفات المعوض المتواقت الساكن.

## طرائق البحث ومواده:

1- تعريف أجهزة (FACTS): هي أجهزة إلكترونية عالية الاستطاعة تعتمد في تركيبها على مفاتيح إلكترونية نصف ناقلة ذاتية التبديل مثل: IGBTs، GTOs، IGCTs. الهدف الرئيسي من هذه الأجهزة هو تزويد نظام القدرة الكهربائي الذي يتم ربط هذه الأجهزة إليه باستطاعة رديئة متحكم بها بشكل دقيق وبسرعة عالية، وبالإضافة إلى المفاتيح الإلكترونية فإن أجهزة (FACTS) تعتمد على عناصر تخزين الطاقة الكهربائية (المكثفات والمفاعلات) [14].

2- تعريف جهاز (STATCOM): هو جهاز تفرعي من أجهزة (FACTS). ويبين الشكل (1) تركيب جهاز (STATCOM) ويتكون بشكل أساسي من: أجهزة تخزين الطاقة الكهربائية (مكثفات): وتلعب هذه المكثفات دور مصدر الجهد المستمر. مبدلة مصدر الجهد: تقوم هذه المبدلة بتحويل الجهد المستمر على المكثفات إلى جهد متناوب ثلاثي الطور متحكم به.

مترشح LC: وهو عبارة عن مفاعلات ومكثفات يتم ربطها بين مبدلة مصدر الجهد ومحولة الربط من أجل ترشيح التوافقيات الناتجة في موجة الجهد المتناوب. محولة ربط: تربط مبدلة مصدر الجهد مع نظام القدرة ويسبب اختلاف الجهد عبر مفاعلة تسريب هذه المحولة تبادل للاستطاعة الرديئة بين نظام القدرة والمعوّض المتواقت الساكن [14].



الشكل (1) تركيب جهاز (STATCOM)

## 3- مبدأ عمل جهاز (STATCOM):

يتبادل جهاز (STATCOM) الاستطاعة الفعلية والرديئة مع نظام القدرة وفقاً للمعادلات التالية:

$$P = \frac{V_1 V_2}{X} \sin \delta \quad (1)$$

$$Q = \frac{V_1 (V_1 - V_2)}{X} \cos \delta \quad (2)$$

حيث:

$V_1$ : جهد خط - أرض على الطرف الأولي لمحولة الربط.

$V_2$ : جهد خط - أرض على الطرف الثانوي لمحولة الربط.

$X$ : مفاعلة محول الربط والمرشحات.

$\delta$ : زاوية الجهد  $V_1$  بالنسبة للجهد  $V_2$ .

في شروط التشغيل العادية تكون الزاوية ( $\delta=0$ ) والجهد  $V_1$  على اتفاق بالطور مع الجهد  $V_2$  وعند ذلك تكون الاستطاعة الفعلية المتبادلة بين نظام القدرة الكهربائي وجهاز (STATCOM) معدومة، ويتبادل جهاز (STATCOM) في هذه الحالة مع نظام القدرة الكهربائي فقط استطاعة ردية.

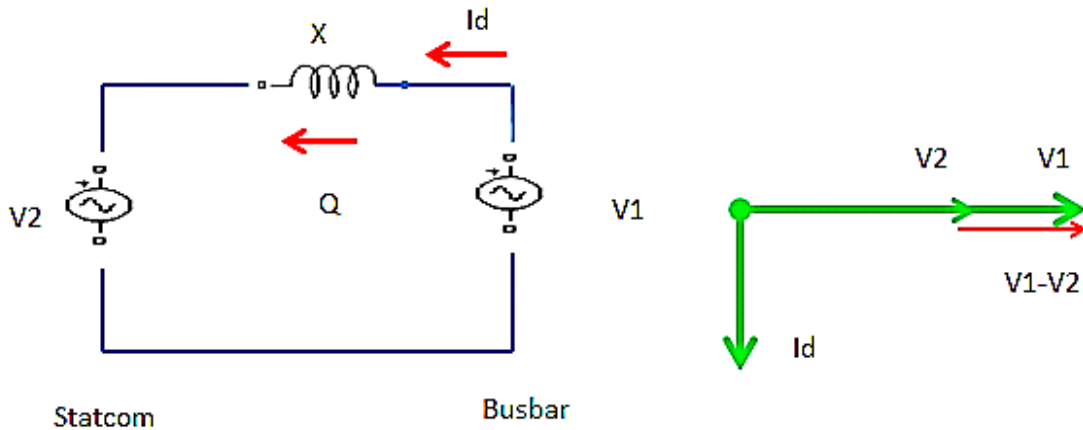
كمية الاستطاعة الردية الممتصة من نظام القدرة أو المحقونة فيه تعطى بالعلاقة:

$$Q = \frac{V_1(V_1 - V_2)}{X} \quad (3)$$

في الحالة الثابتة يكون الجهد  $V_2$  مزاحا قليلا عن الجهد  $V_1$  لتعويض الضياعات الفعلية في مبدلة مصدر الجهد وفي محولة الربط ولكي يسمح للمكثف بالشحن [14].

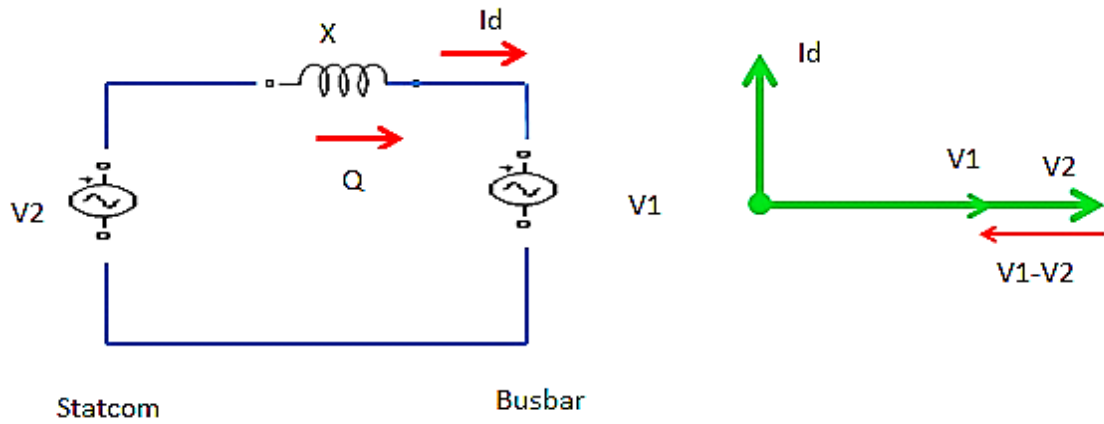
4- أنظمة عمل جهاز (STATCOM): يعمل جهاز (STATCOM) وفقا لنظامين أساسيين هما النظام الردي السعوي والنظام الردي التحريضي.

إذا كان الجهد  $V_2$  أقل من الجهد  $V_1$  عندها فإنَّ الاستطاعة الردية  $Q$  تسري من  $V_1$  إلى  $V_2$  (من نظام القدرة إلى جهاز STATCOM) عبر محولة الربط، وجهاز (STATCOM) يعوض الزيادة في الجهد بامتصاص استطاعة ردية ويعمل جهاز (STATCOM) في هذه الحالة وفقا للنظام الردي التحريضي كما هو مبين في الشكل (2).



الشكل (2) عمل المعوض المتوافقت الساكن في النظام الردي التحريضي

أما إذا كان الجهد  $V_2$  أعلى من الجهد  $V_1$  عندها فإنَّ الاستطاعة الردية  $Q$  تسري من  $V_2$  إلى  $V_1$  (من جهاز STATCOM إلى نظام القدرة) وجهاز (STATCOM) يعوض الانخفاض في الجهد بحقن استطاعة ردية سعوية في نظام القدرة ويعمل جهاز (STATCOM) في هذه الحالة وفق النظام الردي السعوي [14]. كما هو مبين في الشكل (3).



الشكل (3) عمل المعوض المتواقت الساكن في النظام الردي السعودي

## 5- وصف المتحكم في مبدلة مصدر الجهد:

يبين الشكل (4) نظام التحكم في مبدلة مصدر الجهد لجهاز (STATCOM) ويتكون من:

{Phase Locked Loop (PLL)}: والتي تواقّت الجهود الثلاثية الطور ( $V_2$ ) على خرج المبدلة مع العبارات الصفرية للمركبة الأساسية لجهد الطور (A) للحصول على الزاوية ( $\theta = \omega t$ ) وهذه الزاوية تستخدم لحساب المركبات على المحاور (d,q) من الجهد الثلاثي الطور والتيارات الثلاثية الطور.

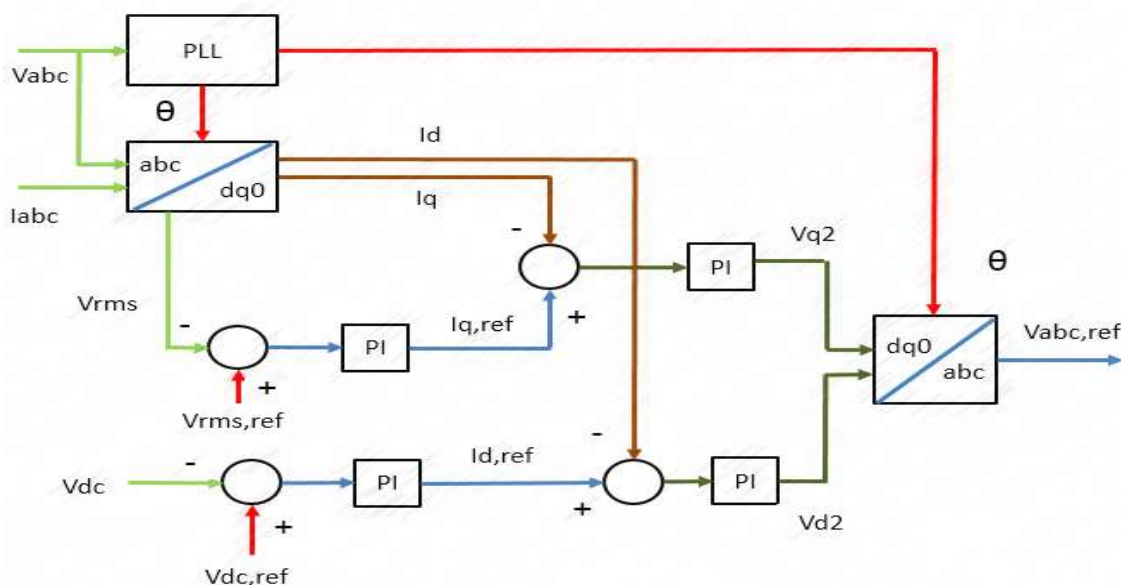
نظام قياس: يقيس المركبات على المحاور (d,q) لجهد التتابع الموجب وكذلك للتيارات ليتم التحكم بها وكذلك الأمر بالنسبة للجهد المستمر.

حلقة تنظيم خارجية مكونة من منظم جهد (AC) ومنظم جهد (DC)، خرج منظم جهد (AC) هو التيار المرجعي ( $I_{qref}$ ) والذي يقارن مع التيار ( $I_q$ ) في منظم التيار من أجل التحكم في سريان الاستطاعة الرديّة، وخرج منظم جهد (DC) هو التيار المرجعي ( $I_{dref}$ ) والذي يقارن مع التيار ( $I_d$ ) في منظم التيار من أجل التحكم في سريان الاستطاعة الفعلية.

حلقة تنظيم داخلية مكونة من منظم تيار:

منظم التيار يتحكم بمطال وزاوية الجهد المولد من قبل مبدلة مصدر الجهد ( $V_{2d}, V_{2q}$ ) من التيارات ( $I_{qref},$

$I_{dref}$ ) الناتجة من منظم الجهد (DC) ومنظم الجهد ال(AC) على التوالي [15].



الشكل (4) مخطط عملية التحكم في المعوض المتواقت الساكن

### 6-مراقب (Fuzzy Logic):

يفضل استخدام متحكم (PI) لتنظيم الجهد المستمر على المكثفات حيث أن وجود الفعل التكاملي يضمن خطأ حالة ثابتة مساوي للصفر ولكن في حالة تغير جهد التوليد يحدث انحراف للجهد المستمر عن القيمة الإسمية مما يتطلب إعادة ضبط قيم الريح التناسبي والتكاملي لمتحكم (PI) وبدلاً من تعديل عملية التحكم بشكل كامل يكون من الملائم استخدام مستوى إضافي من التحكم من خلال مراقبة قيم الريح باستخدام تقنية المنطق الضبابي. تم تصميم مراقب المنطق الضبابي بحيث يعمل على تخميد التموج الحاصل في موجة الجهد المستمر خلال الفترة العابرة لتغيير جهد التوليد وحالما تستقر قيمة الجهد المستمر فإن قيم الريح لمتحكم (PI) تبقى ثابتة عند قيمة الحالة الثابتة [15].

يتكون مراقب المنطق الضبابي من:

➤ الدخل والخرج (Input and Output):

إشارة الدخل هي القيمة العددية المقاسة التي يعتمد عليها مراقب المنطق الضبابي في تحديد فعل التحكم، ويمثل فعل التحكم الذي يقدمه مراقب المنطق الضبابي في إشارة الخرج. إشارات الدخل لمراقب (Fuzzy Logic) المفروض هما إشارة الخطأ في الجهد المستمر والتغير في إشارة الخطأ:

$$\text{error}(i) = V_{dc,ref} - V_{dc}(i) \quad (4)$$

$$\text{derror}(i) = \text{error}(i) - \text{error}(i-1) \quad (5)$$

حيث:

$V_{dc,ref}$ : القيمة المرجعية للجهد المستمر.

$V_{dc}(i)$ : الجهد المستمر في التكرار (i).

$\text{error}(i)$ : إشارة الخطأ في التكرار (i).

$\text{Derror}(i)$ : التغير في إشارة الخطأ في التكرار (i).

خرج مراقب (Fuzzy Logic) هو التغير في الريح التناسبي ( $DK_p$ ) والتكاملي ( $DK_i$ ) وتصبح قيم الريحين:

$$K_p = K_{p,ref} + DK_p \quad (6)$$

$$K_i = K_{i,ref} + DK_i \quad (7)$$

حيث:  $K_{i,ref}, K_{p,ref}$  قيم الريح التناسبي والتكاملي خلال الحالة الثابتة [15].

➤ عملية التضييب (Fuzzification):

يتم في هذه المرحلة تعديل البيانات المدخلة إلى مراقب المنطق الضبابي إلى الشكل الذي يمكن فيه استخدامها في آلية الاستدلال، حيث يتم في هذه المرحلة أخذ إشارات الدخل العددية ويتم تحديد قيم العضوية (معاملات الانتماء) لها بحسب تابع العضوية الذي تقع إشارات الدخل ضمن مجاله.

تتابع عضوية الدخل النوعية هي التابع المثلثي والتابع الرباعي (شبه المنحرف) و التابع الأسّي [15]. في مراقب (Fuzzy Logic) المفروض للتحكم في الجهد المستمر تم اختيار (7) توابع عضوية مثلثية لكل من إشارة الخطأ والتغير في إشارة الخطأ وهي:

NL (Negative Large), NM (Negative Medium), NS (Negative Small),

.Z (Zero), PS (Positive Small), PM (Positive Medium), PL (Positive Large)

وتم اختيار (4) توابع عضوية للتغير في الريح التناسبي ( $DK_p$ ) هي:

S (Small), Z (Zero), M (Medium), L (Large).

وتم اختيار (3) توابع عضوية للتغير في الريح التكاملي ( $DK_i$ ) هي:

Z (Zero), SKi (Small Ki), LKi (Large Ki).

تم ضبط توابع عضوية الدخل بحسب متطلبات العملية المتحكم بها وهي (ضبط الجهد المستمر على

المكثفات).

➤ آلية الاستدلال (Inference Mechanism):

الوظيفتين الأساسيتين لآلية الاستدلال هما:

أ - بالاستناد إلى توابع العضوية المفعلة في كل من إشارة الخطأ والتغير في إشارة الخطأ يتم تحديد مجموعة القواعد التي يجب أن تطبق على حالة النظام الحالية.

ب - حالما يتم تحديد القواعد فإن فعل التحكم يتم بناء على قيم العضوية، حيث يتم في آلية الاستدلال

أيضا تحديد قيمة العضوية الأمثل لكل قيمة في إشارة الدخل [15].

➤ أساس القواعد (Rule Base):

يعد وضع القواعد الجزء الحيوي والأهم عند تصميم مراقب المنطق الضبابي وهي عبارة عن مجموعة من

القواعد اللغوية المنطقية في صيغة:

If.....And....Then

وعن طريق هذه القواعد يتم تحديد فعل التحكم في آلية الاستدلال ويتم وضع القواعد لمراقب المنطق الضبابي

بعد الأخذ بالاعتبار النقاط التالية:

أ - إذا كان الخطأ كبيرا والتغير في الخطأ يبين أن الجهد المستمر ينحرف بعيدا عن القيمة المرجعية

عند ذلك يتم زيادة قيمة الريح التناسبي ( $DK_p$ ).

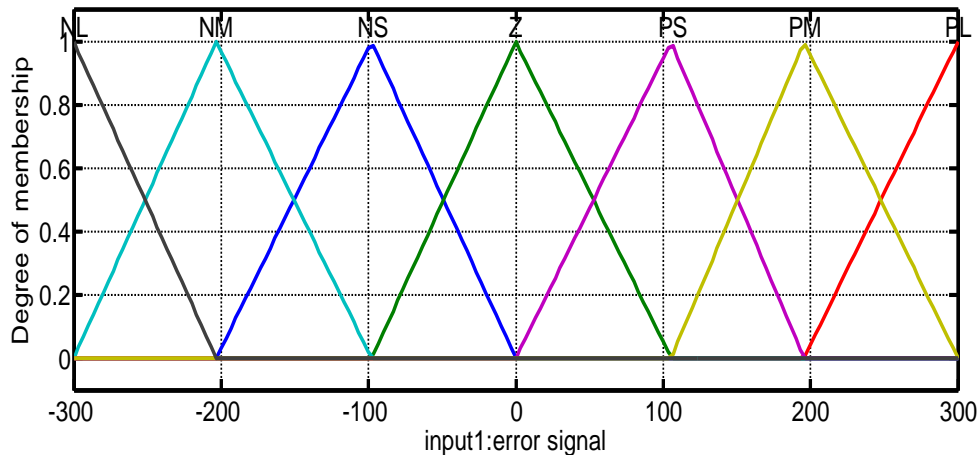


ب - إذا كانت موجة الجهد المستمر تقترب من القيمة المرجعية عند ذلك يتم زيادة الريح التناسبي ( $DK_i$ ) من أجل إنقاص (overshoot) وتحسين زمن الاستقرار.

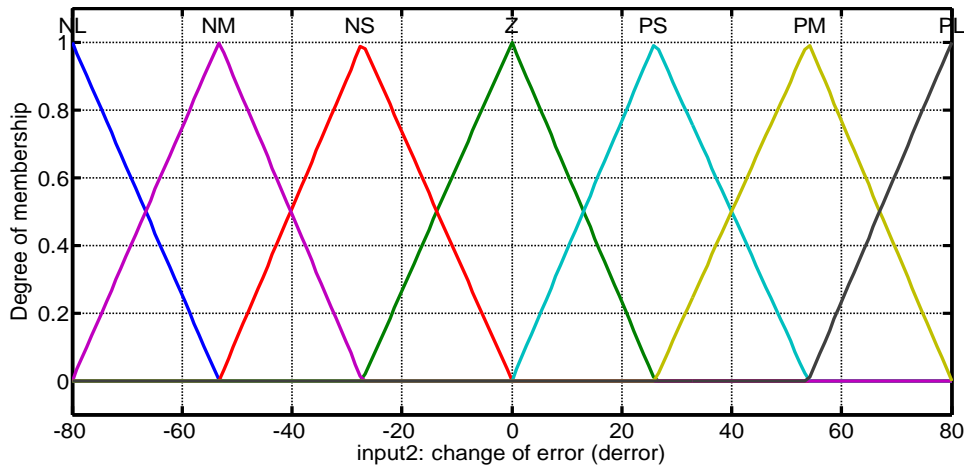
وبذلك نحصل على مصفوفتين من القواعد لكل من التغير في الريح التناسبي ( $DK_p$ ) والتغير في الريح التكاملية ( $DK_i$ ) كما في الجدولين (1) و (2).

➤ عملية إزالة التضييب (Defuzzification):

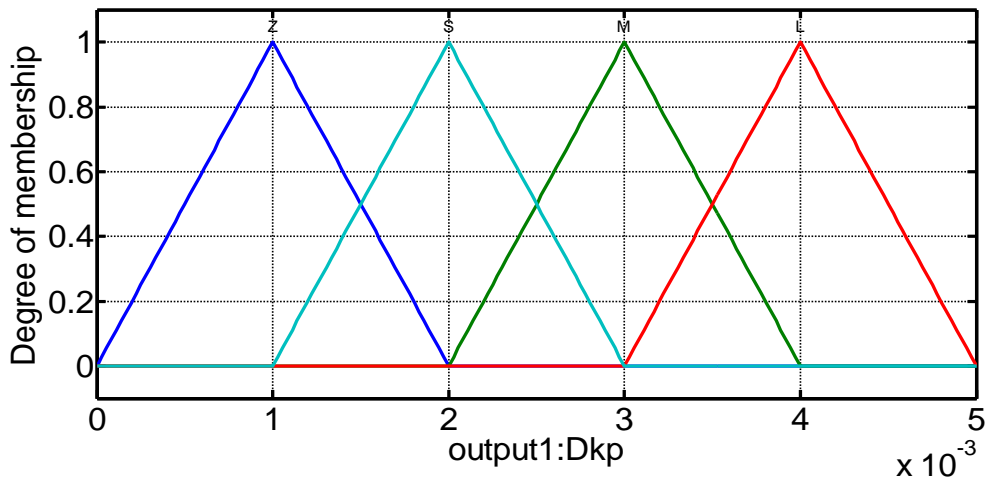
تزود آلية الاستدلال مجموعة من القواعد كل منها له قيمة عضوية مثل ( $\mu_{premise}$ )، في عملية إزالة التضييب يتم اعتبار هذه القواعد وقيم العضوية ( $\mu_{premise}$ ) وتجميع تأثيرها نحصل على خرج عددي (crisp) وبهذا فإن فعل التحكم الضبابي يتم تحويله إلى فعل تحكم غير ضبابي [15].



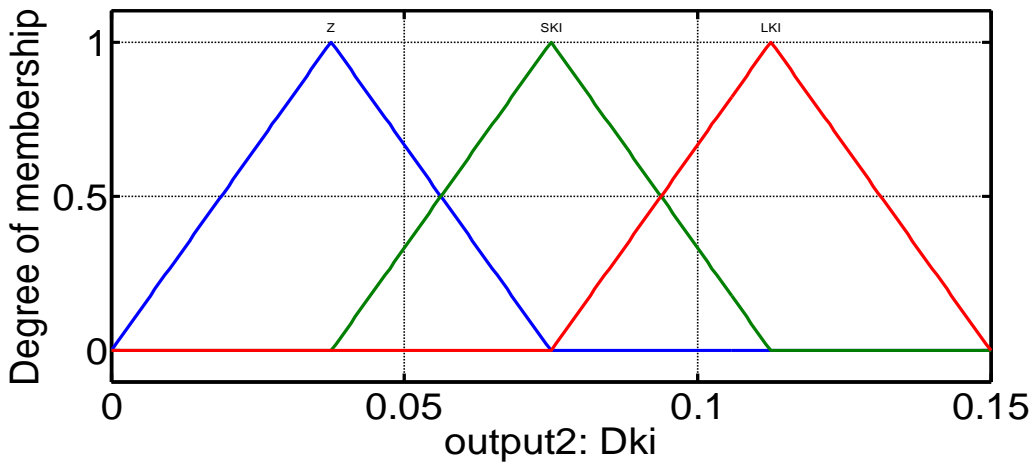
الشكل (5) توابع العضوية لإشارة الخطأ



الشكل (6) توابع العضوية للتغير في إشارة الخطأ



الشكل (7) توابع العضوية للتغير في الريح التناسبي  $(DK_p)$



الشكل (8) توابع العضوية للتغير في الريح التكامل  $DK_i$

الجدول (1) مصفوفة القواعد للتغير في الريح التناسبي

Error v/s Derror	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
NL	L	L	L	M	S	S	Z
NM	L	L	M	S	S	Z	S
NS	L	M	S	S	Z	Z	Z
Z	M	Z	Z	Z	Z	Z	M
PS	Z	Z	Z	S	S	M	L
PM	S	Z	S	S	M	L	L
PL	Z	S	S	M	L	L	L

الجدول (2) مصفوفة القواعد للتغير في الربح التكاملية

Error v/s Derror	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
NL	Ski	Ski	Ski	Z	Z	Z	Z
NM	SKi	Ski	Ski	Z	Z	Z	Z
NS	LKi	LKi	LKi	Z	Z	Z	Z
Z	LKi	LKi	LKi	Z	LKi	LKi	Lki
PS	Z	Z	Z	Z	LKi	LKi	Lki
PM	Z	Z	Z	Z	Ski	Ski	Ski
PL	Z	Z	Z	Z	Ski	Ski	Ski

7- نموذج نظام القدرة الكهربائي: النموذج عبارة عن شبكة نقل قدرة كهربائية ذات جهد (66 Kv) وذات استطاعة (1500 MVA).

ويبين الشكل (9) نموذج نظام القدرة على برنامج (MATLAB/Simulink)، ويحتوي النموذج العناصر التالية: مصدر جهد متناوب ثلاثي الطور متغير مطال الجهد وتغيرات مطال الجهد خلال زمن النمذجة هي كالتالي:

Time(sec)	(0-0.2)sec	(0.2-0.3)sec	(0.3-0.4)sec	(0.4-0.5)sec
Amplitude(pu)	1	1.07	0.93	1

خط نقل يستخدم لنقل الاستطاعة للحمل، وبارامترات هذا الخط هي كالتالي:

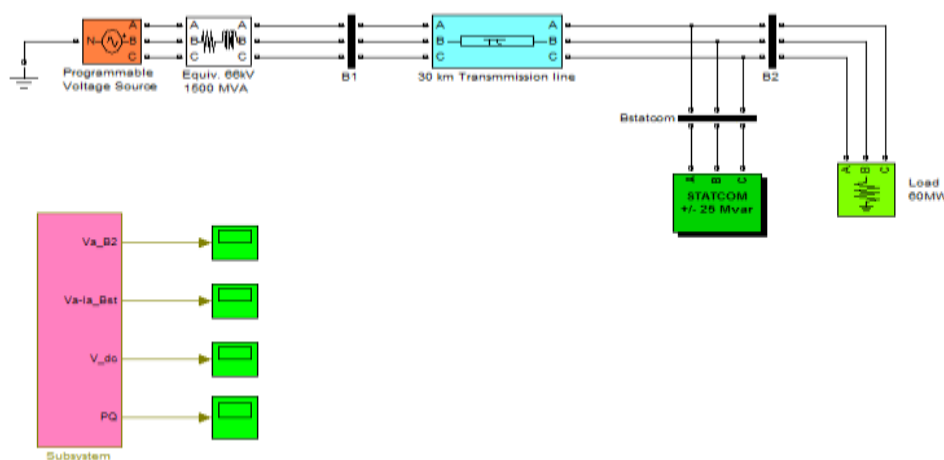
$$\text{Length}=30\text{Km}$$

$$R_0 = 0.3963 \text{ohm/Km}, R_1 = 0.1153 \text{ ohm/Km}, L_0 = 2.730e-3 \text{ H/Km}, L_1 = 1.048e-3 \text{ H/Km}, C_0 = 5.338e-9 \text{ F/Km}, C_1 = 11.33e-9 \text{ F/Km}$$

حمل كهربائي قيمته:

$$S=60+j0.0 \text{ MVA.}$$

- المعوض المتوافق الساكن (STATCOM) موصول عند القضيب (B2).



الشكل (9) نموذج نظام القدرة

نموذج المعوض المتواقت الساكن: استطاعة المعوض ( $\pm 25\text{Mvar}$ ) ويبين الشكل (10) نموذج المعوض

المتواقت الساكن ويتكون من:

محولة ربط ثلاثية الطور: في النموذج ثلاث محولات أحادية الطور استطاعة كل محولة  $25/3\text{MV.A}$  جهد الملف الأولي الموصول مع نظام القدرة  $66\text{ Kv}$  وجهد الملف الثانوي الموصول مع مبدلة مصدر الجهد ( $2.6\text{ kv}$ ). يتم توصيل محولة الربط إلى نظام القدرة عند القضيب (B2)، وتتصل من جهة الملف الثانوي مع مبدلة مصدر الجهد عبر مرشح تخميد (LC).

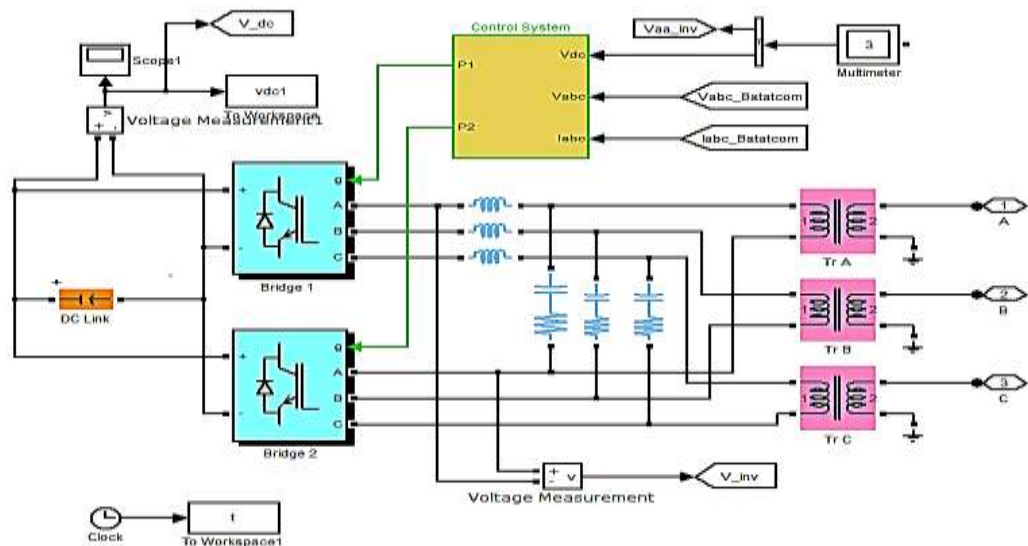
- مبدلة مصدر الجهد: وهي عبارة عن مبدلتين متماثلتين تتكون كل منهما من 6 ترانزستورات من نوع IGBT، وتتصل مبدلة مصدر الجهد من جهة بمحولة الربط عبر المرشح ومن الجهة الثانية بالمكثفات. يتم التحكم في مبدلة مصدر الجهد وتوليد نبضات القدر للترانزستورات باستخدام تقنية التعديل العرضي النبضي الجيبي (SPWM).

- مرشح تخميد (LC): موصول بين الطرف الثانوي لمحولة الربط ومبدلة مصدر الجهد من أجل ترشيح التوافقيات الناتجة في موجة الجهد المتناوب الذي تشكله مبدلة مصدر الجهد ويتكون هذا المرشح من ملفات تسلسلية على التفرع مع دائرة تسلسلية مكونة من مقاومات ومكثفات.

قيم عناصر المرشح هي: ( $L=800\text{e-}6, C=100\text{e-}6, R=1000\text{e-}6$ ).

- مكثفات: تقوم بتخزين الاستطاعة الردية وتلعب دور مصدر الجهد المستمر ( $6000\text{ Volts}$ ) الذي تشكل منه المبدلة الجهد المتناوب الثلاثي الطور.

(سعة مكثفات التخزين  $C=16000\mu\text{F}$ ).

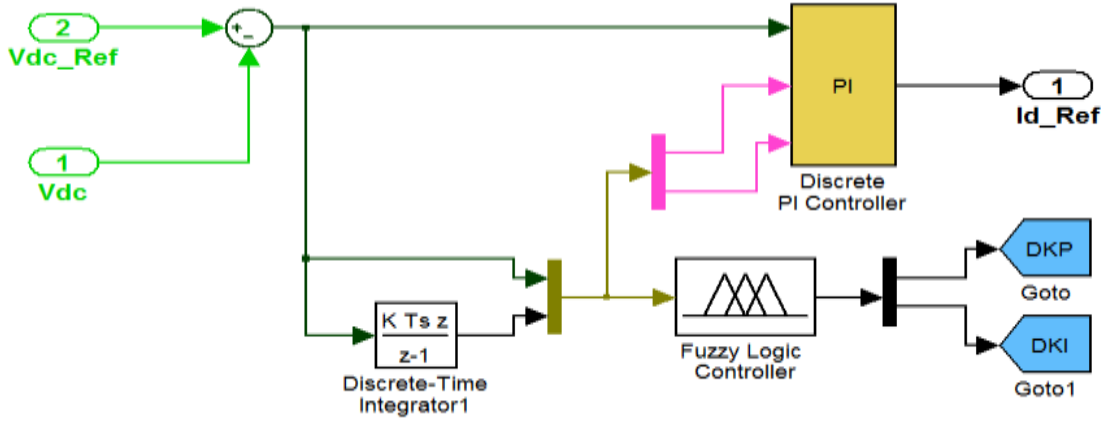


الشكل (10) نموذج المعوض المتواقت الساكن

يبين الشكل (11) منظم الجهد المستمر ويتكون من متحكم (PI) مع مراقب (Fuzzy Logic) من أجل ضبط قيم الريح التناسبي والتكاملي، بحيث يقل انحراف الجهد المستمر عن القيمة الإسمية خلال الفترة العابرة لتغير الحمولة. قيم الريح التناسبي والتكاملي خلال الحالة الثابتة:

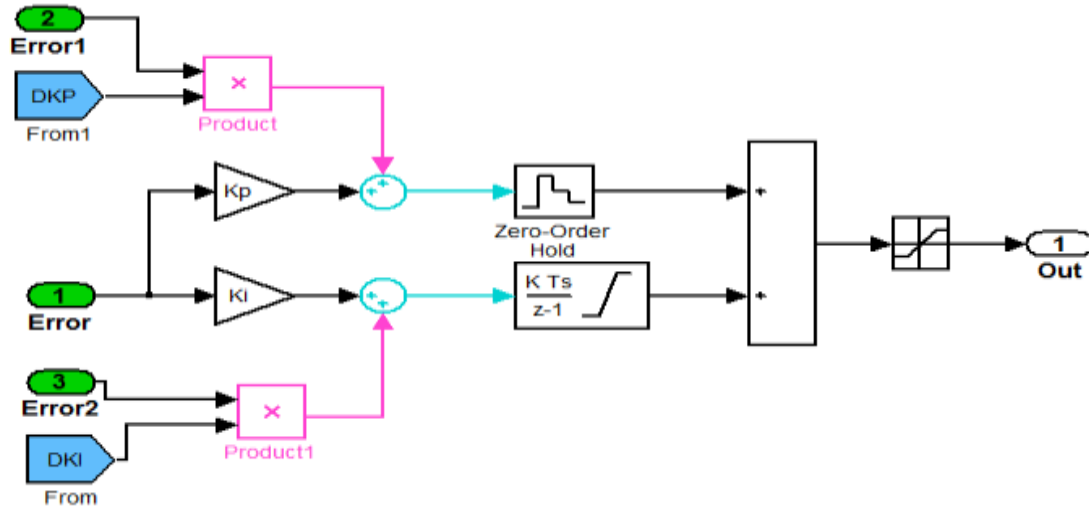
$$K_p=0.001, K_i=0.15$$

يتم في منظم الجهد المستمر مقارنة الجهد المستمر ( $V_{dc}$ ) المقاس على المكثف مع القيمة المرجعية للجهد المستمر ( $V_{dc,ref}$ ) للحصول على إشارة الخطأ التي تدخل إلى كل من متحكم ال (PI) ومراقب (FuzzyLogic)، وخرج منظم الجهد المستمر هو التيار المرجعي ( $I_{d,ref}$ ).



الشكل (11) منظم جهد (DC)

يبين الشكل (12) متحكم (PI) في منظم الجهد المستمر حيث تدخل إلى المتحكم كلاً من إشارة الخطأ والتغير في إشارة الخطأ بالإضافة إلى إشارتي الخرج (التغير في الريح التناسبي والتغير في الريح التكاملية) من مراقب المنطق الضبابي.

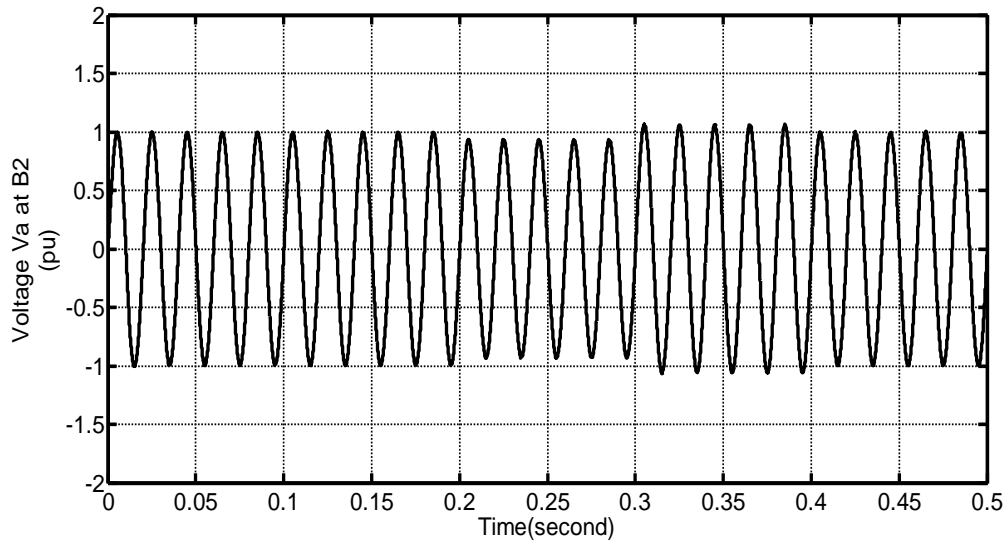


الشكل (12) متحكم PI في منظم جهد (DC)

### النتائج والمناقشة:

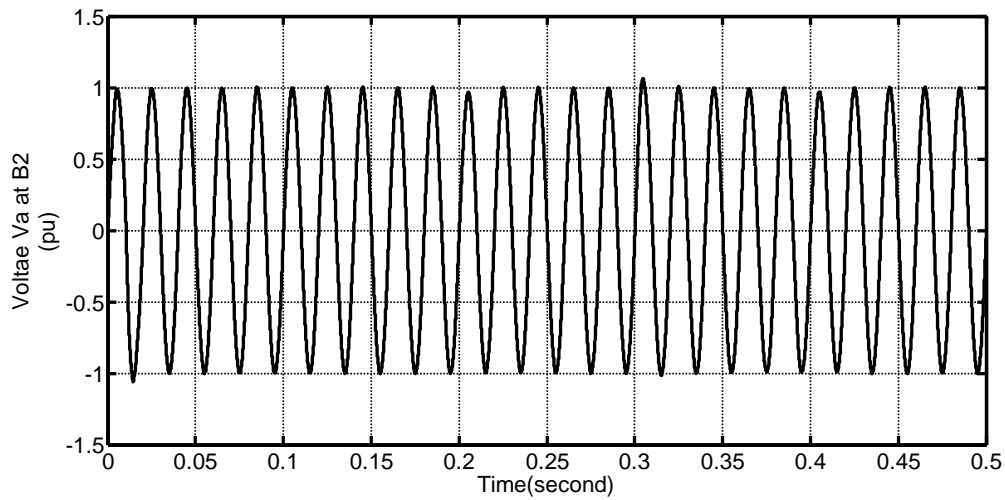
حالة زيادة ونقصان جهد التوليد بمقدار  $(\pm 7\%)$ :

يبين الشكل (13) الجهد ( $V_a$ ) عند (B2) قبل إدخال جهاز (STATCOM) حيث يحدث انخفاض في جهد التوليد بمقدار (7%) خلال الزمن (0.2 - 0.3) sec ويحدث زيادة في جهد التوليد بمقدار (7%) خلال الزمن (0.3 - 0.4) sec.



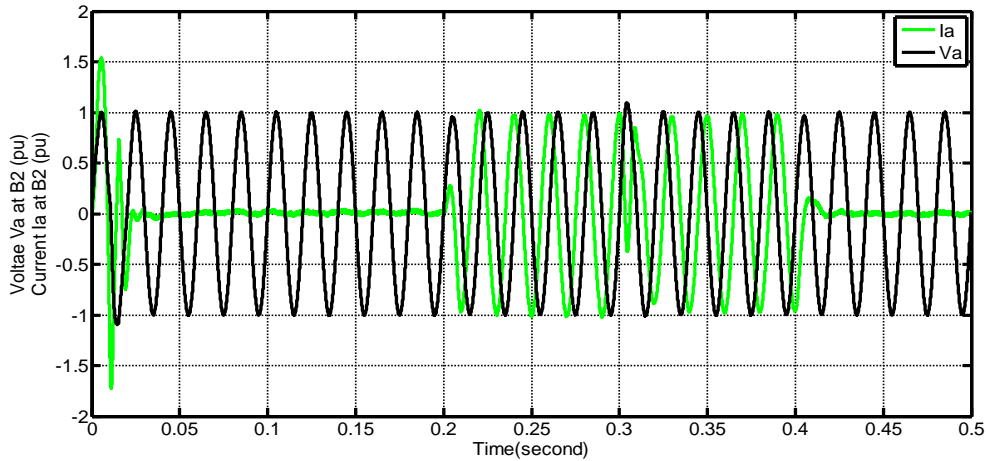
الشكل (13) الجهد (Va) عند (B2) قبل إدخال جهاز (STATCOM)

ويبين الشكل (14) الجهد (Va) عند (B2) بعد إدخال جهاز (STATCOM) حيث يقوم جهاز (STATCOM) بضبط الجهد بحيث يبقى ثابتاً عند القيمة الإسمية من خلال تبادل الاستطاعة الردية مع نظام القدرة.



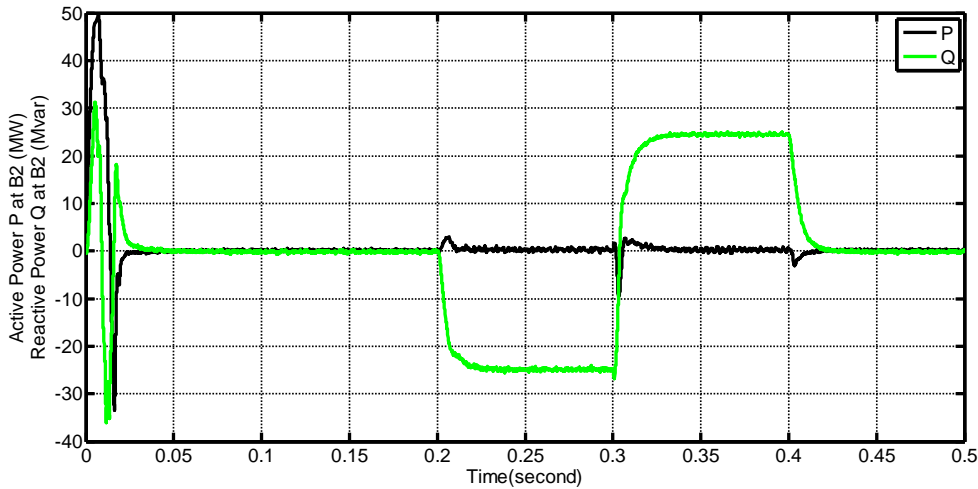
الشكل (14) الجهد (Va) عند (B2) بعد إدخال جهاز (STATCOM)

الشكل (15) يبين الجهد (Va) والتيار (Ia) عند (Bstatcom) حيث أنه خلال الزمن (0-0.2) sec يكون جهد (STATCOM) وجهد نظام القدرة متساويين ونلاحظ أن جهاز (STATCOM) لا يتبادل أي استطاعة ردية مع نظام القدرة، وخلال الزمن (0.2-0.3) sec يحدث انخفاض في الجهد فيعمل جهاز (STATCOM) في النظام الردي السعوي حيث يحقن استطاعة ردية في نظام القدرة معوضاً بذلك الانخفاض الحاصل في الجهد، أما خلال الزمن (0.3-0.4) sec فيحدث ارتفاع في الجهد فيعمل جهاز (STATCOM) في النظام الردي التحريضي حيث يمتص استطاعة ردية من نظام القدرة معوضاً بذلك الارتفاع في الجهد.



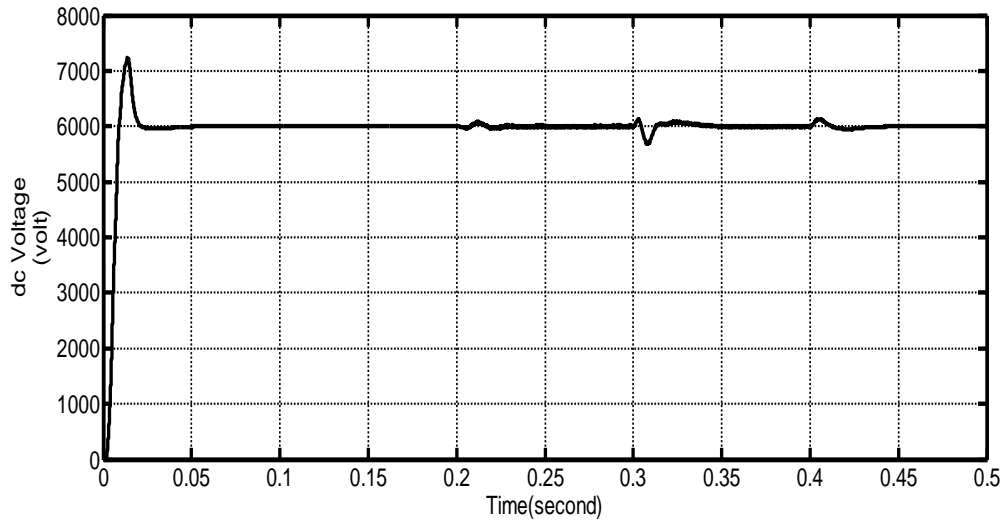
الشكل (15) الجهد ( $V_a$ ) والتيار ( $I_a$ ) عند (Bstatcom)

الشكل (16) يبين الاستطاعة الفعلية والرديية المتبادلة بين جهاز (STATCOM) ونظام القدرة، ونلاحظ أن جهاز (STATCOM) لا يتبادل استطاعة فعلية مع نظام القدرة ويتبادل فقط استطاعة رديية. خلال فترة انخفاض الجهد تكون الاستطاعة الرديية سالبة (محقونة في نظام القدرة) من أجل تعويض الانخفاض في الجهد وخلال فترة زيادة الجهد تكون الاستطاعة الرديية موجبة (ممتصة من نظام القدرة) من أجل تعويض الزيادة في الجهد.



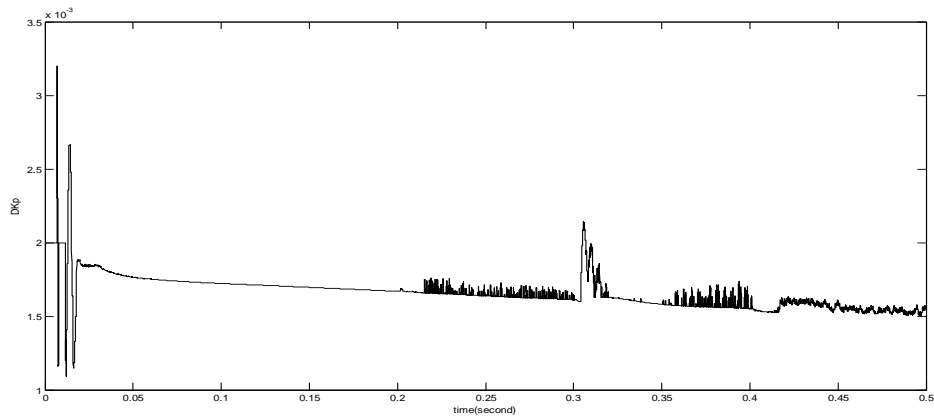
الشكل (16) الاستطاعة الفعلية والرديية المتبادلة بين المعوض المتوافق الساكن ونظام القدرة

يبين الشكل (17) الجهد المستمر على المكثفات في حال استخدام متحكم (PI) فقط للتحكم بالجهد المستمر بدون استخدام مراقب (Fuzzy Logic).



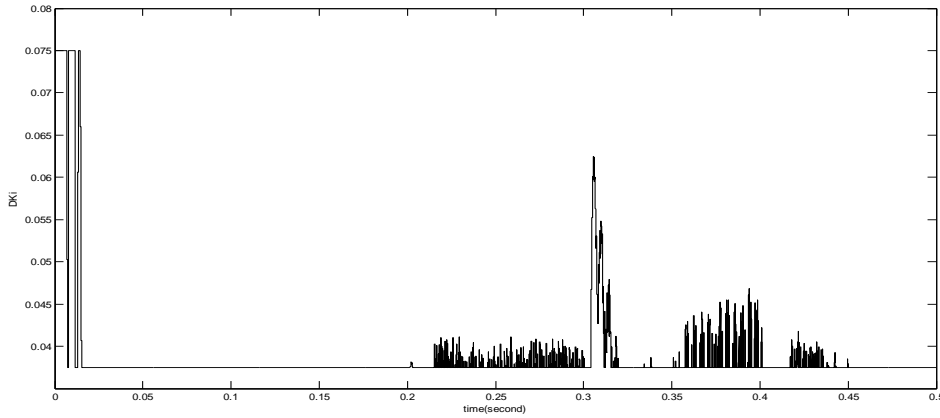
الشكل (17) الجهد المستمر (Vdc) في حال استخدام متحكم (PI)

نلاحظ من الشكل (18) والشكل (19) أنّ مراقب (Fuzzy Logic) يقوم بضبط قيم الريحين التناسبي والتكاملي لمتحكم (PI) خلال الفترات العابرة بعد تغير جهد التوليد وبالتالي نحصل على جهد مستمر أكثر استقراراً وحالما تستقر قيمة الجهد المستمر فإن قيم الريح لمتحكم (PI) تبقى ثابتة عند قيمة الحالة الثابتة.



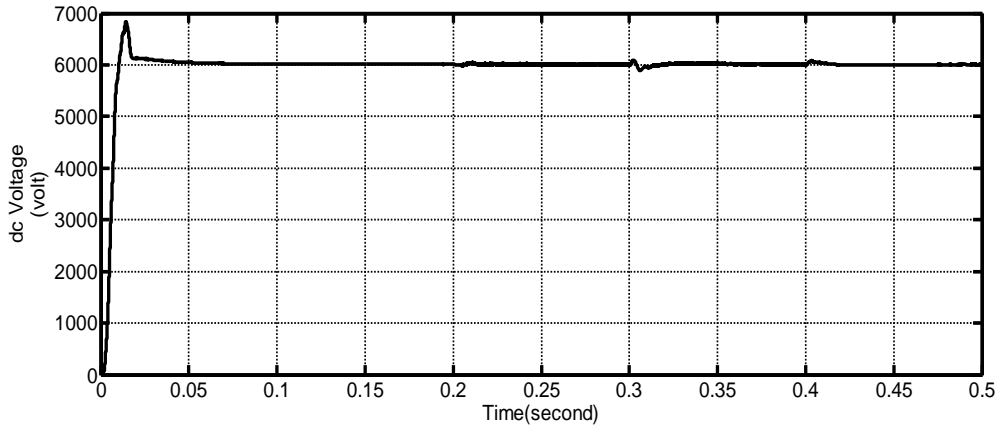
الشكل (18) خرج مراقب (Fuzzy Logic) - DKp





الشكل(19) خرج مراقب (Fuzzy Logic) -DKi

يعمل مراقب (Fuzzy Logic) من خلال ضبط قيم الريح التناسبي والتكاملي لمتحكم (PI) على تخميد التموج الحاصل في موجة الجهد المستمر خلال الفترة العابرة لتغير جهد التوليد حيث ينخفض مقدار انحراف الجهد المستمر عن القيمة الاسمية مقارنة مع استخدام متحكم (PI) فقط كما هو واضح في الشكل (20).



الشكل(20) الجهد المستمر (Vdc) في حال استخدام متحكم (PI) مع مراقب (Fuzzy Logic)

### الاستنتاجات والتوصيات:

- 1 تمكن المعوض المتواقت الساكن ذو استطاعة ( $\pm 25\text{Mvar}$ ) من ضبط الجهد في شبكة نقل قدرة (-66 Kv) (1500 MV.A) وفي حالة حدوث تغير في جهد التوليد عن القيمة الاسمية بمقدار ( $\pm 7\%$ ) وذلك من خلال تبادل الاستطاعة الرديية بين نظام القدرة والمعوض المتواقت الساكن عند النقطة التي تم وصل المعوض إليها.
  - 2 أمكن تحقيق استقرار أكبر في الجهد المستمر على مكثفات المعوض المتواقت الساكن من خلال استخدام مراقب (Fuzzy Logic) والذي قام بإعادة ضبط قيم الريح التناسبي والتكاملي لمتحكم (PI) في منظم الجهد المستمر خلال الحالات العابرة بعد تغيرات الحمل.
- ونوصي لأجل دراسات مستقبلية:
- 1 دراسة أداء المعوض الساكن في تحسين استقرار الجهد في حال أن التحكم في المعوض الساكن يتم باستخدام تقنية المنطق الضبابي فقط.
  - 2 دراسة أداء المعوض الساكن في تحسين استقرار الجهد أثناء الحالات العابرة (في حالة العطل).

## المراجع:

1. SAFFARIAN, A, PASAND, M.S. *Enhancement of Power System Stability Using Adaptive Combinational Load Shedding Methods*. IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 26, NO,3 AUGUST 2011,1010.
2. CHERIF, N, ALLAOUIT, T, BENASLA, M. *The Use of Multiband PSS to Improve Transient Stability of Multimachine Power System*. International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS), 3 September 2013,298-299.
3. ADEBAYO, I.G, ADEJUMOBI, I.A, OOLAJIRE, O.S. *Power Flow Analysis and Voltage Stability Enhancement Using Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC) Facts Controller*. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), 3 February 2013,100.
4. ROSSO, D. A, CANIZARES, C, DONA, V.M. *A Study of TCSC Controller Design for Power System Stability Improvement*. IEEE Trans. Power Systems, September 2002,1.
5. CHOPADE, P, BIKADASH, M, KATEEB, I, KETKAR, A. *Reactive Power Management and Voltage Control of large Transmission system using SVC (Static VAR Compensator)*. IEEE, 2011,85-86.
6. RAHMAN, A. H, RAHMAN, B. F, OR, R, HARUN, C. *Voltage Level Improvement of Power System By Using SVC With POD Controller*. International Journal of Advanced Technology & Engineering Research (IJATER), 4, July 2012,1.
7. ELKHOLY, A, FAHMY, F. H, ABOU EL- ELA, A. A. *Power System Stability Enhancement using The Unified Power Flow Controller*. Proceedings of the 14th International Middle East Power Systems Conference (MEPCON'10), Cairo University, Egypt, December 2010,578.
8. AL- WAMI, A. ABDEL- MAGID, Y.L, ABIDO, M.A. *A particle-swarm-based approach of power system stability enhancement with unified power flow controller*. [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com) electrical power and energy systems, 19 July 2006,251-252.
9. ZHENGPING, X, BHATTAACHARYA, S. *STATCOM Control and Operation with Series Connected Transformer Based 48-pulse VSC*. The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), Nov. 5-8, 2007,1714.
10. NI, Y. JIAO, L, CHEN, S, ZHANG, B. *Application of a nonlinear PID controller on STATCOM with a differential tracker*. IEEE Catalogue No: 98EX137, 1998,29.
11. PANG, C, KEZUNOVIC, M. *A New Approach to PID Controller Design of STATCOM*. IEEE/Power System Engineering Research Center (PSerc), 2008,1-2.
12. PONMURUGAVEL, P.S, GHOUSE, S.M. *Design and Modelling of Fuzzy and Model Predictive Controllers for STATCOM to enhance Transient Stability of Power System*. International Journal of Engineering and Technology (IJET), Jun-Jul 2013,2609.
13. GHAFOURI, A, ZOLGHADRI, M.R, EHSAN, M, ELMATBOLY, O, OMAIFAR, A. *Fuzzy Controlled Statcom for Improving the Power System Transient Stability*. IEEE/Power System Engineering Research Center (PSerc), 2006, 212.
14. Hendri, M, Norman, M, Bashi, S.M, Mohamet, A. *Design of A Prototype D-STATCOM For Voltage Sag Mitigation*. IEEE.
15. Kumar, N.M, Raju, P.S, Venkatesh, P. *Control of DC Capacitor Voltage in A STATCOM using Fuzzy Logic Controller*. International Journal of Advances in Engineering And Technology, July 2012, 679-690.