

## استخدام طريقة المنطقة الموثوقة لتحسين موثوقية المعلومات المستخدمة للتحكم المؤتمت بنظم القدرة الكهربائية

الدكتور حسام شاهين\*

الدكتور هيثم دغرور\*\*

(تاريخ الإيداع 2012 / 7 / 4. قُبِلَ للنشر في 2012 / 12 / 17)

### □ ملخص □

يعد جهاز متحكم سريان الاستطاعة الموحدة (UPFC) Unified Power Flow Controller أحد أهم أجهزة نقل التيار المتناوب المرنة (FACTS) Flexible AC Transmission Systems استخداماً في التحكم بسريان الاستطاعة وتحسين استقرار نظام القدرة. وللحصول على الفوائد المذكورة لهذا الجهاز يجب تصميم نظام تحكم ملائم للتحكم به.

يقترح بحثنا تصميم نظام تحكم يعتمد على نظرية التحكم العشوائي (Fuzzy Logic) للتحكم بجهاز الـ UPFC. يستخدم نظام التحكم المقترح للتحكم والتنسيق بين إشارتي مطال جهد وزاوية طور قابلة منبع الجهد التي تمثل جهاز الـ UPFC، حيث تستخدم هاتان الإشارتان للتحكم بسريان الاستطاعة الفعلية والرديية في خط النقل. وللتحقق من صلاحية وفعالية نظام التحكم المقترح وفعاليتيه، تمت نمذجة نظام قدرة مزدوج الخط موصول بشبكة لا نهائية الاستطاعة مزودة بجهاز UPFC باستخدام برنامج النمذجة والمحاكاة (PSCAD/EMTDC). ثم تمت محاكاة سلوك هذا الجهاز مع نظام التحكم المقترح في حالة حدوث عطل ثلاثي الطور مع الأرض.

وقد أظهرت نتائج النمذجة والمحاكاة التي حصلنا عليها فعالية جهاز الـ UPFC مع نظام التحكم المقترح في تحسين استقرار نظام القدرة الكهربائية عند حدوث العطل ثلاثي الطور مع الأرض. كما أظهرت هذه النتائج قوة هذا النوع من التحكم ومثابته وتفوقه مقارنة بالمتحكم التقليدي (PI)، بالإضافة إلى أنه يضمن استقرار الحلقة المغلقة لنظام التحكم من خلال سلوك متابعة جيد.

الكلمات المفتاحية : نظام الطاقة- متحكم سريان الاستطاعة الموحدة (UPFC)- متحكم المنطق العشوائي-استقرار نظام الطاقة.

\* مدرس في قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - سورية

\*\* مدرس - قسم هندسة الطاقة - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - سورية

## Application of Fuzzy Logic Controller for Unified Power Flow Controller

Dr. Husam Shaheen<sup>\*</sup>  
Dr. haitham Dagr<sup>\*\*</sup>

(Received 4 / 7 / 2012. Accepted 17 / 12 / 2012)

### □ ABSTRACT □

Unified Power Flow Controller (UPFC) is one of the most effective Flexible AC Transmission Systems (FACTS) devices for controlling power flow and improving stability of power system. To achieve the functionality of UPFC, a proper and sufficient control system should be designed for this device. Our research proposes a Fuzzy Logic control approach to control UPFC. The proposed control scheme is used to control and coordinate voltage and phase angle signals of Voltage Source Converters (VSCs) of UPFC, where these two signals are used to control active and reactive power flow in transmission line. To validate the proposed control scheme, a single-machine double line infinite bus power system equipped with UPFC is modeled using PSCAD/EMTDC software package. Three phase fault with ground case is simulated and investigated under the proposed controller.

The modeling and simulation results show the effectiveness of the UPFC under the proposed control scheme for improving power system stability under the three phase fault case. The results also show the robustness and superiority of the proposed controller compared to conventional PI controller as well as it guarantees the closed-loop stability system and has a good tracking behavior.

**Key Words:** Power System, Unified Power Flow Controller (UPFC), Fuzzy Logic Stability. Controller, Power System

---

<sup>\*</sup>Assistant Professor, Electrical Power Department, Faculty of Mech.& Elect. Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

<sup>\*\*</sup>Assistant Professor, Electrical Power Department, Faculty of Mech.& Elect. Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

يعد متحكم سريان الاستطاعة الموحدة (Unified Power Flow Controller- UPFC) أحد أهم أجهزة نقل التيار المتناوب المرنة (Flexible AC Transmission Systems- FACTS) استخداماً ، وأكثرها قدرةً على التحكم بسريان الاستطاعة وتنظيم الجهد في شبكات نقل القدرة الكهربائية في الحالة المستقرة [5-1]، إذ يستطيع هذا المتحكم التحكم بجميع بارامترات خط النقل وبشكل منفرد، بشكل ثنائي أو بشكل جماعي [7-6]. كما أنه يؤدي دوراً مهماً في تحسين استقرار نظام الطاقة الكهربائي في الحالة غير المستقرة. ولكي يؤدي هذا المتحكم وظائفه المتنوعة في شبكات النقل، من التحكم بسريان استطاعات الخطوط وتنظيم جهود عقد هذه الشبكات وتحسين الاستقرار فيها، يجب تصميم نظام تحكم فعال له في الحالة المستقرة والحالة غير المستقرة.

يعد متحكم المنطق العشوائي Fuzzy Logic من أكثر طرق التحكم نجاحاً من الناحية التطبيقية وذلك لقدرته على الاستخدام الكبير للمعلومات الكمية المرتبطة بالنظام عند تصميم نظام التحكم. وقد تم تطبيق متحكمات Fuzzy Logic في الأنظمة ذات إشارات التغذية العكسية تطبيقاً واسعاً [8-14]، وفي دراستنا استخدمنا متحكم الـ Fuzzy Logic للتحكم والتنسيق بين إشارتي مطال الجهد المحقون و زاوية طور هذا الجهد (خرج قالبية منبع الجهد) إذ تستخدم هاتين الإشارتين للتحكم في سريان الاستطاعة الفعلية والرديية في الشبكة (يتم حقن هاتين الإشارتين مع إشارات تيارات أو جهود الخط بشكل متوافق بالطور أو بشكل متعامد).

يتطلب الحصول على مطال جهد الخرج وزاوية الطور المناسبين للتحكم بسريان الاستطاعة في الشبكة توليد نبضات تحكم مناسبة على بوابات العناصر الإلكترونية المستخدمة في القالبية، وهي هنا ثايرستورات Gate Turn-off Thyristors (GTO)، ولتحقيق ذلك يجب تصميم نظام تحكم فعال يؤمن توليد هذه النبضات، وفي دراستنا فإن نظام التحكم المقترح هو نظام تحكم يستخدم Fuzzy Logic.

يتطلب هذا النظام إشارات تغذية عكسية مقيسة في كل لحظة زمنية بالإضافة إلى إشارات مرجعية للمقارنة. حيث تقاس الاستطاعة الفعلية والرديية والجهد في الخرج، وتؤخذ هذه الإشارات بوصفها إشارات تغذية عكسية في كل لحظة زمنية.

**أهمية البحث وأهدافه:**

أصبح التحكم الفعال بسريان الاستطاعة الفعلية والرديية في شبكات نقل الطاقة الكهربائية الذي تقدمه أجهزة الـ FACTS ضرورة ملحة للتشغيل الاقتصادي والأمن لهذه الشبكات. ولتحقيق مثل هذا التحكم الفعال بسريان الاستطاعة فإنه يجب تصميم أنظمة تحكم فعالة لهذه الأجهزة حتى تقوم بأداء دورها على أكمل وجه. ومن هنا تأتي أهمية هذا البحث في تصميم نظام تحكم لواحد من أهم أجهزة الـ FACTS وهو جهاز متحكم سريان الاستطاعة الموحدة (UPFC) ليقوم بدوره في التحكم بسريان الاستطاعة الفعلية والرديية في شبكات النقل، وتحسين مطالات جهود عقد النظام في الحالة المستقرة وتحسين الاستقرار الحالة غير المستقرة.

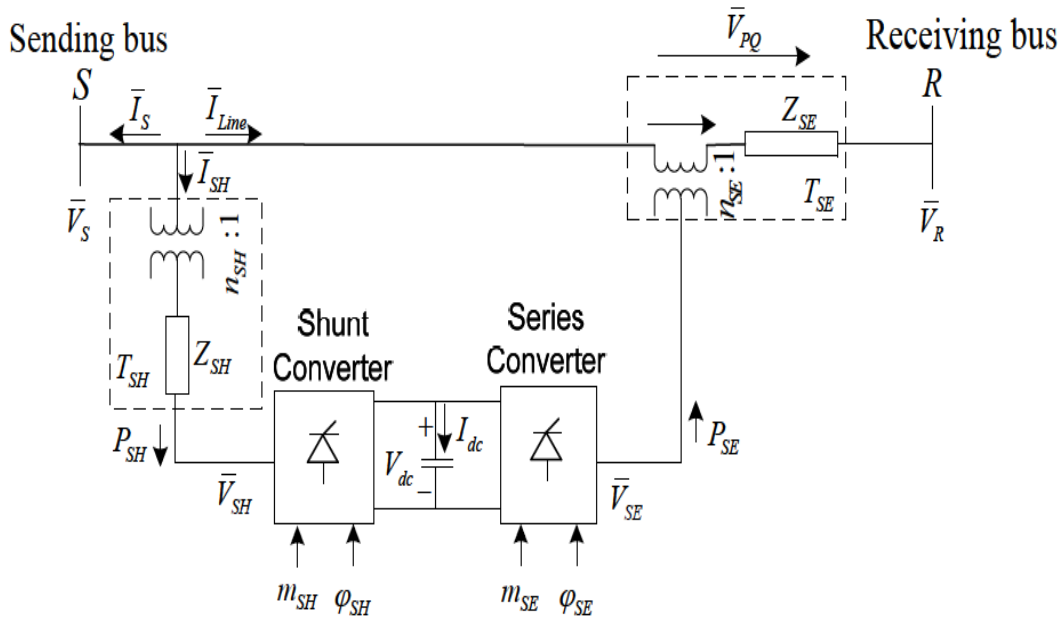
ويهدف هذا البحث إلى تصميم نظام تحكم لجهاز الـ UPFC يعتمد على نظرية التحكم العشوائي للتحكم والتنسيق بين إشارتي مطال وزاوية طور جهد قالبية منبع الجهد التي تمثل جهاز الـ UPFC إذ تستخدم هاتان الإشارتان للتحكم بسريان الاستطاعة الفعلية والرديية في شبكات النقل. ولتحقيق هذا الهدف ينبغي أن تتم الدراسة من خلال:

- نمذجة جهاز الـ UPFC نمذجة رياضية.
- تصميم نظام تحكم لهذا الجهاز يعتمد على نظرية المنطق العشوائي في التحكم.
- نمذجة هذا الجهاز نمذجة برمجية ومحاكاة عمله.
- دراسة سلوكه بوجود نظام التحكم المقترح في حالة حدوث عطل ثلاثي الطور مع الأرض.

### طريقة البحث ومواده:

#### وصف وتشغيل UPFC

يتوضع جهاز الـ UPFC بين قضيبي تجميع (عقدتين) يشار إليهما بعقدة الإرسال الـ UPFC وعقدة الاستقبال الـ UPFC وهو يتكون من قالبتي منبع جهد Voltage Source Converters (VSCs) أحدهما توصل على التسلسل بخط النقل عبر محولة تسلسلية وتسمى القالبية التسلسلية والقالبية الثانية توصل على التفرع بخط النقل أو بعقدة الإرسال من خلال محولة تفرعية وتسمى القالبية التفرعية ويصل بين هاتين القالبيتين وصلة تيار مستمر مشتركة DC (مكتف) في نموذج التردد الأساسي. ويظهر الشكل (1) الدارة التخطيطية التي تصف جهاز الـ UPFC [15-18].



الشكل (1) الدارة التخطيطية التي تصف جهاز الـ UPFC

في الحالة المستقرة يتم تمثيل قالبتي منبع الجهد المكونتين لجهاز الـ UPFC، بمنبعي جهد متحكم بمطالهما وزاوية طورهما، أحدهما يوصل على التسلسل بخط النقل، ويمثل القالبية التسلسلية، والآخر يوصل على التفرع بخط النقل ويمثل القالبية التفرعية، بشكل عام فإن جهاز الـ UPFC، يتوضع على خطوط النقل ذات التوتر العالي، لذلك يتطلب هذا الوصل وجود محولات خافضة لكي يسمح باستعمال أجهزة إلكترونيات القدرة الموجودة في جهاز الـ UPFC. ويتم تطبيق تقنية التعديل النبضي العرضاني (Pulse Withed Modulation (PWM) على قالبتي منبع الجهد VSCs، وتوضح المعادلات التالية مقادير الجهود التسلسلية و التفرعية المحقونة التي يتم الحصول عليها [18]:

$$\begin{cases} V_{SH} = m_{SH} \frac{V_{DC}}{2\sqrt{2}n_{SH}V_B} \\ V_{SE} = m_{SE} \frac{V_{DC}}{2\sqrt{2}n_{SE}V_B} \end{cases} \quad (1)$$

حيث :

$m_{SH}$  : دليل تعديل الكمية أو المقدار لإشارة التحكم للقالبة التفرعية VSC؛

$m_{SE}$  : دليل تعديل الكمية أو المقدار لإشارة التحكم للقالبة التسلسلية VSC؛

$n_{SH}$  : نسبة دور المحول التفرعي.

$n_{SE}$  : نسبة دور المحول التسلسلي.

$V_B$  : توتر النظام الأساسي بـ kV.

$V_{DC}$  : توتر وصلة التيار المستمر DC بـ kV؛

زاوية الطور للتوترين  $\bar{V}_{SH}$  و  $\bar{V}_{SE}$  هي:

$$\begin{cases} \delta_{SH} = \delta_s - \varphi_{SH} \\ \delta_{SE} = \delta_s - \varphi_{SE} \end{cases} \quad (2)$$

حيث  $\varphi_{SH}$  هي زاوية الإشعال لعناصر قالبة منبع الجهد التفرعية VSC بالنسبة لزاوية طور جهد عقدة الإرسال؛ و  $\varphi_{SE}$  هي زاوية الإشعال لعناصر قالبة منبع الجهد التسلسلية KVSC بالنسبة لزاوية طور جهد عقدة الإرسال.

تحقق القالبة التسلسلية جهداً متناوباً  $\bar{V}_{SE} = V_{SE} \angle (\delta_s - \varphi_{SE})$  على التسلسل مع خط النقل. مقدار الجهد التسلسلي  $V_{SE}$  وزاويته الطورية  $\varphi_{SE}$  بالنسبة لعقدة الإرسال متحكم فيهما بالمجال  $V_{SEmin} \leq V_{SE} \leq V_{SEmax}$  و  $0 \leq \varphi_{SE} \leq 2\pi$  على التوالي، تحقق القالبة التفرعية جهداً تفرعياً متحكماً به بحيث يكون الجزء الحقيقي للتيار في الفرع التفرعي يوازن الاستطاعة الفعلية المطلوبة من القالبة التسلسلية. ويمكن أن تتدفق الاستطاعة الفعلية بحرية في كلا الاتجاهين بين عقدي الإرسال والاستقبال عبر القالبتين. من ناحية أخرى، لا تستطيع الاستطاعة الردية المرور من خلال وصلة التيار المستمر، الاستطاعة الردية تمتص، أو تولد محلياً من قبل كل قالبة، وتعمل القالبة التفرعية بطريقة بحيث تتبادل الاستطاعة الردية مع النظام المتناوب مما يقدم إمكانية تعويض تفرعي مستقل للخط. إذا كان الجهد التفرعي المحقون منظماً لينتج مركبة تيار ردية تحافظ على جهد عقدة الإرسال عند قيمته المحددة من قبل، عندئذ تعمل القالبة التسلسلية في نموذج تحكم جهد آلي. يمكن كذلك أن تعمل القالبة التفرعية في نموذج تحكم للاستطاعة الردية VAR. في هذه الحالة، يُنتج التيار الردي التفرعي ليقابل المفاعلة المطلوبة والسعة المطلوبة .

## النتائج والمناقشة:

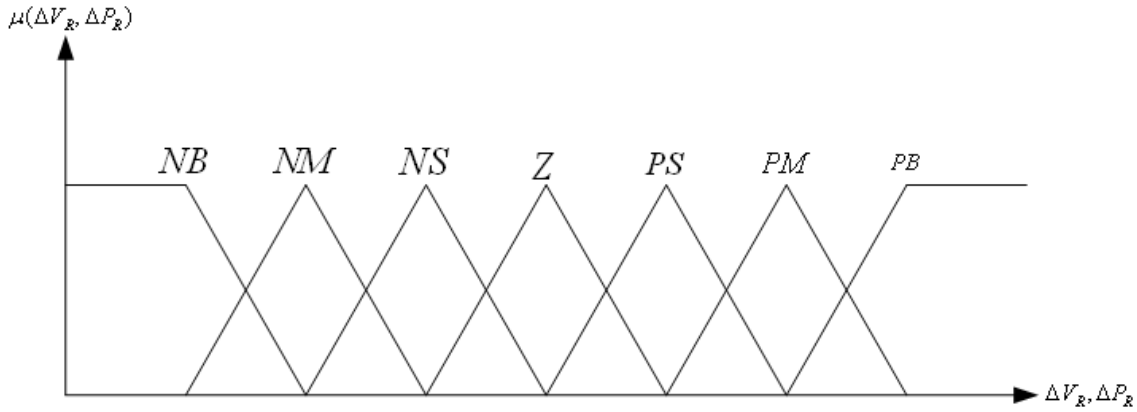
1. تصميم نظام تحكم يستخدم المنطق العشوائي للتحكم بمتحكم سريان الاستطاعة الموحدة: في دراستنا يتم استخدام إشارتين فقط هما إشارة تغير في الاستطاعة الفعلية  $\Delta P_R$  وإشارة تغير في الجهد  $\Delta V_R$  في دخل نظام التحكم الذي يستخدم متحكم Fuzzy Logic، أما التحكم بالاستطاعة الردية فيتم بشكل غير مباشر وذلك عن طريق التحكم بالجهد. وفي خرج هذا النظام يتم الحصول على إشارة تعديل تتعلق بالمطال و إشارة

تعديل تتعلق بزواوية الطور حيث يتم تطبيق هاتين الإشارتين على بوابات ثايرستورات GTO للقالبة باستخدام تقنية PWM ويجب أن تكون إشارة التعديل أكبر من الصفر.

ينضمن نظام التحكم الذي يستخدم مبدأ التحكم Fuzzy Logic المراحل الأتية:

### 1. تحويل متغيرات الدخل (الإشارات و المعطيات) إلى نظام Fuzzy (Fuzzification):

وهي عملية يتم فيها تحويل متغيرات الدخل إلى متغيرات لغوية حسب مبدأ Fuzzy. كل متغير محول إلى متغير عشوائي له تابع عضوية معين. وفي دراستنا تم اختيار توابع العضوية للدخل والخرج كتوابع مثلثية كما يظهر في الشكل (2)، كل توابع العضوية هي أشكال متناظرة بالنسبة إلى القيم السالبة والموجبة للمتغيرات.



الشكل (2) توابع العضوية لإشارات الدخل  $\Delta P_R, \Delta V_R$ .

يوجد سبع متغيرات لغوية لكل متغير من متغيرات الدخل  $\Delta P_R$  و  $\Delta V_R$  وكذلك لمتغير  $M$  وهي تغير سالب كبير (Negative Big - NB)، تغير سالب متوسط (Negative Medium - NM)، تغير سالب صغير (Negative Small - NS)، تغير صفري (Zero - Z)، تغير موجب صغير (Positive Small - PS)، تغير موجب متوسط (Positive Medium - PM) وتغير موجب كبير (Positive Big - PB). إن المتغيرات اللغوية المرافقة لنظام التحكم الذي يستخدم Fuzzy Logic في دراستنا هي  $[k] = [\Delta P_R, \Delta V_R]$

### 2. الاستنتاجات :

يتم اتخاذ قرار التحكم بناء على المتغيرات اللغوية المحولة إلى الشكل العشوائي. وتتضمن الاستنتاجات قوانين من أجل تحديد قرارات الخرج. إن متغيرات الدخل في دراستنا لها سبع متغيرات لغوية عشوائية وبالتالي فإن نظام التحكم المصمم الذي يستخدم مبدأ Fuzzy Logic سوف يكون له 49 قاعدة (قانون) للتحكم في مطال وزاوية طور جهد خرج القالبة الذي يحقن في الشبكة. ويظهر الجدول (1) استنتاجات النظام للتحكم المقترح للتحكم بمطال وزاوية طور الجهد المحقون. السطر الأعلى و العمود اليساري من المصفوفة يشيران إلى المجموعات العشوائية للمتغيرات  $\Delta V_R$  و  $\Delta P_R$  بالتعاقب، وتوابع العضوية لمتغيرات الخرج تظهر في جسم المصفوفة. إذ إن هناك  $7 \times 7 = 49$  قانون (قاعدة) محتمل في المصفوفة وأحد القوانين أو القواعد على سبيل المثال يكون بالشكل التالي:

$$\text{IF } \Delta P_R = PS \text{ AND } \Delta V_R = NM \text{ THEN } M = NS$$

وكلما قل عدد القوانين كلما ازداد عدد المربعات الفارغة في جسم المصفوفة

الجدول (1) استنتاجات نظام التحكم المقترح للتحكم في مطال وزاوية طور الجهد المحقون وبالتالي التحكم في سريان الاستطاعة الفعلية والردية في الشبكة

$\Delta P_R$ \ $\Delta V_R$	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	PS	PB
NM	NB	NB	NB	NM	NS	PM	PB
NS	NB	NB	NM	NS	Z	PM	PB
Z	NB	NB	NS	Z	PS	PB	PB
PS	NB	NM	Z	PS	PM	PB	PB
PM	NB	NM	PS	PM	PB	PB	PB
PB	NB	NS	PM	PB	PB	PB	PB

### 3. العودة إلى الإشارات والمعطيات الحقيقية (Defuzzification):

ينتج عن نظام الاستنتاج (Inference) متغيرات خرج بصيغة لغوية. يجب تحويل هذه المتغيرات إلى متغيرات خرج (حقيقية) رقمية أو إشارات حتى يتمكن النظام من التعامل معها. يستخدم متحكم Fuzzy Logic الذي تم تصميمه طريقة الارتفاعات لتحويل المتغيرات اللغوية إلى متغيرات رقمية أو إشارات رقمية وهذه الطريقة مشتقة من طريقة المركز التي تعطى فيها متغيرات الخرج الحقيقية بالعلاقة التالية [13]:

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^{49} Z_i \mu_{out}(Z_i)}{\sum_{i=1}^{49} \mu_{out}(Z_i)} \quad (3)$$

حيث  $Z$  يتوافق مع قيمة خرج التحكم التي من أجلها تكون قيم تابع العضوية في مجموعة الخرج تساوي الواحد.

#### • الاعتبارات العامة في تصميم المتحكم هي:

إذا كان كلا التغيرين  $\Delta P_R, \Delta V_R$  يساوي الصفر، عندئذ يجب المحافظة على وضعية التحكم الحالية و يكون خرج المتحكم مساوياً للصفر.

إذا كان التغير  $\Delta P_R$  مغايراً للصفر لكنه يقترب من الصفر بنسبة مقبولة، عندئذ يجب المحافظة على وضعية التحكم الحالية.

إذا كان التغير  $\Delta P_R$  متزايداً باطراد، عندئذ فإن خرج المتحكم سوف يعتمد على مطال (قيمة) و إشارة  $\Delta P_R$  لإجبار هذا التغير بالعودة إلى الصفر.

#### • خوارزمية المنطق العشوائي في التحكم بخرج متحكم سريان الاستطاعة الموحدة:

يمكن أن نلخص خوارزمية المنطق العشوائي في التحكم بخرج متحكم سريان الاستطاعة الموحدة كما يلي:

- تحديد الإشارات المقيسة والمرجعية للجهد  $V_R$  و  $V_R^*$  والإشارات المقيسة والمرجعية للاستطاعة  $P_R$  و  $P_R^*$

- حساب الخطأ لإشارات الدخل لكل من الجهد و الاستطاعة الفعلية:

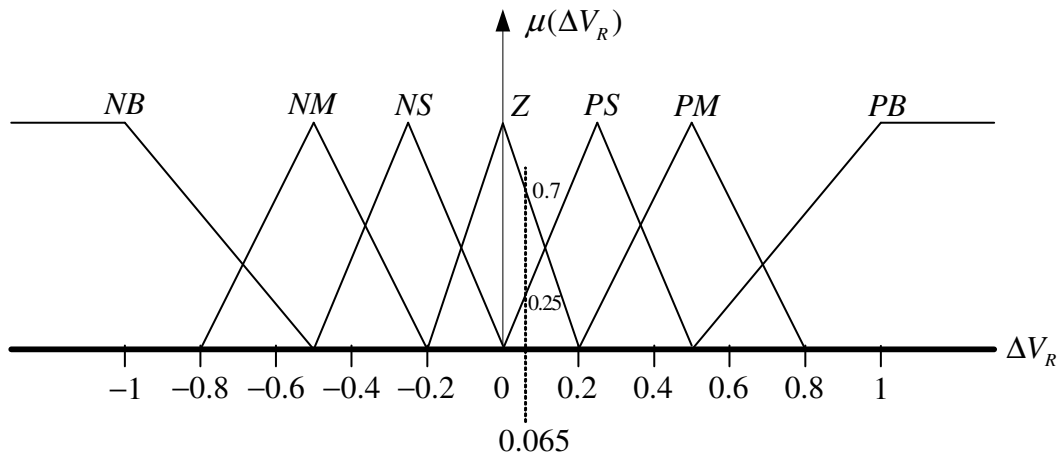
$$\Delta P_R = P_R^* - P_R \quad \text{و} \quad \Delta V_R = V_R^* - V_R$$

- تحديد الفواصل المرجعية  $I$  و  $J$  لكل متغير من متغيرات الدخل كما يلي:  $[I = 1, J = 1]$
- حساب درجة العضوية لكل متغير من متغيرات الدخل من أجل المجموعات العشوائية المتعلقة بها.
- تحديد مجموعة القوانين المناسبة والمحقة من جدول القوانين و حساب درجة تحقق كل قانون باستخدام قاعدة AND و قاعدة min

- استرجاع أو استعادة كمية التصحيح الموافقة لكل قانون في الجدول.
  - حساب الخرج بالقيم الحقيقية باستخدام إحدى طرق العودة إلى الإشارات أو المعطيات الحقيقية.
- مثال: لتوضيح عمل خوارزمية المنطق العشوائي في التحكم بمتحكم سريان الاستطاعة الموحدة نورد المثال التالي: إذا فرضنا أن الجهد القاعدي في نظام الطاقة المدروس هو  $V = 0.23 \text{ kV}$  والاستطاعة القاعدية هي  $P = 0.015 \text{ MW}$  ووأن إشارات الخطأ في الجهد والاستطاعة هي  $\Delta V_R = 0.015 \text{ kV}$  و  $\Delta P_R = 0.00225 \text{ MW}$  بالتعاقب. نطبق الآن خوارزمية المنطق العشوائي كما يلي:

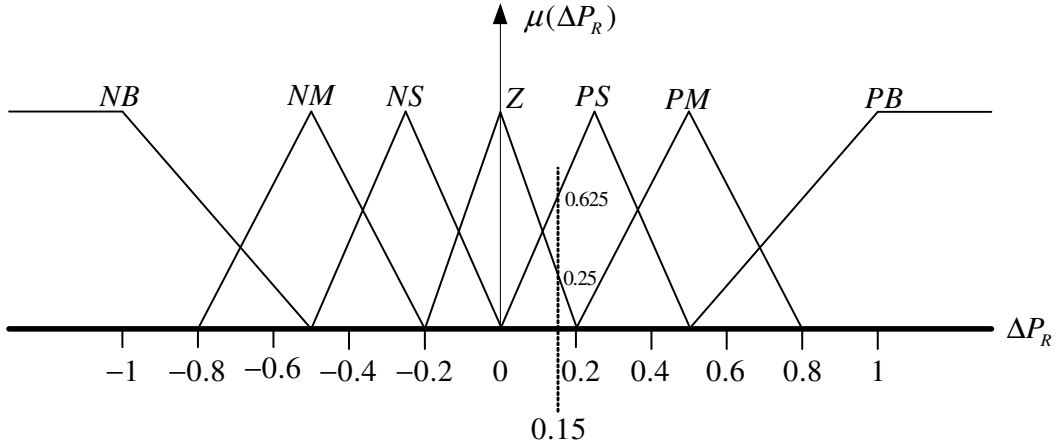
- تحديد الإشارات المقيسة والمرجعية للجهد والاستطاعة الفعلية لحساب الخطأ في هذه الإشارات: لدينا من الفرضيات مباشرة إشارات الخطأ.
- حساب الخطأ في إشارات الدخل لكل من الجهد والاستطاعة الفعلية بالقيم الواحدية: بما أن إشارة الخطأ بالجهد هي  $\Delta V_R = 0.015 \text{ kV}$  عندئذ تكون هذه الإشارة بالقيم الواحدية هي:  $\Delta V_R = 0.015 / 0.23 = 0.065 \text{ p.u.}$  وبما أن إشارة الخطأ في الاستطاعة هي  $\Delta P_R = 0.00225 \text{ MW}$  عندئذ تكون هذه الإشارة بالقيم الواحدية هي:  $\Delta P_R = 0.00225 / 0.015 = 0.15 \text{ p.u.}$
- تحديد الفواصل المرجعية  $I$  و  $J$  لكل متغير من متغيرات الدخل كما يلي:  $[I = 1, J = 1]$
- حساب درجة العضوية لكل متغير من متغيرات الدخل من أجل المجموعات العشوائية المتعلقة بها من الأشكال (3) و (4).

$$[\mu_Z(\Delta V_R) = 0.25; \mu_{PS}(\Delta V_R) = 0.7; \mu_Z(\Delta P_R) = 0.25; \mu_{PS}(\Delta P_R) = 0.625]$$

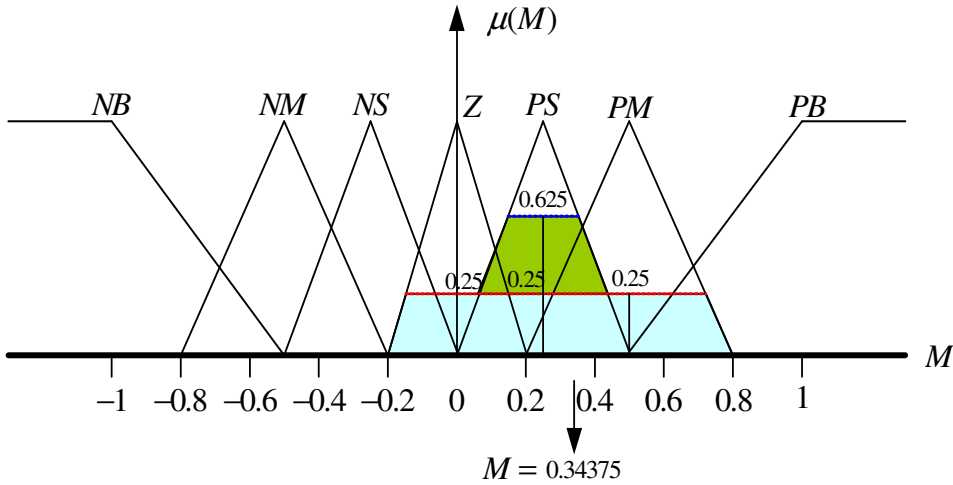


الشكل (3) تابع العضوية لإشارة الخطأ في الجهد.





الشكل (4) تابع العضوية لإشارة الخطأ في الاستطاعة.



الشكل (5) خرج نظام التحكم.

- تحديد مجموعة القوانين المناسبة والمحقة من جدول القوانين و حساب درجة تحقق كل قانون (Degree of fulfillment-DOF) باستخدام قاعدة AND و قاعدة min:  
نحدد أربعة قوانين محقة من جدول القوانين (الجدول رقم (1)):

R1: IF  $\Delta V_R = Z$  AND  $\Delta P_R = Z$  THEN  $M = Z$

R2: IF  $\Delta V_R = Z$  AND  $\Delta P_R = PS$  THEN  $M = PS$

R3: IF  $\Delta V_R = PS$  AND  $\Delta P_R = Z$  THEN  $M = PS$

R4: IF  $\Delta V_R = PS$  AND  $\Delta P_R = PS$  THEN  $M = PM$

نحسب درجة تحقق القوانين لكل قانون باستخدام قاعدة AND و قاعدة min:

$$DOF_1 = \min \{ \mu_Z(\Delta V_R), \mu_Z(\Delta P_R) \} = \min \{ 0.7, 0.25 \} = 0.25$$

$$DOF_2 = \min \{ \mu_Z(\Delta V_R), \mu_{PS}(\Delta P_R) \} = \min \{ 0.7, 0.625 \} = 0.625$$

$$DOF_3 = \min \{ \mu_{PS}(\Delta V_R), \mu_Z(\Delta P_R) \} = \min \{ 0.25, 0.25 \} = 0.25$$

$$DOF_4 = \min \{ \mu_{PS}(\Delta V_R), \mu_{PS}(\Delta P_R) \} = \min \{ 0.25, 0.625 \} = 0.25$$

• استرجاع أو استعادة كمية التصحيح الموافقة لكل قانون في الجدول من الشكل (5):

- من أجل  $DOF_1 = 0.25$  الموافقة للقانون الأول حيث الخرج هو  $Z$  عندئذ يكون  $M_1 = 0$

- من أجل  $DOF_2 = 0.625$  الموافقة للقانون الثاني حيث الخرج هو  $PS$  عندئذ يكون  $M_2 = 0.25$

- من أجل  $DOF_3 = 0.25$  الموافقة للقانون الثاني حيث الخرج هو  $PS$  عندئذ يكون  $M_3 = 0.25$

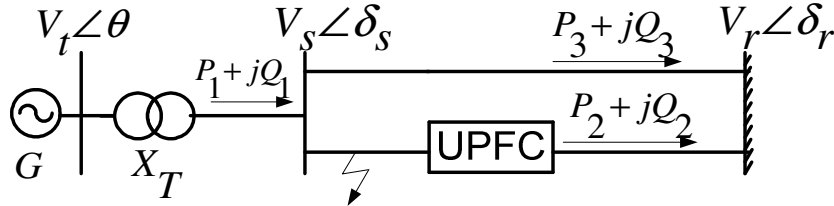
- من أجل  $DOF_4 = 0.25$  الموافقة للقانون الثاني حيث الخرج هو  $PM$  عندئذ يكون  $M_4 = 0.5$

• حساب الخرج بالقيم الحقيقية باستخدام طريقة الارتفاعات في العودة إلى الإشارات والمعطيات الحقيقية.

$$M = \frac{0 \times 0.25 + 0.25 \times 0.625 + 0.25 \times 0.25 + 0.5 \times 0.25}{0 + 0.25 + 0.25 + 0.5} = 0.34375 \quad (4)$$

#### 4. نتائج النمذجة والمحاكاة:

وللتحقق من صحة وفعالية نظام التحكم المقترح باستخدام منطق التحكم العشوائي لجهاز متحكم سريان الاستطاعة الموحدة، تمت عملية نمذجة جهاز متحكم سريان الاستطاعة الموحدة مع نظام التحكم المقترح ضمن نظام طاقة مؤلف من مولد، محولة وخطي نقل على التفرع موصلين مع حمل لا نهائي (يمثل الشبكة العامة) كما يظهر في الشكل (6):



الشكل (6) مخطط مبسط للنظام المختبر.

يظهر من الشكل (6) ربط جهاز متحكم سريان الاستطاعة الموحدة من جهة على التسلسل بخط النقل الثاني،

ومن جهة ثانية على التفرع مع عقدة الإرسال وتمت عملية النمذجة، والمحاكاة باستخدام برنامج

PSCAD/EMTDC. بارامترات النظام معطاة في الملحق.

كما تم مقارنة أداء جهاز متحكم سريان الاستطاعة الموحدة عند عمله مع نظام التحكم المقترح ومع نظام

التحكم التقليدي (PI) وذلك عند حدوث عطل ثلاثي الطور مع الأرض وهو أخطر أنواع الأعطال التي تصيب

الشبكات الكهربائية. حيث تمت عملية محاكاة النظام عند حدوث العطل كما يلي:

**المرحلة الأولى:** النظام في حالة استقرار ما قبل العطل.

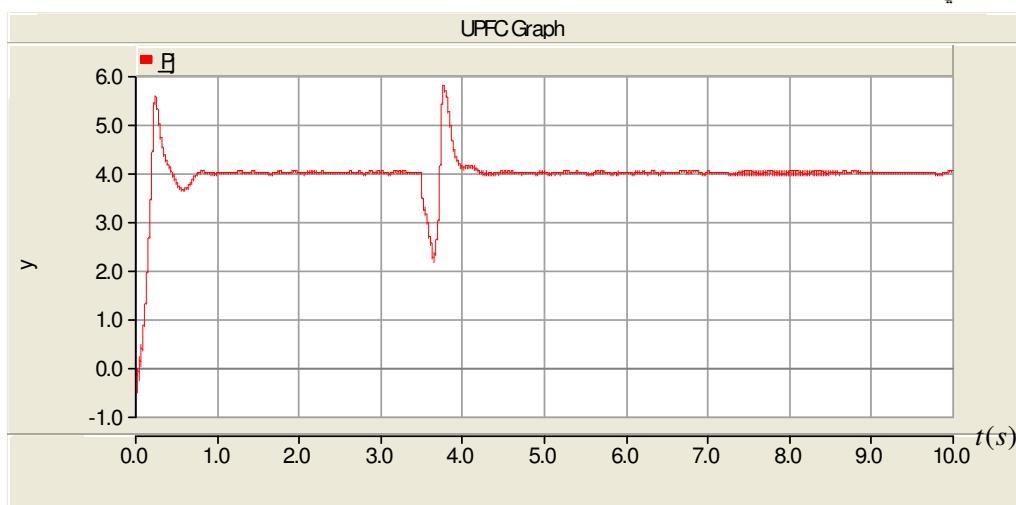
**المرحلة الثانية:** في اللحظة  $t = 3.5$  ثانية يحدث عطل ثلاثي الطور مع الأرض على الخط رقم

2 حيث يربط جهاز متحكم سريان الاستطاعة الموحدة كما يظهر في الشكل (6).

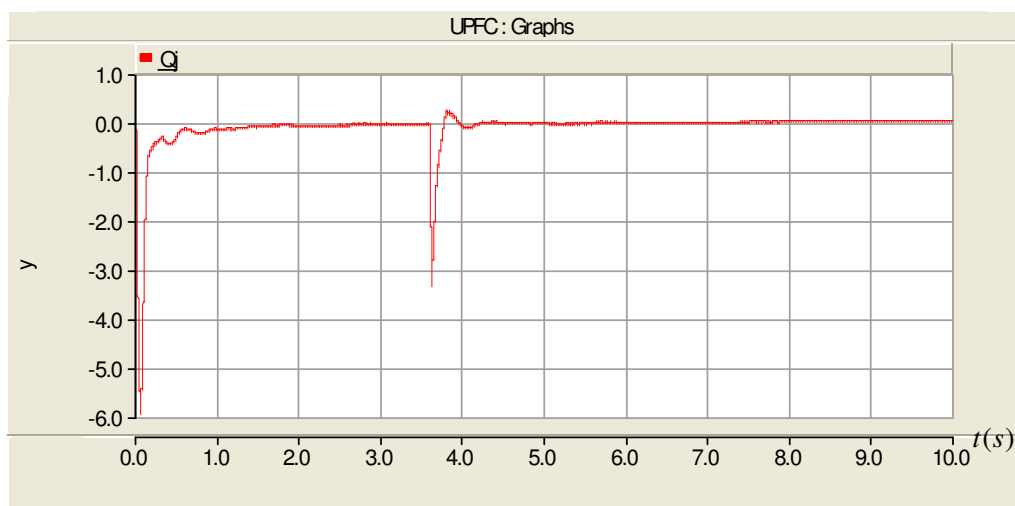
**المرحلة الثالثة:** بعد زمن قدرة 0.1 ثانية وهو زمن استمرار العطل يتم إزالة العطل.

**المرحلة الرابعة:** يعود النظام إلى مرحلة الاستقرار بعد إزالة العطل.

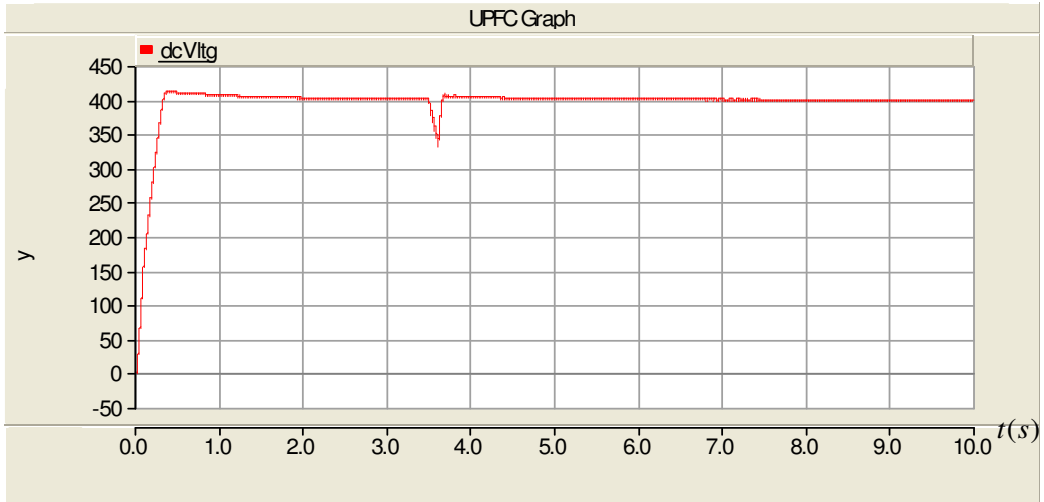
تظهر الأشكال (7 - 12) نتائج النمذجة والمحاكاة للنظام عند عمله مع نظام التحكم المقترح باستخدام المنطق العشوائي عند حدوث العطل المذكور.



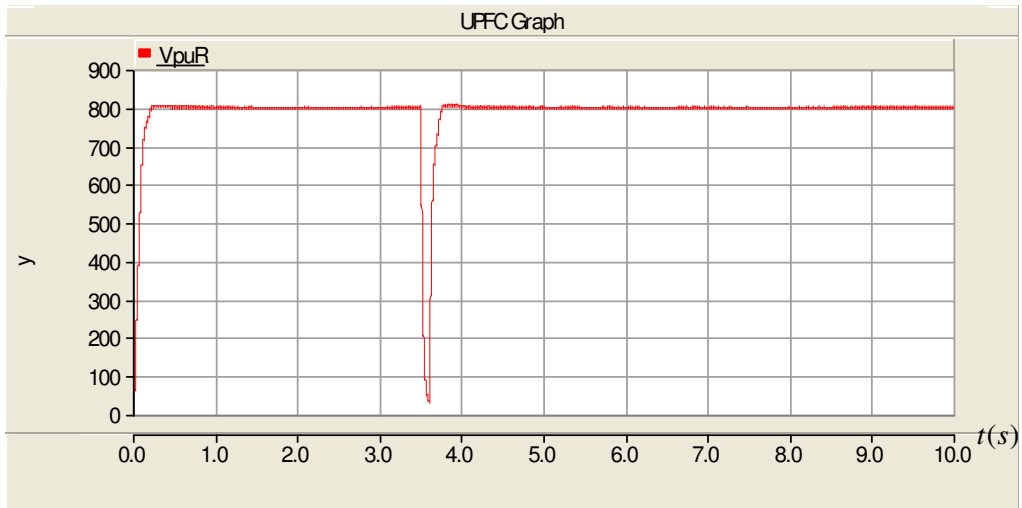
الشكل (7) استجابة الاستطاعة الفعلية للنظام لحدوث عطل ثلاثي الطور مع الأرض (متحكم المنطق العشوائي).



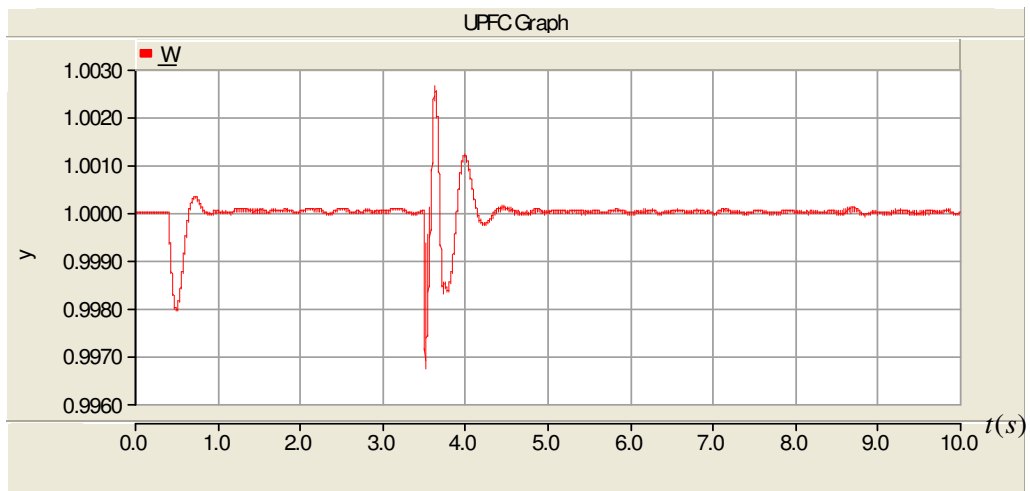
الشكل (8) استجابة الاستطاعة الردية للنظام لحدوث عطل ثلاثي الطور مع الأرض (متحكم المنطق العشوائي).



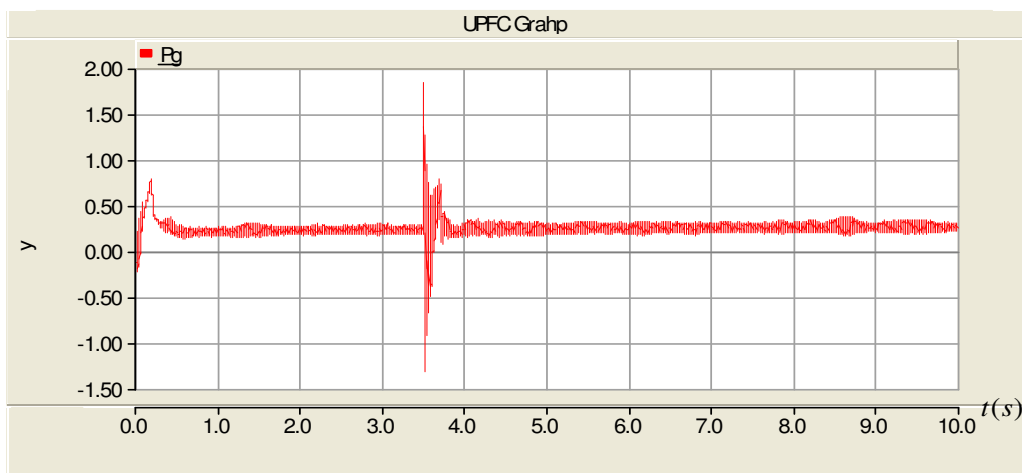
الشكل (9) استجابة جهد التيار المستمر للنظام لحدوث عطل ثلاثي الطور مع الأرض (متحكم المنطق العشوائي).



الشكل (10) استجابة جهد العقدة لحدوث عطل ثلاثي الطور مع الأرض (متحكم المنطق العشوائي).

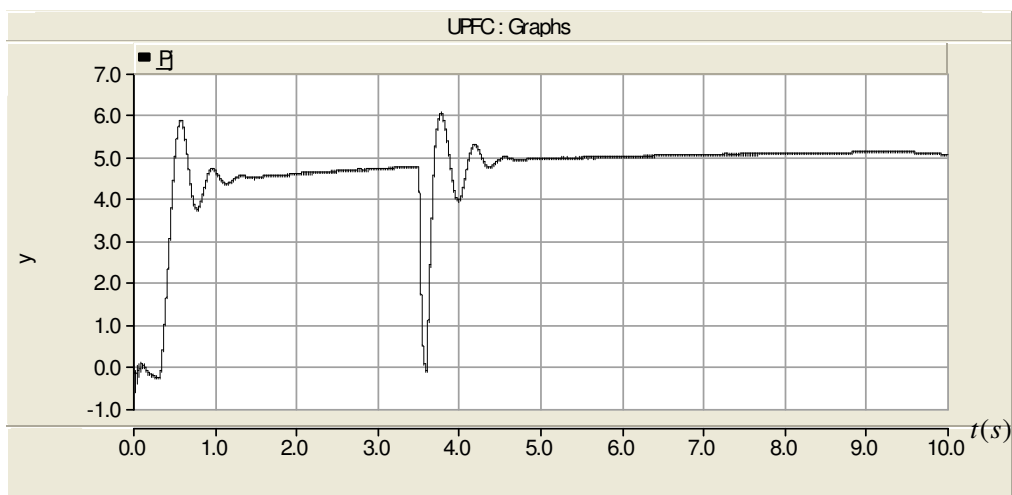


الشكل (11) استجابة سرعة المولد لحدوث عطل ثلاثي الطور مع الأرض (متحكم المنطق العشوائي).

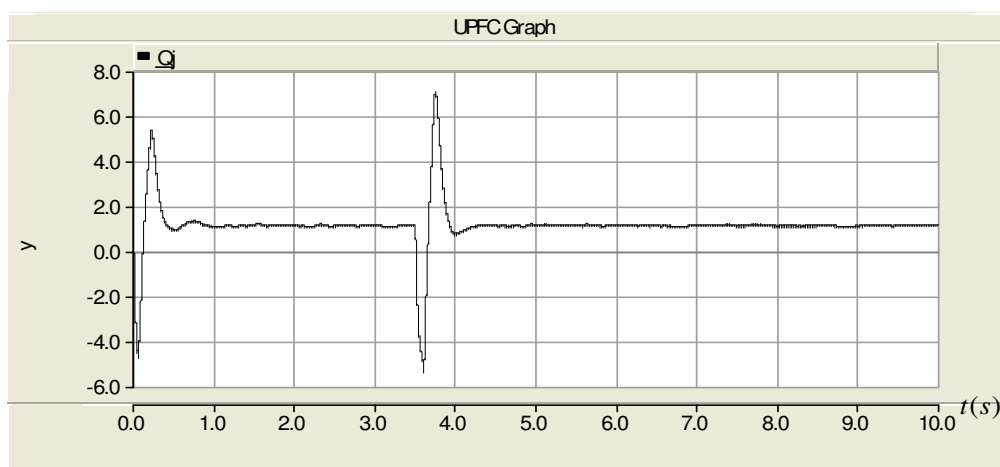


الشكل (12) استجابة استطاعة المولد لحدوث عطل ثلاثي الطور مع الأرض (متحكم المنطق العشوائي).

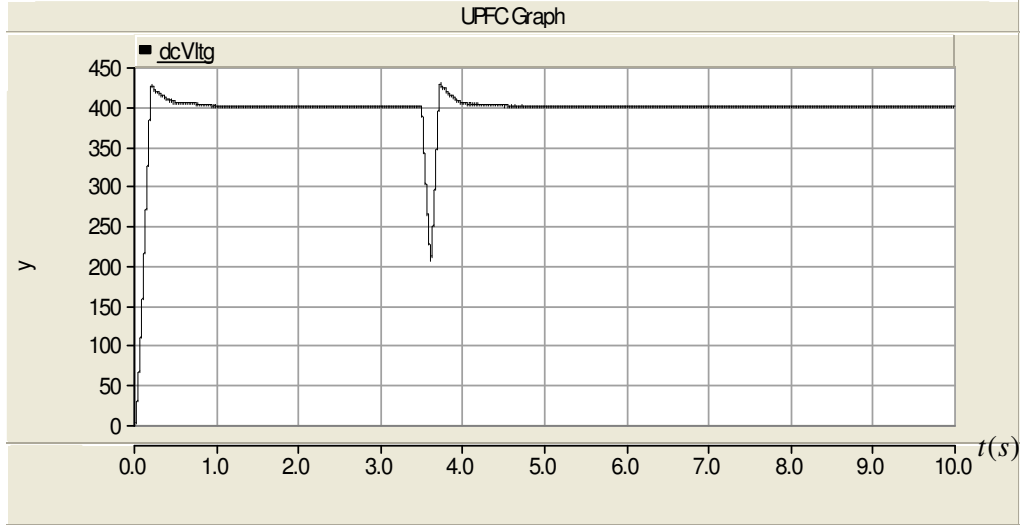
كما تظهر الأشكال (13-18) نتائج النمذجة والمحاكاة للنظام عند عمله مع نظام التحكم التقليدي (PI) عند حدوث العطل المذكور.



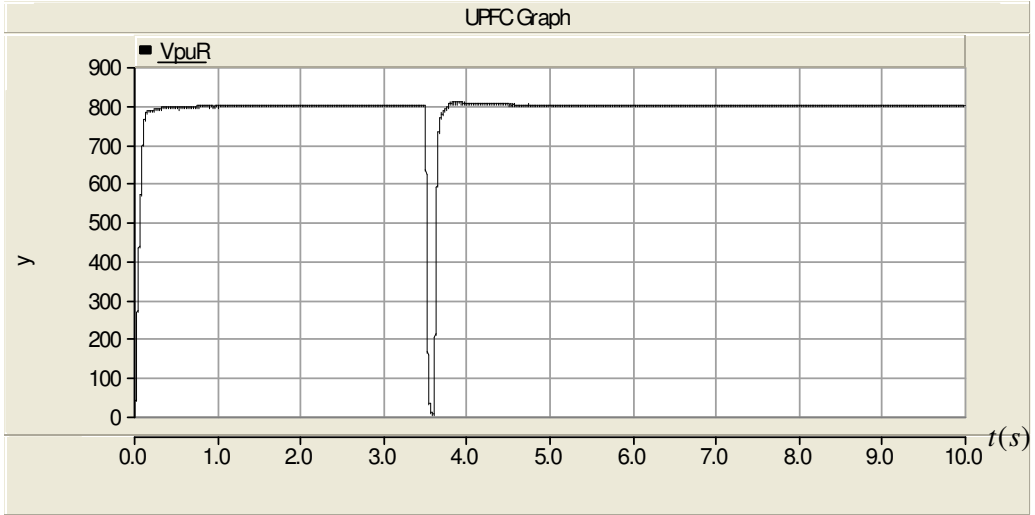
الشكل (13) استجابة الاستطاعة الفعلية للنظام لحدوث عطل ثلاثي الطور مع الأرض (متحكم PI).



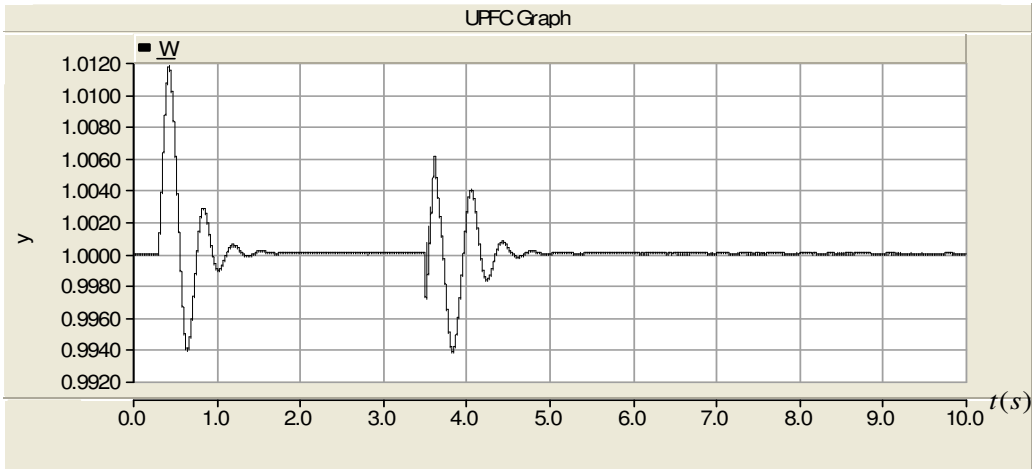
الشكل (14) استجابة الاستطاعة الردية للنظام لحدوث عطل ثلاثي الطور مع الأرض (متحكم PI).



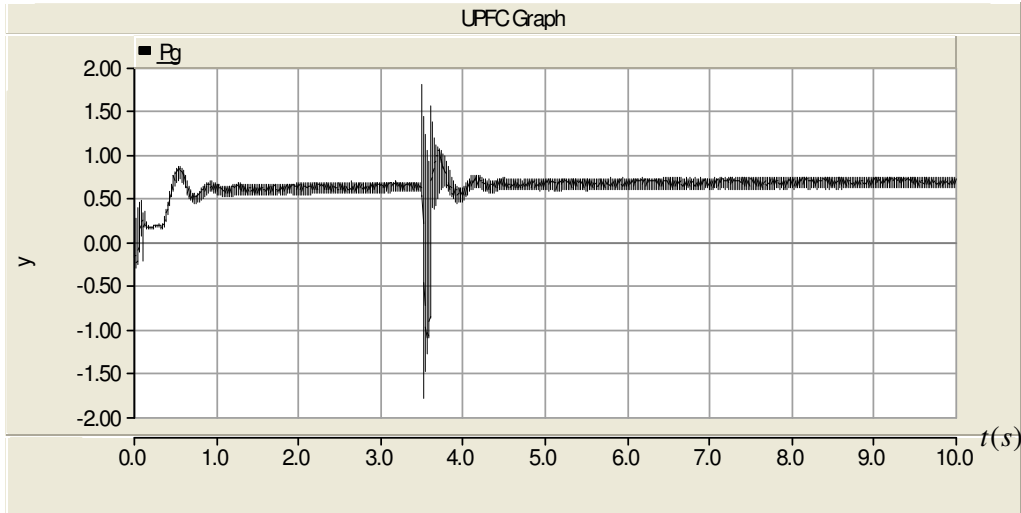
الشكل (15) استجابة جهد التيار المستمر للنظام لحدوث عطل ثلاثي الطور مع الأرض (متحكم المنطق PI).



الشكل (16) استجابة جهد العقدة لحدوث عطل ثلاثي الطور مع الأرض (متحكم PI).



الشكل (17) استجابة سرعة المولد لحدوث عطل ثلاثي الطور مع الأرض (متحكم المنطق PI).



الشكل (18) استجابة استطاعة المولد لحدوث عطل ثلاثي الطور مع الأرض (متحكم PI).

ومن مقارنة نتائج النمذجة والمحاكاة للنظام عند عمله مع كلا نظامي التحكم (المقترح والتقليدي) في أثناء العطل ثلاثي الطور، فإنه من الواضح أن أداء نظام التحكم باستخدام المنطق العشوائي أفضل من أداء نظام التحكم التقليدي من حيث تحسين الاستقرار العابر (مطال الموجة في اللحظة العابرة) وسرعة تخميد اهتزازات نظام الطاقة التي تعقب اللحظة العابرة أي بشكل عام تحسين الاستقرار الديناميكي للنظام. وهذا يدل على قوة نظام التحكم المقترح وثباته أثناء التغيرات التي تحدث في ظروف تشغيل نظام الطاقة الكهربائية.

### الاستنتاجات والتوصيات:

في هذا البحث تم تصميم نظام تحكم يعتمد على مبدأ المنطق العشوائي للتحكم بجهاز متحكم سريان الاستطاعة الموحدة (UPFC) لتحسين أداء هذا الجهاز في الحالة المستقرة والحالة غير المستقرة لنظام القدرة الكهربائية. استخدم نظام التحكم المصمم بشكل أساسي للتحكم والتنسيق بين إشارتي مطال وزاوية طور خرج قابلية منبع الجهد التي تمثل جهاز الـ UPFC للتحكم بسريان الاستطاعة الفعلية والرديية في خط النقل بغرض تحسين استقرار النظام عند حدوث عطل ثلاثي الطور مع الأرض.

أظهرت نتائج النمذجة والمحاكاة لأداء هذا الجهاز مع نظام التحكم المصمم عند عمله في نظام طاقة مزدوج الخط لانتهائي الاستطاعة في حالة العطل المذكورة، أن نظام التحكم المصمم قد حسن أداء هذا الجهاز تحسيناً واضحاً مقارنة بأدائه بوجود نظام تحكم تقليدي (PI) عند حالة العطل نفسها انعكس هذا إيجابياً على استجابة النظام كله وساعد في تحسين استقرار النظام بشكل كبير. كما بينت النتائج أن النظام التحكم المقترح هو نظام قوي ثابت ومستقر يضمن استقرار نظام الحلقة المغلقة أيضاً.

نوصي بتطوير هذا البحث لدراسة أداء هذا الجهاز مع نظام التحكم المقترح على الاستقرار العابر وتخميد الاهتزازات في نظام طاقة متعدد المولدات.

## المراجع:

1. HINGORANI, N. G.; GYUGYI, L. Understanding FACTS – Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems, IEEE Press, 2000, pp432..
2. ENRIQUE, C. R.; FUERTE-ESQUIVEL, H.; PEREZ, A. CAMACHO, C. A. FACTS Modeling and Simulation in Power Network, John Wiley & Sons, LTD. 2004, pp420.
3. IEEE PES Working Group, FACTS Applications, New York: IEEE Press, 1996.
4. SONG, Y. H.; JOHNS, A. T. Flexible AC Transmission System (FACTS), IEE Power and Energy Series 30, 1999, pp592..
5. GYUGYI, L. A Unified Power Flow Control Concept for Flexible AC Transmission Systems, IEE Proc.-C, 1992, pp. 323-331.
6. GYUGYI, L.; SCHAUDER, C. D.; WILLIAMS, S. L.; RIETMAN, T. R.; TORGERSON, D. R.; EDRIS, A. The Unified Power Flow Controller: A New Approach to Power Transmission Control, IEEE Trans. Power Delivery, 1995, pp.1085-1093.
7. RAHMAN, M.; AHMED, M.; GUTMNA, R.; O'KEEFE, R. J.; NELSON, R.; BIAN, J. UPFC Application on the AEP System: Planning Considerations, IEEE Trans. Power Systems, 1997, pp.1695-1701.
8. BOSE, B. K. Expert system, fuzzy logic and neural network application in power electronics and motion control. Proc. IEEE, Aug. 1994, pp. 1303-1323.
9. TSOUKALAS, L. H.; UHRIG, R. E. Fuzzy and neural approaches in engineering. Wiley, NY. 1997.
10. MATH WORKS, Fuzzy logic toolbox user's guide. Jan. 2011.
11. TAKAGI, T. SUGENO, M. Fuzzy identification of a system and its application to modeling and control. IEEE Trans. Syst. Man and Cybern., Jan. 1985, pp.116-132.
12. SOUSA, G. C. D. BOSE, B. K. A fuzzy set theory based control of a phase controlled converter dc drive. IEEE Trans. of Ind. Appl., Jan. 1994, pp. 34-44.
13. LI, Y. F.; LAU, C. C. Development of fuzzy algorithm for servo systems. IEEE Control Syst. Magazine. Apr. 1989.
14. SOUSA, G. C. D.; BOSE, B. K.; CLELAND, J. G. Fuzzy logic based on-line efficiency optimization control of an indirect vector controlled induction motor drive. IEEE Trans. of Ind. Elec., Apr. 1995, pp.192-198,.
15. MAHDAD, B.; BOUKTIR, T.; SRAIRI, K. Dynamic Methodology for Control of Multiple-UPFC to Relieve Overloads and Voltage Violations, The International Conf. on 'Computer as a Tool' (EUROCON), 2007, pp.1579–1585,.
16. BRUNO, S.; DE TUGLIE, E.; LA SCALA, M.; SCARPELLINI, P. Dynamic Security Corrective Control by UPFCs, IEEE Power Engineering Review, 2001, pp.58-58.
17. TAKASAKI, M. Power Transfer Capability Enhancement with UPFC under Circumstances of Uncertain Power Flow Pattern, IEEE PES Transmission and Distribution Conf. and Exhibition, 2006, pp.659-665.
18. PADIYAR, K. R.; KULKARNI, A. M. Control Design and Simulations of Unified Power Flow Controller, IEEE Trans. Power Delivery, 1998, pp.1348-1354,.



### الملحق

#### بارامترات نظام الطاقة المختبر

بارامترات نظام الطاقة المختبر - الاستطاعة والتوتر القاعديين (0.015 MVA, 0.23 kV)

بارامترات المولد:

(p.u.),  $x'_d = 0.132$  (p.u.),  $D = 0.5$  (p.u.),  $H = 3.51$  (s)  $x_d = 0.56$

بارامترات خط النقل:

(p.u.),  $x_L = 0.4122$  (p.u.)  $r_L = 0.36722$

بارامترات المحولة:

(p.u.), Voltage ratio: 0.23/0.8 (kV), Rated Power: 0.015 (MVA)  $x_T = 0.1$

بارامترات المحولة التفرعية:

Voltage ratio: 0.8/0.185 (kV), Resistance  $R_{sh} = 0.004$  (p.u.), Inductance

$L_{sh} = 0.1$  (p.u.)

بارامترات المحولة التسلسلية:

Voltage ratio: 0.185/0.23 (kV), Resistance  $R_{sh} = 0.005$  (p.u.), Inductance

(p.u.)  $L_{sh} = 0.05$