

Control Development of Series Compensator (TCSC) and Stability Enhancement in the Interconnected Power Systems

Dr. Mohammed Abulhameed*

Dr. Zaed Badr**

Noor Addin Solaiman***

(Received 16 / 12 / 2021. Accepted 14 / 2 / 2022)

□ ABSTRACT □

This paper presents a new technique for controlling the series compensator in electric power networks. This method is based on the development of a hybrid controller consists of proportional integral and fuzzy logic. The results demonstrate a significant improvement in compensator behavior in terms of tracking a specific reference of added impedance in series with the power transmission line with the presence of proposed control. The performance of the compensator was also tested on an interconnected network between three electrical regions to prove the compensator's effectiveness to achieve the high stability. The results showed that the failure leads the system goes of stability without a compensator, while the presence of the compensator allows maintaining stability when the faults occur. The simulation results in MATLAB software showed good performance of the control system in transient and steady states and the importance of using this type of compensator.

Keywords: Series compensator(TCSC), Fuzzy logic controller(FL), Interconnected electrical network.

* Professor, Department of Electrical Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. mahamid63@gmail.com.

**Professor, Department of Electrical Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. zbader59@gmail.com.

***Master Student, Department of Electrical Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria .nslyman339@gmail.com.

تطوير التحكم بالمعوض التسلسلي TCSC وتحسين الاستقرار في الأنظمة الكهربائية المترابطة

د. محمد عبد الحميد*

د. زيد بدر**

نور الدين سليمان***

تاريخ الإيداع 16 / 12 / 2021. قَبْلُ للنشر في 14 / 2 / 2022

□ ملخص □

يعرض هذا البحث تقنية جديدة للتحكم بالمعوض التسلسلي في شبكات القدرة الكهربائية. تعتمد هذه الطريقة على تطوير تشكيل متحكم هجين تكاملي تناسبي ومنطق ضبابي. أثبتت النتائج تحسناً ملحوظاً في سلوك خرج المعوض من حيث تتبع مرجع معين للممانعة المضافة على التسلسل مع خط نقل القدرة الكهربائية بوجود التحكم المقترح. تم أيضاً اختبار أداء المعوض على شبكة ارتباط افتراضية بين ثلاث مناطق كهربائية مرتبطة حلقياً لإثبات فعالية المعوض في تحسين استقرار مثل هذه الأنظمة. بينت النتائج أن العطل يؤدي لخروج النظام عن الاستقرار بدون معوض بينما وجود المعوض يسمح بالحفاظ على الاستقرار عند حدوث الأعطال. بينت نتائج المحاكاة في برنامج MATLAB أداءً جيداً لنظام التحكم في الحالتين العابرة والمستقرة وأهمية استخدام هذا النوع من المعوضات.

الكلمات المفتاحية: المعوض التسلسلي (TCSC)، التحكم الضبابي (FL)، الأنظمة الكهربائية المترابطة.

*أستاذ- قسم هندسة الطاقة الكهربائية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية-سورية.
mahamid63@gmail.com

**أستاذ- قسم هندسة الطاقة الكهربائية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية-سورية.
zbader59@gmail.com

***طالب دراسات عليا(ماجستير)-قسم هندسة الطاقة الكهربائية-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.
nsllyman339@gmail.com

مقدمة:

مع التطور الحديث في إلكترونيات القدرة الكهربائية وهندسة التحكم ونظراً لمرونتها دخلت أنظمة الـ FACTS (أجهزة نقل التيار المتناوب المرنة) وتطبيقاتها للتعويض التسلسلي والتفريعي بشكل كبير في الشبكات الكهربائية. الهدف من المعوضات هو تحسين القدرة التمريرية للخطوط بشكل أرخص من إنشاء خطوط جديدة. وتستعمل أيضاً لتحسين استقرار الجهد وزاوية الحمل للمولدات وقضبان التجميع في الشبكات المترابطة. يوجد عدة أنواع من المعوضات منها التسلسلية ومنها التفريعية حيث قارن المرجع [1] بين TCSC, SVC, SSSC (المعوض التسلسلي المتواقت الساكن، معوض القدرة الساكن، المكثف التسلسلي المقاد ثايرستوريا) لتحسين استقرار زاوية الدائر لنظام مكون من 9-BUS (9 قضبان تجميع) بـ 3 آلات. أثبتت نتائج المحاكات باستخدام MATLAB أفضلية استخدام SVC عن النوعين الآخرين في تقليل مطال الاهتزاز وزمن الحالة العابرة. في المرجع [2] اقترح الباحث طريقة لاختيار إشارات الدخل لعدة أنواع من أجهزة الـ FACTS وهي UPFC, SVC, SSSC (متحكم توحيد سريان الاستطاعة) من أجل إخماد الاهتزازات في الأنظمة الكهربائية متعددة المناطق. قارن الباحث في المرجع [3] تطبيقات أجهزة التعويض التسلسلية TCSC, SSSC في الشبكات الكهربائية مع متحكم إضافي كمخمد اهتزاز في نظام متعدد المناطق بهدف إخماد اهتزاز الطاقة بين المناطق. اثبتت النتائج إخماد أفضل مع وجود التحكم الإضافي بالمقارنة مع المخمد التقليدي PSS. في نفس المرجع استخدم الباحث متحكم تقليدي تناسبي تكاملي PI وهو المتحكم الأكثر شيوعاً ويعطي نتائج جيدة ولكنها قابلة للتحسين بإضافة نوع آخر أو استخدام متحكم هجين. اهتم الباحثون في هذا المجال بالمعوض التسلسلي TCSC المرجع [4]. حيث قدم الباحث دراسة تصميمية ونمذجة ومحاكاة لهذا المعوض وشرح نمطي العمل التحريضي والسعوي للمعوض المذكور. سعى الباحثون لتطوير أداء هذا المعوض باختبار واقتراح طرق تحكم مختلفة ومتنوعة. أما في المرجع [5] فقارن الباحث بين التحكم التقليدي PI والتحكم الهجين من تحكم تكاملي وتحكم ضبابي Fuzzy Logic. أثبتت النتائج بالمحاكاة فعالية هذا المتحكم الهجين. في المرجع [6] دمج الباحث متحكم تقليدي PI مع متحكم ضبابي Fuzzy Logic في طريق الجزء التناسبي في نظام ذو منطقتين ولوحظ تحسن ملحوظ في تخفيض الاهتزاز بين المنطقتين. سعى الباحث في المرجع [7] لتخفيض عدد القواعد في المتحكم الهجين الضبابي مع التقليدي PI في المعوض التسلسلي TCSC لتحسين استقرار أنظمة القدرة الكهربائية. أما في المرجع [8] فقد صمم الباحث متحكم ضبابي بسيط بالاعتماد على إشارة مراقبة تؤخذ من وحدة قياس طورية تقيس بدقة الاهتزازات ذات التردد المنخفض بين المناطق في نظام متعدد المناطق. أثبتت النتائج تحسناً ملحوظاً في تخامد الاهتزازات. في المرجع [9] تم استخدام متحكمين تقليديين PI وضبابي للمعوض التسلسلي TCSC في تحسين الاستقرار بالإضافة إلى مخمد الاهتزاز PSS. بينت النتائج أن المتحكم المقترح ذو أداء جيد ومستقر تجاه تغير الأحمال وحالات الأعطال. في المرجع [10] استخدم الباحث التحكم الضبابي الأمثل مع متحكم PID تناسبي تكاملي تفاضلي. استخدم الباحث كطريقة في الأمثلة طريقة الخوارزمية الجينية وذلك لتحسين سلوك المعوض TCSC لتحسين استقرار نظام بـ 3 مولدات. في المرجع [11] قارن الباحث بين المتحكم التقليدي PID والضبابي Fuzzy Logic في تحسين سلوك المعوض التسلسلي TCSC لضبط الاستطاعة المنقولة عبر خط نقل. اثبتت النتائج أفضلية للتحكم الضبابي من ناحية تخفيض تذبذب الاستطاعة المنقولة. أما في المرجع [12] استخدم الباحث دمجاً بين المتحكم الضبابي والشبكات العصبونية لتوليد قواعد المتحكم الضبابي لتحسين سلوك المعوض TCSC. اثبتت النتائج تخميماً أفضل بالمقارنة مع متحكم PI في نظام ثنائي المناطق. في المرجع

[13] استخدمت خوارزمية مستعمرة النحل لأتمتة تصميم التحكم الضبابي و المعوض التسلسلي في نظام قدرة من أجل استقرار الجهد وضبطه. في المرجع [14] قدم الباحث متحكم ضبابي ولكن بتعديل في توابع العضوية لتخميد الاهتزازات في نظام قدرة كهربائي يحوي معوض تسلسلي TCSC. بينت النتائج أن التحكم الضبابي المقترح أفضل من التحكم الضبابي الشائع. في المرجع [15] استخدم الباحث التحكم الضبابي للتحكم بسيان الاستطاعة الفعالة عبر خط نقل وتتبع قيم مرجعية مرغوبة للاستطاعة باستخدام الـ TCSC. استعمل الباحث المعوض التسلسلي للربط بين منطقتين ، المرجع [16]. بينت النتائج أن المعوض التسلسلي مع التحكم الضبابي يؤمن استقرار النظام ويخفض مطال الاهتزاز عند حدوث عطل كهربائي.

في هذا البحث قمنا بمساهمة جديدة في تحسين سلوك المعوض TCSC عن طريق متحكم هجين PI+FUZZY. قمنا أيضاً بدراسة أثر استخدام المعوض التسلسلي TCSC على نظام ذو ثلاث مناطق موصول بشكل حلقي. أثبتت النتائج أفضلية للتحكم الهجين عن التحكم التقليدي وتحسين في استقرار النظام المدروس وتخفيض في مطال الاهتزاز.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى إثبات فعالية استخدام المتحكم الهجين تناسبى -تكاملي (PI) مع المنطق الضبابي في تحسين سلوك خرج المعوض التسلسلي TCSC في نظم القدرة الكهربائية. وأيضاً إلى إثبات فعالية وأهمية استخدام المعوض التسلسلي TCSC في الأنظمة الكهربائية المترابطة لدعم استقرارها في مواجهة الاضطرابات المحتملة.

طرائق البحث ومواده:

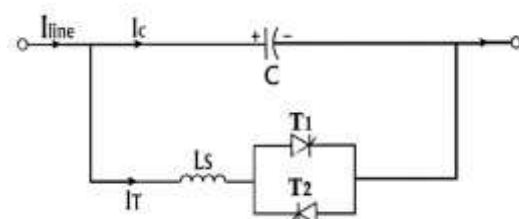
بعد دراسة مرجعية تحليلية عن طرق التحكم في المعوضات التسلسلية تم الاعتماد على طريقة تحكم هجين. تم نمذجة المعوض التسلسلي وطريقة التحكم في بيئة MATLAB / Simulink. جرى بعده تصميم حلقات التحكم والمتحكمات التقليدية PI والمتحكم الضبابي وقواعده وتقنياته واختبار أدائه من أجل مرجع Reference متغير للممانعة التسلسلية. اعتمد في هذا البحث على تحليل نتائج النمذجة والمحاكاة والمقارنة من أجل إثبات صحة وفعالية الطريقة المقترحة للتحكم بالمعوض التسلسلي TCSC في المناطق الكهربائية المترابطة.

النتائج والمناقشة:

في الفقرات التالية سنورد دراسة مختصرة عن الأنظمة المترابطة كهربائياً ونمذجة المعوض التسلسلي. يلي ذلك شرح عن التحكم الضبابي. سيتم أيضاً مناقشة نتائج تطبيق هذا التحكم على النموذج المدروس واستخلاص النتائج والاستنتاجات والتوصيات.

مبدأ المعوض التسلسلي TCSC:

يربط المعوض التسلسلي على التسلسل مع خط النقل الكهربائي ويتألف من مكثف على التفرع مع ملف موصول على التسلسل مع ثايرستورين على التضاد (ترياك) كما في الشكل (1). يقدم المعوض التسلسلي تحكماً مستمراً في الاستطاعة المارة عبر خط النقل . يحسن ذلك أيضاً من استقرار الجهد واخماد الاهتزازات الصغيرة حسب المراجع المذكورة في المقدمة.



الشكل رقم (1): الدارة الكهربائية للمعوض التسلسلي TCSC

يعمل المعوض بنمطين سعوي وتحريضي حسب زاوية قدح الثايرستورات α . يعمل بالنمط السعوي عندما يكون الحمل تحريضيًا وتكون النتيجة رفع جهد العقدة عند الحمل. في حال ارتفاع جهد عقدة الحمل يجب أن يعمل المعوض بالنمط التحريضي لتخفيض الجهد.

نمذجة المعوض التسلسلي TCSC:

يكافئ المعوض التسلسلي بممانعة كما في المعادلة التالية:

$$Z_{cq} = -j \frac{1}{\omega C - \frac{1}{\omega L}}$$

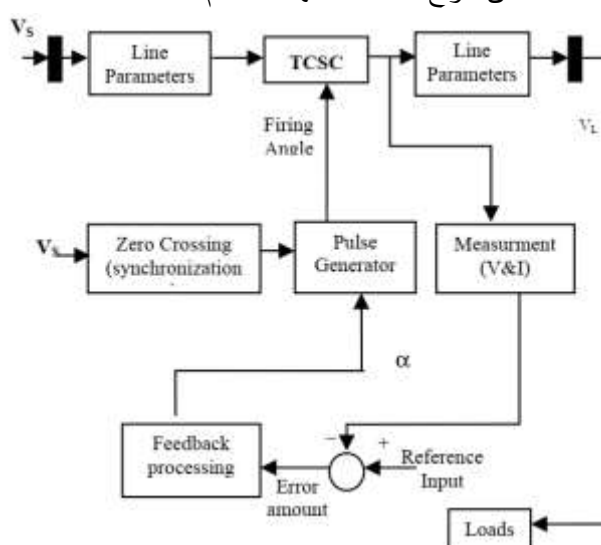
في النمط السعوي تكون زاوية القدح بين زاوية الرنين $\alpha_{res} < \alpha < 180^\circ$ أما في النمط التحريضي فتكون $\alpha_{res} > \alpha$ وتحسب α_{res} كما في المعادلات التالية.

$$\omega_r = 1/(L.C)^{1/2}$$

$$\alpha_{res} = \pi - (\pi.\omega)/(2\omega_r)$$

التحكم بالمعوض التسلسلي TCSC:

يتم توليد نبضات القدح للثايرستورين عن طريق دائرة تحكم كما هو موضح في الشكل (2). يتم قياس الجهد والتيار على خرج المعوض واستنتاج الممانعة المقاسة ومقارنتها بقيمة مرجعية مرغوبة حسب نمط العمل المرغوب. يتم بعدها توليد نبضات القدح بواسطة متحكمات من أنواع مختلفة أهمها المتحكم PI.



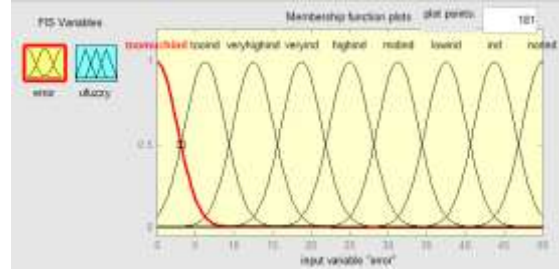
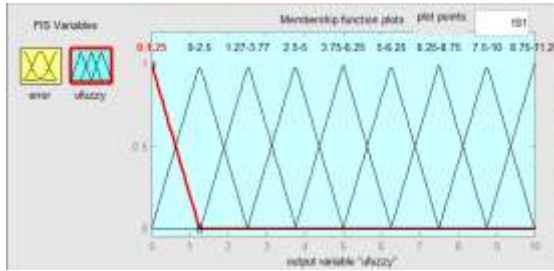
الشكل رقم (2): مخطط التحكم للمعوض التسلسلي TCSC

المتحكم الضبابي المقترح:

تم في هذا البحث إضافة متحكم ضبابي للمتحكم PI الموجود أساساً في دارة تحكم المعوض في النمطين التحريضي والسعوي، الشكلان (10 و 13)، بهدف تحسين سلوك النظام ككل. تم تصميم توابع العضوية والقواعد للمتحكم الضبابي كما في الأشكال التالية حسب نوع نمط عمل المعوض التسلسلي.

في النمط التحريضي:

تم تصميم توابع العضوية والقواعد حسب ما هو موضح في الأشكال التالية.



الشكل رقم (4): توابع العضوية لإشارة التحكم الإضافي

الشكل رقم (3): توابع العضوية لإشارة الدخل (الخطأ) النمط التحريضي

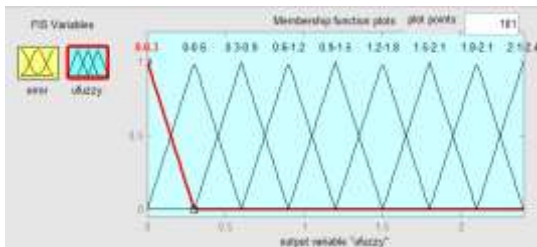
تم تصميم تسع قواعد كما هو موضح في الشكل (5)

1. If (error is toomuchind) then (ufuzzy is 8.75-11.26) (1)
2. If (error is tooind) then (ufuzzy is 7.5-10) (1)
3. If (error is veryhighind) then (ufuzzy is 6.25-8.75) (1)
4. If (error is veryind) then (ufuzzy is 5-6.25) (1)
5. If (error is highind) then (ufuzzy is 3.75-6.25) (1)
6. If (error is midind) then (ufuzzy is 2.5-5) (1)
7. If (error is lowind) then (ufuzzy is 1.27-3.77) (1)
8. If (error is ind) then (ufuzzy is 0-2.5) (1)
9. If (error is norind) then (ufuzzy is 0-1.25) (1)

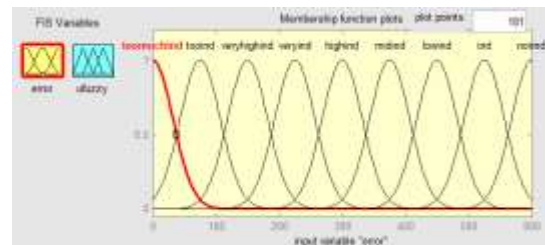
الشكل رقم (5): القواعد في النمط التحريضي

في النمط السعوي:

تم تصميم توابع الربط والقواعد كما في الأشكال التالية:



الشكل رقم (7): توابع العضوية لإشارة التحكم الإضافي نمط سعوي



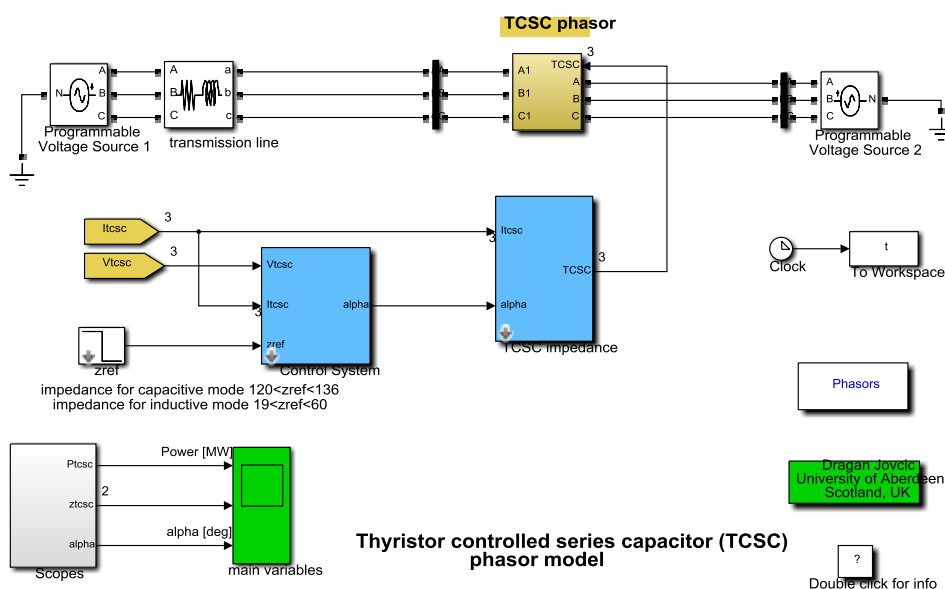
الشكل رقم (6): توابع العضوية لإشارة الدخل (الخطأ) نمط سعوي

1. If (error is toomuchind) then (ufuzzy is 2.1-2.4) (1)
2. If (error is tooind) then (ufuzzy is 1.8-2.1) (1)
3. If (error is veryhighind) then (ufuzzy is 1.5-2.1) (1)
4. If (error is veryind) then (ufuzzy is 1.2-1.8) (1)
5. If (error is highind) then (ufuzzy is 0.9-1.5) (1)
6. If (error is midind) then (ufuzzy is 0.6-1.2) (1)
7. If (error is lowind) then (ufuzzy is 0.3-0.9) (1)
8. If (error is ind) then (ufuzzy is 0-0.6) (1)
9. If (error is norind) then (ufuzzy is 0-0.3) (1)

الشكل رقم (8): القواعد في النمط السعوي

التحكم المقترح في المعوض التسلسلي TCSC:

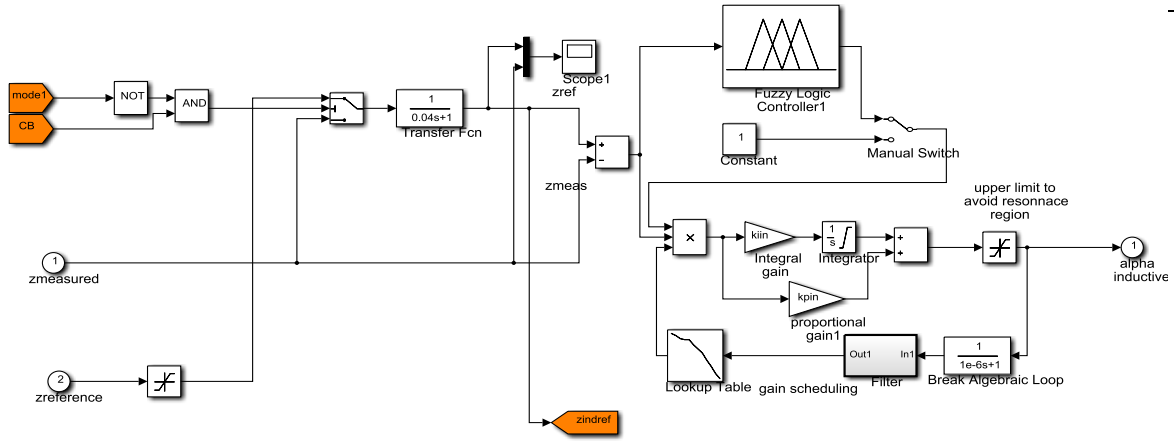
في النموذج الجاهز الموجود في بيئة MATLAB الموضح في الشكل (9) للمعوض التسلسلي TCSC قمنا بتعديل دائرة التحكم الموجودة أساسا مع متحكم PI بإضافة متحكم ضبابي Fuzzy logic كما هو موضح في الأشكال (10) و(13). في الشكل (9) يوجد خط نقل و يقوم المعوض التسلسلي بضبط الاستطاعة المنقولة بين الطرفين. يعمل المعوض بنمطين تحريضي لتخفيض الاستطاعة المارة وسعوي لزيادة قدرة التمرير.



الشكل رقم (9): نموذج المعوض مع نظام التحكم

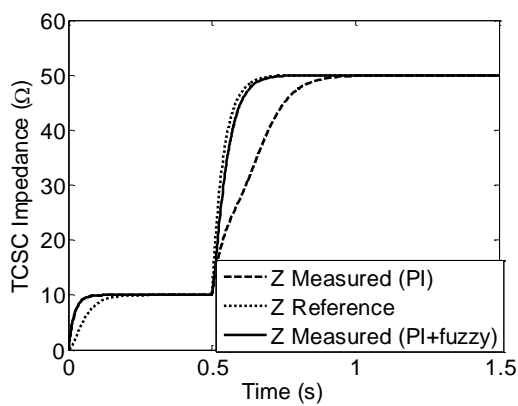
محاكاة التحكم المقترح بالمعوض التسلسلي TCSC:

في النمط التحريضي يكون $19.3(\Omega) \leq Z \leq 60(\Omega)$. يوضح المخطط في الشكل رقم (10) المعوض التسلسلي ونظام التحكم به وهي نفس دائرة التحكم الموجودة في النموذج الموجود في MATLAB ولكن بعد إضافة المتحكم الضبابي لها. تم المقارنة بين أداء المعوض مع وبدون الطريقة الهجينة المقترحة في الشكلين (11,12).

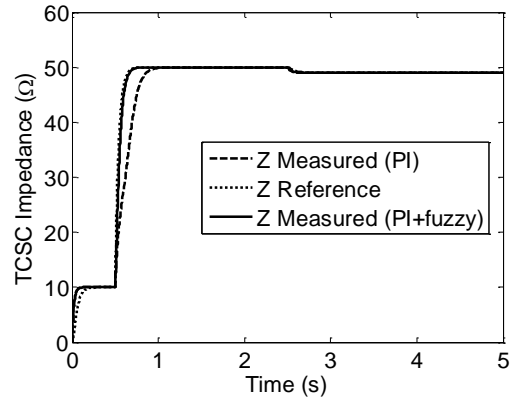


الشكل رقم (10): نمذجة التحكم الهجين في النمط التحريضي

يوجد في الشكل (10) قاطع ذو وضعين الأول من أجل نظام مع تحكم تناسبي تكاملي والوضع الثاني يضيف متحكم ضبابي للمتحكم السابق. تم محاكاة العمل عند نفس الظروف للوضعين والمقارنة بينهما على الشكل (11).

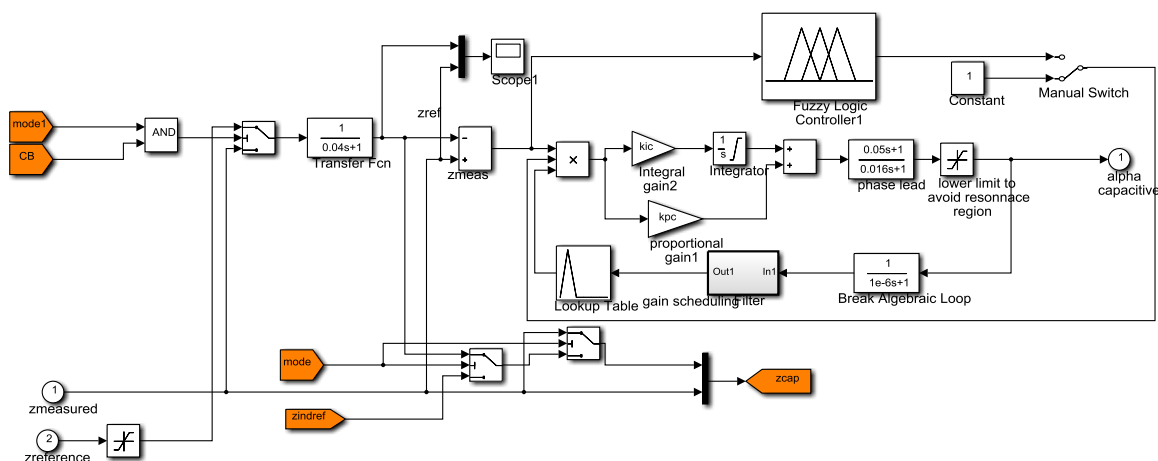


الشكل رقم (12): تكبير عن الشكل (11)



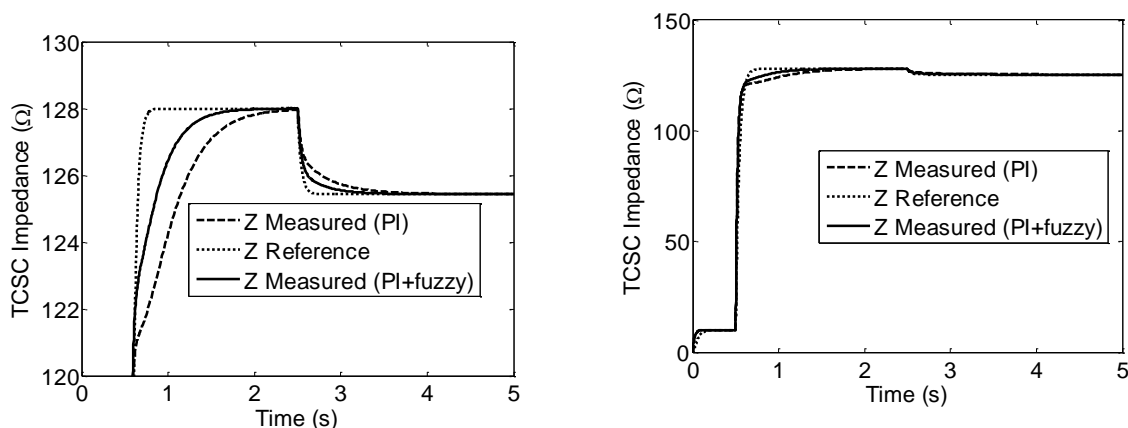
الشكل رقم (11): تغيير ممانعة المعوض مع وبدون تحكم ضبابي

يبين الشكل (11) والشكل (12) أن سلوك الحالة العابرة والمستقرة للخرج (ممانعة المعوض) بعد الزمن (s) 0.5 (زمن تشغيل المعوض) قد تحسن بشكل ملحوظ وأصبح الخرج المقاس مع تحكم هجين (مع ضبابي) أقرب إلى المرجع. في نمط التشغيل سعوي للمعوض، $120.5(\Omega) \leq Z \leq 136(\Omega)$ ، تكون دائرة التحكم بحلقة مغلقة كما هو موضح بالشكل (13). وهي نفس دائرة التحكم الموجودة في النموذج الموجود في MATLAB ولكن بعد أن أضفنا المتحكم الضبابي لها.



الشكل رقم (13): نمذجة التحكم الهجين في النمط السعوي

يوجد في الشكل (13) قاطع ذو وضعين الأول من أجل نظام مع تحكم تناسبي تكاملي والوضع الثاني يضيف متحكم ضبابي للمتحكم الأساسي. تم محاكاة العمل عند نفس الظروف للوضعين والمقارنة بينهما على الشكل (14).



الشكل رقم (15): تكبير عن الشكل (14)

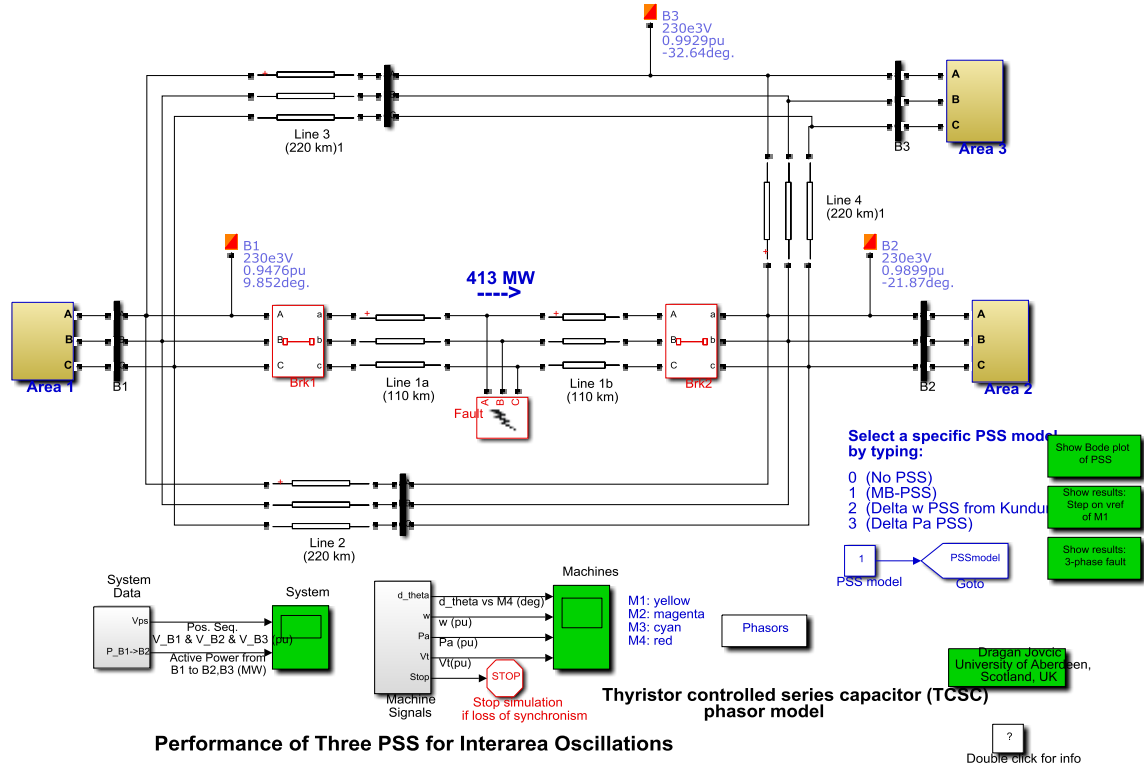
الشكل رقم (14): تغير ممانعة المعوض مع وبدون تحكم ضبابي

يلاحظ من الشكل (14) والشكل (15) أن سلوك الخرج قد تحسن بشكل ملحوظ وأصبح الخرج أقرب إلى المرجع في حالة استخدام المتحكم الهجين (مع تحكم ضبابي) محاكاة الأنظمة المترابطة لتحسين الاستقرار:

يسمح ارتباط المناطق بتبادل الاستطاعة بين عدة مناطق متباعدة وإن الحاجة للتوسع في الارتباط إلى مناطق جديدة قد تهدد استقرار النظام. في هذا السياق تم محاكاة توسع في نظام مرتبط من منطقتين إلى ثلاثة مناطق حيث تم الارتباط حلقياً لزيادة موثوقية الإمداد بالطاقة. سيتم المقارنة فيما يلي بين نظام مترابط بدون معوضات ونفس النظام فيما لو أضيف له معوضات وسنجد أن الثاني أفضل من حيث الاستقرار والاستطاعة المارة عبر الخطوط.

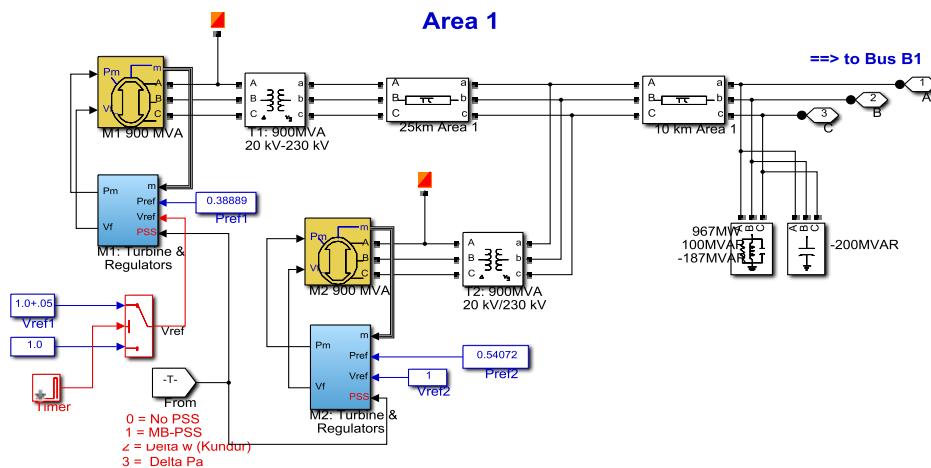
نظام مترابط من ثلاث مناطق بدون معوضات تسلسلية TCSC:

يمكن في الشكل رقم (16) ملاحظة وجود ثلاث مناطق مترابطة بشكل حلقي وهذا النظام افتراضي من أجل البحث العلمي ولكن يمكن أن يكون واقعياً ومطبّقاً فعلياً أو مقترحاً للتطبيق. تتغذى جميع المناطق من بعضها لزيادة الموثوقية واستمرار التغذية. تم في النموذج إدخال عطل كهربائي ثلاثي الطور على المغذي الرئيسي بين المنطقتين الأولى والثانية وذلك لتحليل تأثير ذلك على استقرار النظام الكهربائي المترابط.



الشكل رقم (16): نظام قدرة مترابط ثلاثي المناطق بدون معوضات تسلسلية

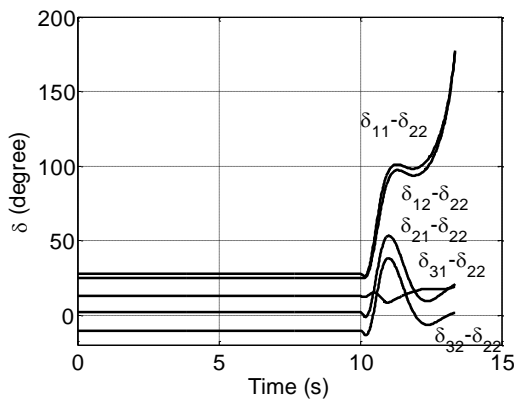
أيضاً في الشكل رقم (16) في كل منطقة مولدان متوائمان مرتبطان على التوازي كما في الشكل (17). المناطق الثلاثة متشابهة في التكوين والعدد والمنطقتين الثانية والثالثة متماثلتان بالمحددات لتسهيل الدراسة.



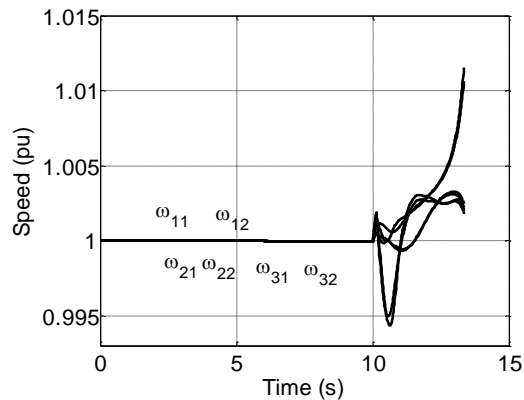
الشكل رقم (17): مكونات المنطقة الأولى في النظام متعدد المناطق

في حالة العطل:

نفترض حصول عطل ثلاثي الطور (قصر) في اللحظة (s) 10 واستمراره حتى (s) 10.2 وخروجه عن الخدمة بسبب عمل القاطعين الطرفيين وفصل الخط وهذا سوف يؤدي إلى خروج النظام عن الاستقرار اذا لم تؤمن الخطوط المتبقية نقل الاستطاعة المقطوعة من الخط المعطل. كما في الشكل (18) يلاحظ خروج النظام عن الاستقرار في اللحظة 12 ثانية أي بعد ثانيتين من بدء العطل. يبين الشكلان (18) و(19) تغير السرعة وزاوية الدائر للمولدات في المناطق المختلفة مع وجود العطل ويلاحظ خروج النظام عن الاستقرار والتزامن.



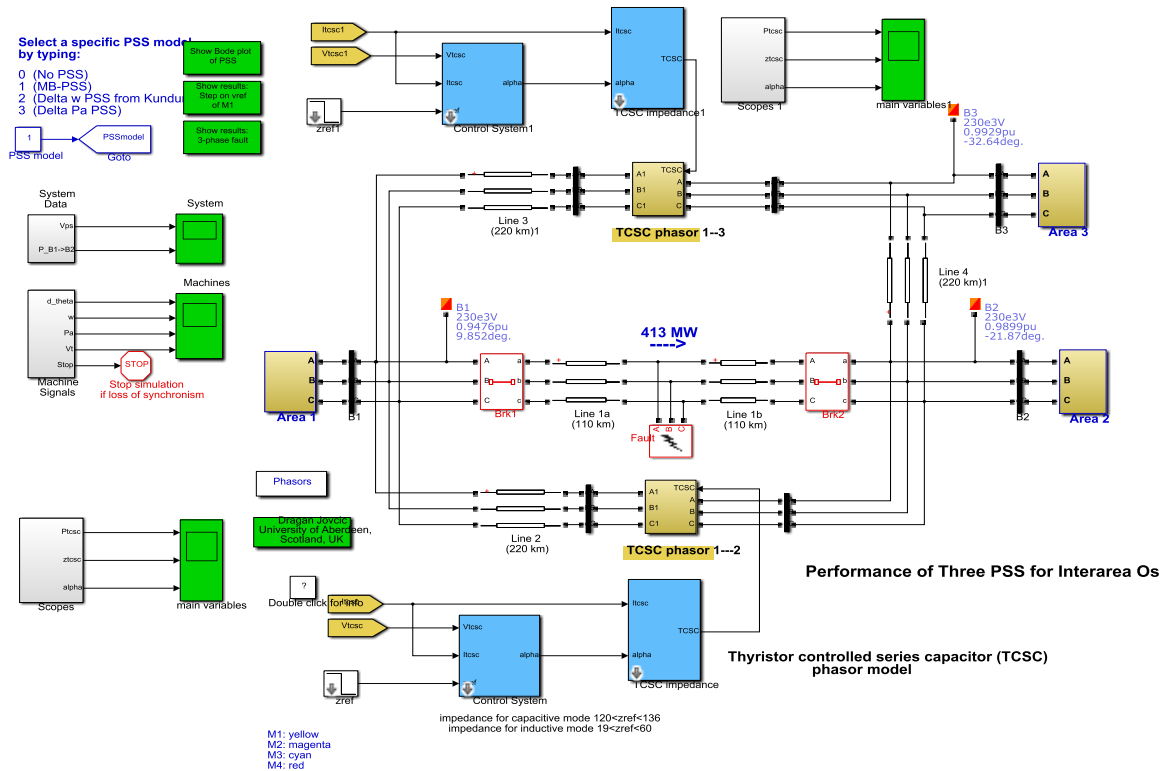
الشكل رقم (19): سرعة الدوران للمولدات



الشكل رقم (18): زاوية الدوار النسبية للمولدات

نظام مترابط مع معوضات تسلسلية TCSC:

يلاحظ في الشكل رقم (20) إضافة معوضين تسلسليين TCSC على الخطين الواصلين بين المنطقة الأولى والمنطقتين الثانية والثالثة بالمقارنة مع الشكل رقم (16)، والهدف هو تحليل تأثير هذه الإضافة بدون عطل ومع عطل.

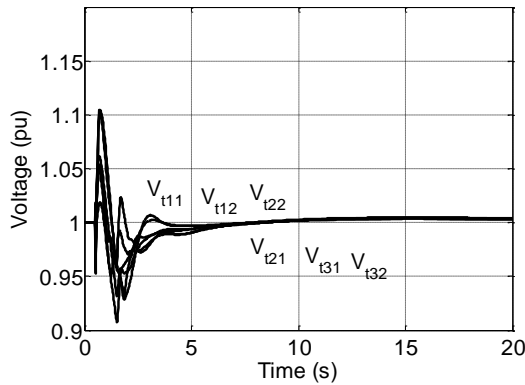


الشكل رقم (20): نظام قدرة مترابط ثلاثي المناطق مع معوضات تسلسلية

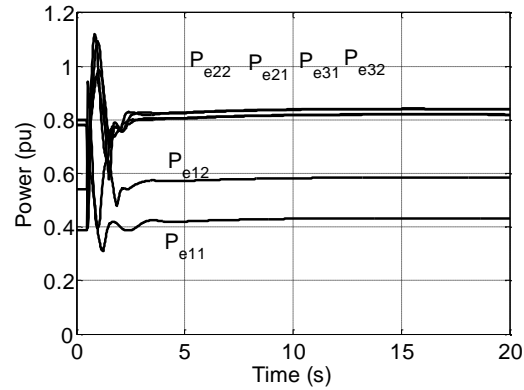
إن وجود المعوضات TCSC يسمح بالتحكم بتدفق الاستطاعة المنقولة بين المناطق زيادة أو نقصاناً حسب نمط العمل للمعوض سعوي أو تحريضي. يسمح ذلك تخفيف الحمل عن المغذي الرئيسي بين المنطقة الأولى والثانية وتحسين استقرار النظام في حال حدث عطل على المغذي الرئيسي. عند استخدام معوضات الاستطاعة TCSC كما في الشكل (20) حيث تم ضبط زاوية القدح للمعوضين على 90 و 120 درجة لزيادة القدرة التمريرية للخطين بين المناطق الثلاث.

من دون عطل:

تبين الأشكال التالية تغيرات الجهد والاستطاعة للمولدات الموجودة في النظام والسرعة وزاوية الحمل لكل منها بدون وجود عطل على المغذي الرئيسي.

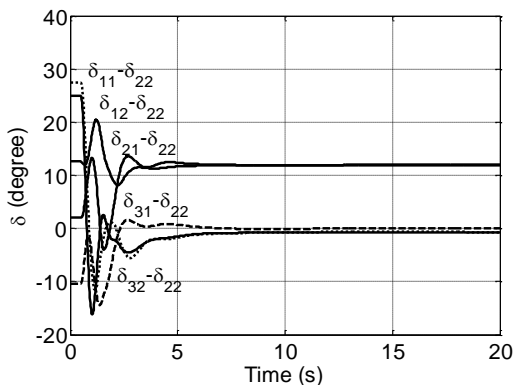


الشكل رقم (22): الاستطاعة المنتجة من كل مولد

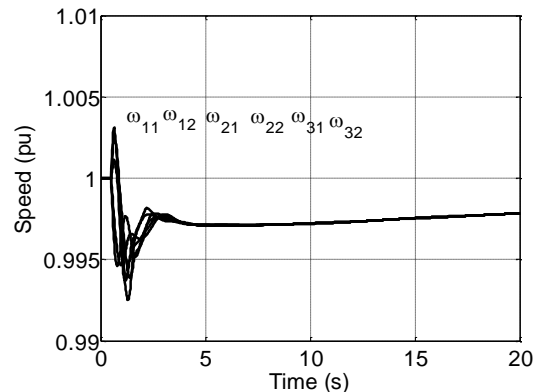


الشكل رقم (21): الجهد الطرفي للمولدات

يظهر من الشكل (21) أن الجهد يتذبذب عند لحظة تشغيل المعوضين التسلسليين لمدة (4.6) ثانية ولكن بعد حالة عابرة مقبولة يعود إلى قيمة قريبة جداً من قيمته قبل إضافة المعوضات. في الشكل (22) يلاحظ تذبذب الاستطاعة الناتجة عن المولدات لحظة تشغيل المعوضين ثم عودتها إلى قيمة قريبة من قيمتها قبل التعويض ولكن بزيادة طفيفة. هذه الزيادة بعد التعويض ناتجة عن تغير في سريان الاستطاعة نتيجة تغير ممانعة الشبكة بسبب إضافة المعوض TCSC. تبين الأشكال التالية تغير السرعة وزاوية الدائر للمولدات في المناطق المختلفة.



الشكل رقم (24): سرعة الدوران للمولدات

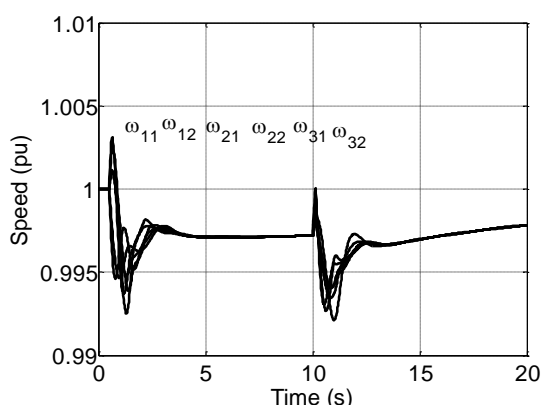


الشكل رقم (23): زاوية الدائر النسبية للمولدات

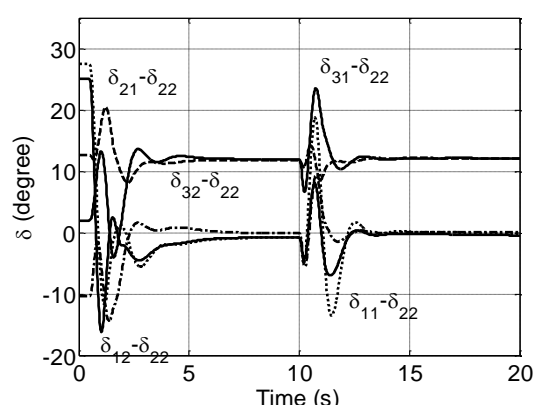
تكون زاوية الدائر، الشكل (23)، لجميع المولدات في أدنى قيمها بفضل استخدام المعوضات مما يزيد هامش استقرار المولدات حيث تعمل على زاوية حمولة منخفضة ومتقاربة. يوضح الشكل (23) أيضاً أن ثلاثة آلات تعمل عند نفس زاوية الحمولة للمولدة المرجعية الثانية في المنطقة الثانية. وأثنان آخرين تعملان عند نفس زاوية الحمولة وتختلف عن زاوية الآلة المرجعية بمقدار 10 degree. أما السرعة في الشكل (24) فهي ثابتة والتزامن مؤمن.

في حالة العطل:

نفترض حصول عطل ثلاثي الطور (قصر) في اللحظة 10 (s) واستمراره حتى 10.2 (s) وخروجه عن الخدمة بسبب عمل القاطعين الطرفيين وفصل الخط وهذا سوف يؤدي إلى خروج النظام عن الاستقرار بدون معوضات كما رأينا في الأشكال (18 و 19). أما مع معوضات فالوضع مختلف. إذ يلاحظ من الأشكال (25 و 26) أن النظام حافظ على استقراره عند نفس ظروف العطل بدون معوض. فقد أمنت المعوضات سعة تمريرية كافية لاستيعاب الطاقة التي كانت من المفترض نقلها عبر الخط المعطل وبذلك حافظ النظام على استقراره. حتى أن مطال الحالة العابرة عند اضطراب النظام في وقت العطل كان منخفضاً كما هو واضح من تغير زاوية الموضع والسرعة للدائر، الشكلان (25) و (26).



الشكل رقم (26): سرعة الدوران للمولدات بوجود معوض



الشكل رقم (25): زاوية الدائر النسبية للمولدات بوجود معوض

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- تحقيق نتائج جيدة لتطبيق الطريقة المقترحة من تحكم هجين تناسبي تكاملي وضبابي بدلا من استخدام تحكم تناسبي تكاملي فقط ما يثبت فعالية التحكم المقترح.
- تحسين السلوك الديناميكي لتغير المانعة التسلسلية في النمطين التحريضي والسعوي من ناحية تخفيض زمن الحالة العابرة ومطالها.

- الحفاظ على استقرار الأنظمة المترابطة عند حدوث الأعطال.
- إمكانية ضبط الاستطاعة المنقولة بين هذه الأنظمة بفضل المعوض التسلسلي.

التوصيات:

نوصي بتطوير طرق جديدة في التحكم في المعوضات التسلسلية والتطبيق على أنظمة أكثر تعقيداً ودراسة إمكانية التطبيق على الشبكة السورية.

References:

- [1]. R. Kumari, P. Kumar. *improvement in Rotor Stability in 3 Machine 9 Bus System Using TCSC, SVC, SSSC*. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronic and Instrumentation Engineering, Vol.(5) No.(8), Aug. 2016, 7061-7070.
- [2]. M. M. Farsangi, Y. H. Song. *Choice of FACTS Device Control Inputs for Damping Interarea Oscillations*. in IEEE Transactions on Power Systems, Vol.(19) No.(2) May 2004, 1135-1143.
- [3]. A. Siddique, Y. Xu, W. Aslam and F. M. Albatsh, *Application of series FACT devices SSSC and TCSC with POD controller in electrical power system network, 2018 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, Wuhan, 2018, 893-899.
- [4]. D. Chatterjee, A. Mitra and S. Sarkar, *A conceptual study for control strategy of TCSC in inductive and capacitive region*, 2014 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2014], Nagercoil, 2014, 1-6.
- [5]. P. K. Dash, S. Mishra and G. Panda, *Damping multimodal power system oscillation using a hybrid fuzzy controller for series connected FACTS devices*, in *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.(15) No.(4), Nov. 2000, 1360-1366.
- [6]. A. Kazemi and M. V. Sohrforouzani, *Power system damping using fuzzy controlled FACTS devices*, 2004 International Conference on Power System Technology, 2004. PowerCon 2004, Singapore, Vol.(2) 2004, 1623-1628.
- [7]. S. Hameed, *Power system stability enhancement using reduced rule base self-tuning fuzzy PI controller for TCSC*, IEEE PES T&D 2010, New Orleans, LA, 2010, 1-8.
- [8]. S. Wivutbudisiri, K. Hongesombut and J. Rungrangpitayagon, *Wide-area power system control using Thyristor Controlled Series Capacitor based fuzzy logic controller designed by observed signals*, 2014 International Electrical Engineering Congress (iEECON), Chonburi, 2014, 1-4.
- [9]. G. Shahgholian, M. Maghsoodi, M. Mahdavian, S. Farazpey, M. Janghorbani and M. Azadeh, *Design of fuzzy+PI controller in application of TCSC and PSS for power system stability improvement*, 2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Chiang Mai, 2016, 1-6.
- [10]. W. Aslam, Y. Xu, A. Siddique, A. Nawaz and M. Rasheed, *Electrical Power System Stability Enhancement by Using an Optimal Fuzzy PID Controller for TCSC with Dual TCRs*, 2018 IEEE 3rd International Conference on Integrated Circuits and Microsystems (ICICM), Shanghai, 2018, 231-234.
- [11]. Soreshjani, M.H., Abjadi, N.R., Kargar, A., Markadeh, G.A. *A comparison of fuzzy logic and PID controllers to control transmitted power using a TCSC*. Turk. J. Electr. Eng. Comput. Sci. Vol.(22) No.(6), 2014, 1463-1475.
- [12]. A. Zare, M. Nayeripour, X. Kang, M. Kheshti, and T. Niknam. *Fuzzy Controller Design of TCSC with ANFIS to Improve The dynamic Stability of Power System*. IACSIT International Journal of Engineering and Technology, Vol.(4) No.(3), 2012, 248-252.
- [13]. M. N. A. Rahim, I. Musirin, Z. A. Hamid and N. A. M. Kamari, *Fuzzy bee colony approach to mitigate congestion problems through TCSC installation for voltage corrective strategy*. 2012 International Conference on Innovation Management and Technology Research, Malacca, 2012, 727-732.
- [14]. M. K. Sharma, A. Vijay and G. N. Pillai, *Stable type-2 fuzzy logic control of TCSC to improve damping of power systems*, 2017 International Conference on Computer, Communications and Electronics (Comptelix), Jaipur, 2017, 388-393.

- [15]. A Sivasankar, Dr.T.S.Sirish. *Real Power Flow Control in Transmission Line Using TCSC with Fuzzy Controller*. A Sivasankar. Int. Journal of Engineering Research and Application, Vol.(7) No.(9) 2017, 55-60.
- [16]. M. Bakhshi, M. H. Holakooie, A. Rabiee. *Fuzzy Based Damping Controller for TCSC Using Local Measurements to Enhance Transient Stability of Power Systems*. Electrical Power and Energy Systems, 2017, 12–21.