مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (4) العدد(7) 2020
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (4) No. (7) 2020

زيادة القدرة التمريرية في خطوط نقل 230KV باستخدام المعوض التسلسلي المتواقت الساكن (SSSC)

د. فيصل شعبان*

د. طارق خيربك**

حسام اسبر***

(تاريخ الإيداع 6/17 /2020. قُبِل للنشر في 14 /10/2020)

□ ملخّص □

مع زيادة الطلب العالمي على الطاقة، أصبح من المهم العمل على زيادة استطاعة النقل للشبكات الكهربائية، هذه الزيادة كانت تعالج عن طريق بناء خطوط نقل جديدة ولكنها مقيدة بعدة مشاكل اقتصادية، وبيئية، بالإضافة إلى المخاطر الصحية الناتجة عن الحقول الكهربائية والمغناطيسية، الأمر الذي فتح المجال أمام استخدام تقنيات جديدة، منها أجهزة الطاقة المرنة (FACTS) والتي تعتبر من الخيارات الجديرة بالاهتمام والدراسة لتحسين السعة التمريرية لخطوط نقل الطاقة الكهربائية، هذه الدراسة تناقش استخدام أحد أهم أنواع هذه الأجهزة وهو المعوض التسلسلي المتواقت الساكن (SSSC) المقاد بواسطة حلقة تحكم مغلقة في زيادة القدرة التمريرية لخطوط نقل الطاقة الكهربائية في الشبكة الكهربائية السورية.

الكلمات المفتاحية: سريان الاستطاعة، ETAP، MATLAB، SSSC، FACTS.

---

* استاذ – قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهمك – جامعة تشرين – سورية.

** استاذ – قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهمك – جامعة تشرين – سورية.

***دراسات عليا (دكتوراه) – قسم هندسة نظم القدرة الكهربائية – كلية الهمك – جامعة تشرين – سورية

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (4) العدد(7) 2020
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (4) No. (7) 2020

Increasing Capacity of 230 kV Transmission Lines Using Static Synchronous Series Compensator (SSSC)

Dr.faesal Shabaan *
Dr.Tarek kerbek**
Hussam Asper***

(Received 17/6/2020. Accepted 14/ 10/2020)

□ ABSTRACT □

With the increase in global demand for energy, it has become important to work to increase the transport capacity of electrical networks. This increase was addressed by building new transmission lines, but they are constrained by several economic and environmental problems, in addition to health risks resulting from electric and magnetic fields, which opens the field In front of the use of new technologies, including Flexible AC Transmission Systems (FACTS), which are among the options worthy of attention and study to improve the passive capacity of the electric power transmission lines, this study discusses useinq one of the most important types of these devices, which is the Serial Concurrent Compensator (SSSC) A closed loop control increased the pass capacity of the power transmission lines in the Syrian electrical network.

Keywords: Load Flow, ETAP, MATLAB, SSSC, FACTS.

* Assistant Professor, Department of Electrical Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.
**Assistant Professor, Department of Electrical Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.
***PHD researcherin, Department of Electrical Energy Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

مقدمة:

الطلب على الطاقة الكهربائية يتزايد باستمرار يوم بعد يوم، الشبكات الكهربائية القائمة ينبغي تصميمها مع الأخذ بعين الاعتبار نمو نظام الطاقة. عند عدم إدارة الشبكات الكهربائية المترابطة بالشكل السليم قد يحدث بعض المشاكل التي تسبب بعض الحالات الحرجة مثل زيادة تحميل بعض الخطوط، هذه الحالات غير مرغوبة ولا يمكن ضبطها عندما يكون معيار موثوقية التغذية هو الهدف الأساسي. كما أن انشاء خطوط نقل جديدة لمواجه هذه المشاكل لا يعتبر حل اقتصادي مقبول. وبالتالي عندما تدار الشبكات الكهربائية مع الية تحكم ناقصة أو غير كاملة يكون الحد الاعظمي لتحميل خطوط النقل يقترب من حد التحميل الحراري المقبول [1] لحل هذه المشكلة ينبغي التحكم بسريان الاستطاعة في خطوط النقل.

خطوط نقل الطاقة الكهربائية تملك ممانعة تحريضية، بحيث في خطوط النقل الطويلة تكون قيمة هذه الممانعة مرتفعة، وبالتالي يكون هبوط الجهد كبير. وكون سريان الاستطاعة عبر خطوط النقل يتعلق بكل من بممانعة خط النقل، مطال جهد نهاية الارسال والاستقبال، زاوية الجهد. بالتالي نتيجة وجود اختلاف بين جهد وزاوية الارسال وجهد وزاوية الاستقبال نستطيع التحكم بسريان الاستطاعة في هذه الخطوط عن طريق تغيير ممانعة الخط أو زاوية الجهد، وهذا ما يتم اعتماده.

يوجد طرق تقليدية لزيادة سعة نقل الطاقة لخطوط النقل تعتمد على استخدام مكثفات يتم وصلها إلى الشبكة الكهربائية عن طريق قواطع ميكانيكية [1]، المشكلة الرئيسة الناتجة عن استخدام هذه الطريقة حركة التحكم البطيئة، بالإضافة إلى أنها تابعة لتيار الخط. لمعالجة هذه المشاكل ومع تطور صناعة الكترونيات القدرة، ظهرت متحكمات FACTS (Flexible AC Transmission System) في أنظمة نقل الطاقة، والتي لها عدة تطبيقات في هذا المجال. ليس فقط لمقدرتها على تحسين شكل الاستطاعة الردية في منابع نظام الطاقة، بل كذلك تزود نظام الطاقة بمرونة التشغيل والتحكم بسريان الاستطاعة في خطوط النقل. جميع أجهزت FACTS، مثل جهاز (STATCOM Static Compensator)، وجهاز (Static VAR Compensator) SVC، وجهاز UPFC (Unified Power Flow Controller)، وجهاز (Static Synchronous Series Compensator) SSSC، يمكن أن تركب بشكل تسلسلي أو تفرعي أو بالحالتين معاً، أجهزة FACTS معرفة وفق IEEE بأنها نظام نقل بالتيار المتناوب يعتمد الكترونيات القدرة ومتحكمات أخرى لزيادة التحكم والقدرة التمريرية لخطوط النقل [4-2].

جرى استخدام التعويض التسلسلي لخط النقل في المرجع رقم [5]، بحيث يتألف هذا النظام من منبع جهد متزامن، مقاد بواسطة مفاتيح الكترونية الغاية منها تأمين تعويض تسلسلي متحكم به، هذا المعوض يدعى المعوض التسلسلي المتزامن الساكن (SSSC)، دراسة المعوض التسلسلي (SSSC) متعدد الأقطاب من دون تحليل عميق لآلية التحكم بالقالبة [6]، مبدأ تعديل النموذج الرياضي لمعوض (SSSC) قدم في [7] مع الأخذ بعين الاعتبار الجوانب الديناميكية لحلقة التيار المستمر والمتناوب في المبدلة. تحليل توافقيات المبدلة تناوله المرجع [8]. تقييم أداء المعوض التسلسلي قدم في [11-9].

أهمية البحث وأهدافه:

استخدام المعوض التسلسلي المتواقت الساكن في الشبكة الكهربائية السورية له تحديات عديدة إن كان من ناحية تصميم هذا المتحكم أو من خلال نظام التحكم الذي يجب استخدامه لتأمين أفضل أداء ممكن وللتحكم بسريان الاستطاعة بالشكل المطلوب، وبالتالي

- دراسة إمكانية زيادة القدرة التمريرية لخطوط النقل في الشبكة الكهربائية السورية باستخدام المعوض التسلسلي المتواقت الساكن (SSSC) والتي تغني عن إنشاء خطوط نقل جديدة.
- تصميم المعوض التسلسلي المتواقت الساكن (SSSC) وفق بارامترات الشبكة السورية.
- دراسة مقدار الزيادة في القدرة التمريرية لخطوط النقل التي تعاني من تحميل زائد في أوقات الذروة عند حالة العمل الطبيعية.
- التحكم بالمعوض التسلسلي (SSSC) عن طريق استخدام دارة تحكم تعتمد على قياس بارامترات الخط.

طرائق البحث ومواده:

تعتمد طريقة البحث على:

يمكن تصميم المعوض التسلسلي المتواقت الساكن باعتباره منبع جهد مؤلف من محولة تسلسلية تربط من الطرف الثانوي مع خطوط النقل ومن الطرف الأولي مع قالبة منبع جهد تقوم بحقن جهد بشكل متعامد مع تيار خط النقل، ودراسة مدى تأثير المعوض على خطوط الشبكة الكهربائية السورية التي تعاني من تحميل زائد في حالة العمل الطبيعي.

تصميم الشبكة الكهربائية السورية ودراسة سريان الاستطاعة جرى باستخدام برنامج ETAP. تصميم المعوض ونظام التحكم جرى ضمن بيئة برنامج MATLAB.

النظام الكهربائي المدروس:

موثوقية التغذية الكهربائية معيار مهم يأخذ بعين الاعتبار عند دراسة وتصميم الشبكات الكهربائية، بحيث يتم ربط الأحمال بمجموعة من خطوط النقل بشكل حلقي لضمان استمرار التغذية عند تعرض أحد الخطوط لعطل، من أبرز الأعطال التي تحدث على خطوط النقل غير المرغوب حدوثها هي التحميل الزائد فوق مستوى الحمولة الحرارية للنواقل، وبالتالي من المهم عند دراسة سريان الاستطاعة تحديد نسبة التحميل لخطوط النقل. الدراسة أجريناها على الشبكة الكهربائية السورية، ونسبة التحميل أخذت في حالة العمل الطبيعي، بحيث تتكون هذه الشبكة من محطات التوليد الموضحة في الجدول رقم (1).

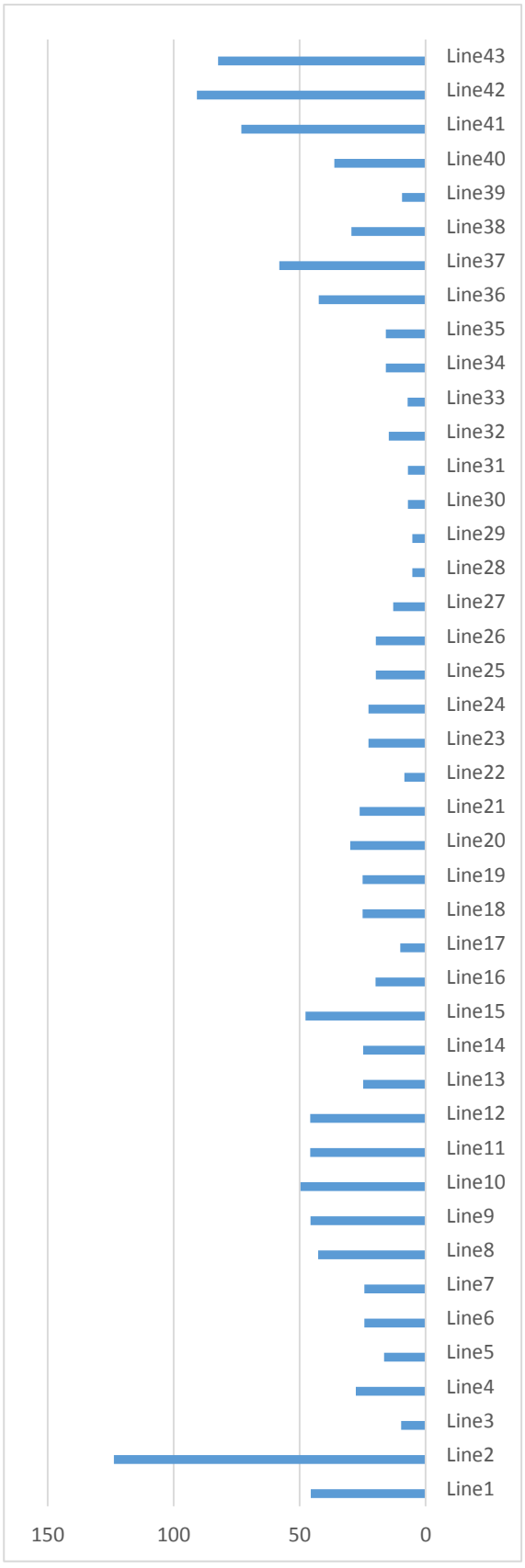
الجدول (1) استطاعة محطات توليد الشبكة الكهربائية السورية

الاستطاعة الاسمية (MW)	اسم المحطة	الاستطاعة الاسمية (MW)	اسم المحطة
50	البعث	384	زيزون
940	بانياس	1150	حلب
600	جندر	820	سد تشرين
530	محردة	170	السويدية
660	الزارة	700	الثورة
480	الناصرية	100	التيم
1370	دير علي	820	تشرين

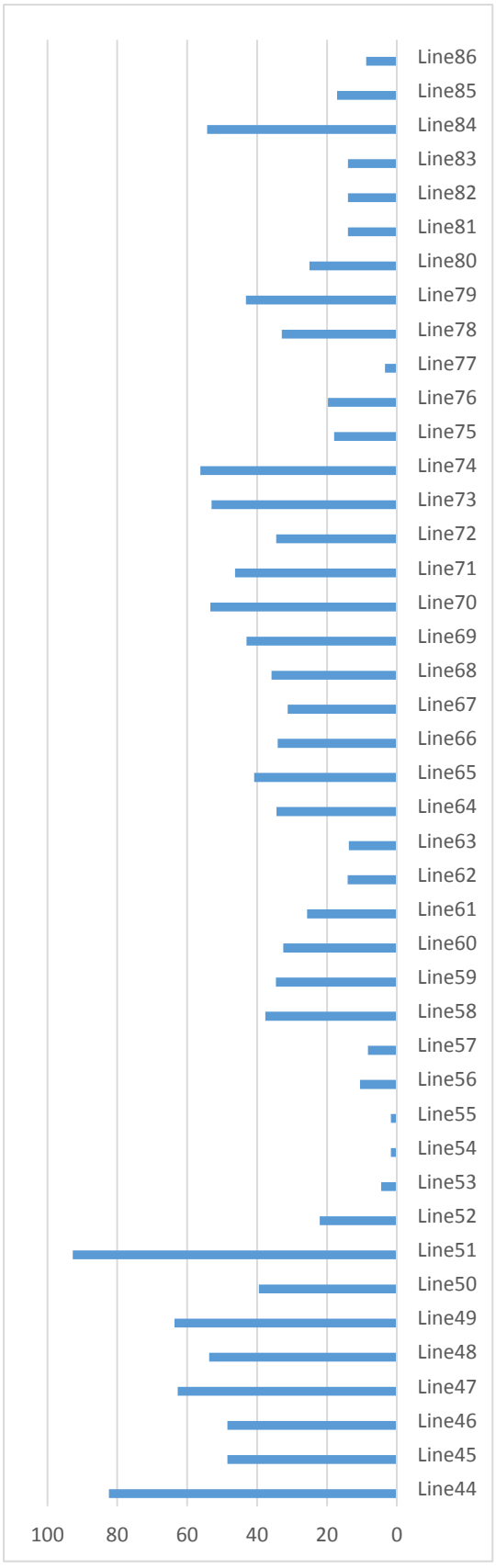
ومن خطوط نقل عاملة بتوتر 230, 400 kV، وفق أطوال مختلفة، أحمال محطات 230/66 أخذت في أوقات الذروة لعام 2011.

نتيجة دراسة سريان الاستطاعة في الشبكة الكهربائية السورية باستخدام برنامج ETAP والموضحة في الاشكال (1,2,3,4) تبين وجود خطوط نقل محملة فوق القيمة الاسمية لها، وهذه الخطوط موضحة في الشكل (5) وهي خط النقل الواصل بين دير علي– الكسوة (LINE 104 –2 LINE) وهو نوع ACSR توتر 230 kV مقطع 400/50 يتحمل تيار ضمن حد السماحية الحرارية المقبولة قدره 567.8 A محمل بحمولة نسبتها 123.7%، يسري فيه استطاعة فعلية وردية 251.5 MW, 122.4 M VAR, 702.2 A وبالتالي مقدار الزيادة هي 134.4 A، كذلك خط النقل الواصل بين زاهرة– تشرين(LINE 91) وهو نوع ACSR توتر 230 kV مقطع 400/50 يتحمل تيار ضمن حد السماحية الحرارية المقبولة قدره 567.8 A محمل بحمولة نسبتها 106.6%، يسري فيه استطاعة فعلية وردية 199.2 MW, 135.8 M VAR, 605.3 A وبالتالي مقدار الزيادة هي 37.5 A.

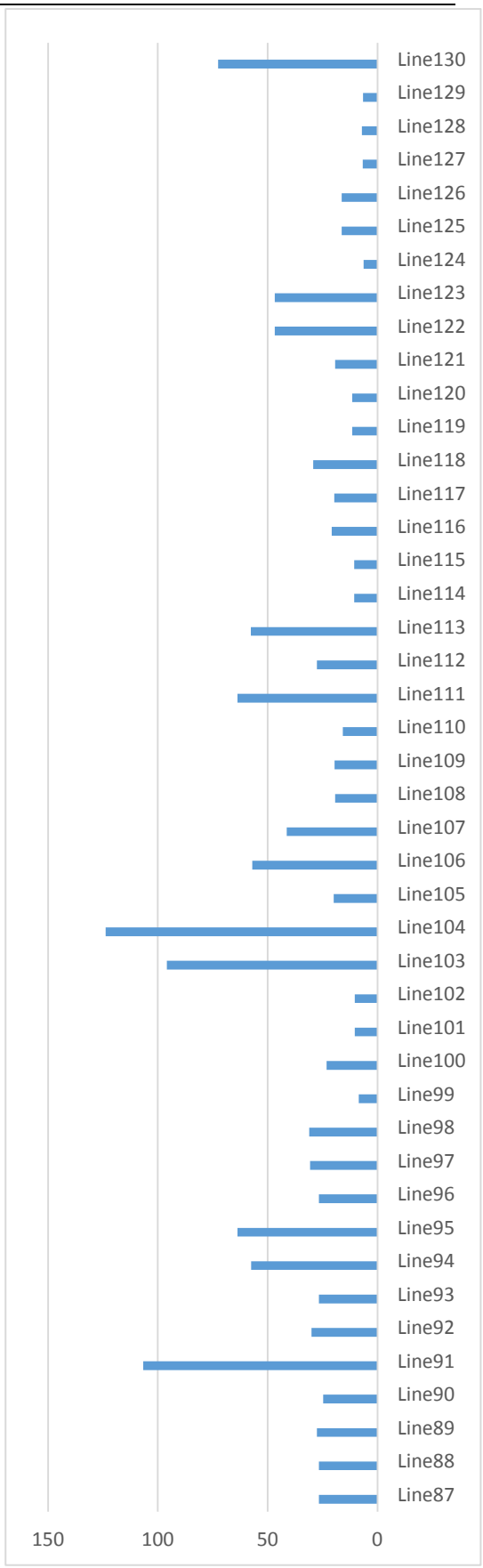
وبالتالي يمكن دراسة استخدام المعوض (SSSC) في أحد هذه الخطوط وتبيان مقدار الزيادة في القدرة التمريرية دون الحاجة الى بناء خطوط نقل جديدة.



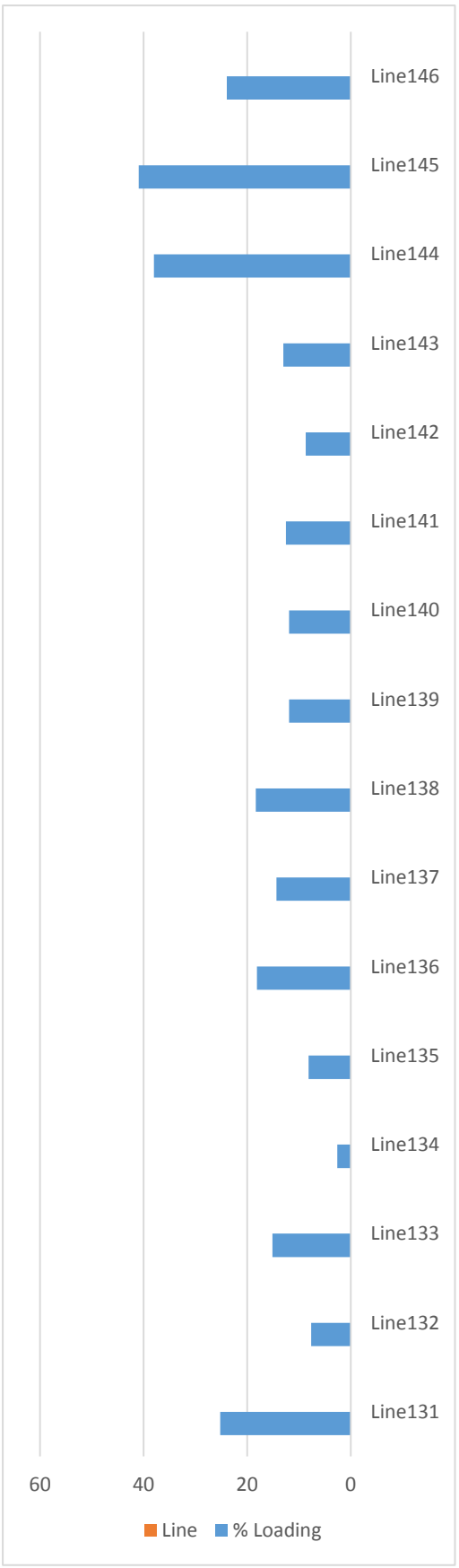
الشكل (1) نسبة تحميل خطوط 230 kV



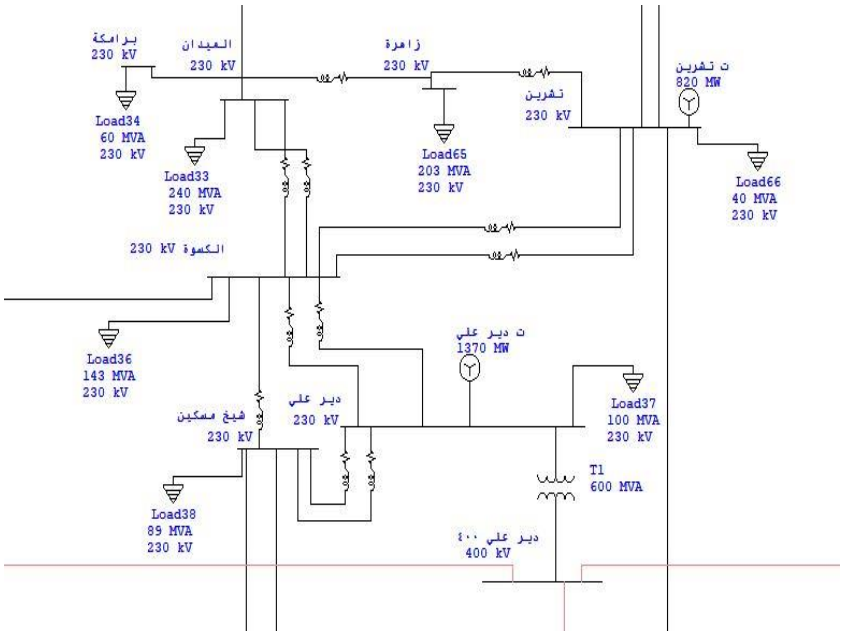
الشكل (2) نسبة تحميل خطوط 230 kV



الشكل (3) نسبة تحميل خطوط 230 kV



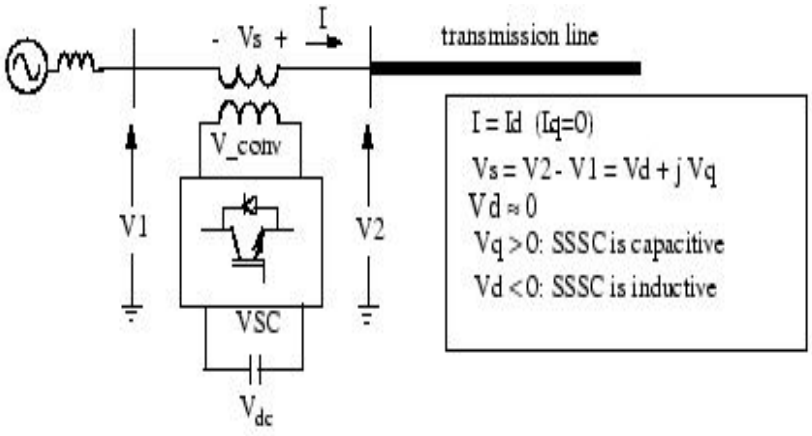
الشكل (4) نسبة تحميل خطوط 400 kV



الشكل (5) خطوط النقل ذات نسبة التحميل المرتفعة

- المعوض التسلسلي التزامني الساكن:

المعوض التسلسلي التزامني الساكن Static Synchronous Series Compensator (SSSC) هو عبارة عن مولد متزامن تسلسلي ساكن، وهذا الجهاز تسلسلي ينتمي إلى عائلة أجهزة نقل الطاقة المرنة (FACTS) وهو يشابه المعوض STATCOM ولكن الفرق الوحيد بينهم أن جهاز SSSC يوصل على التسلسل مع خط النقل، بينما جهاز STSTCOM يوصل على التفرع مع خط النقل، يمكن الإشارة اليه كمنبع جهد متزامن (SVS) بحيث يستطيع حقن جهد جيبي متحكم به متغير في خط النقل [12-13] يستخدم الكترونيات القدرة للتحكم بتدفق الاستطاعة ولزيادة القدرة التمريرية لخطوط النقل، الشكل (6).



الشكل (6) بنية المعوض SSSC.

جهاز SSSC يحقن جهد على التسلسل مع جهد الخط Vs، متعامد مع تيار الخط. وعن طريق تغيير مطال الجهد المحقون Vq ينفذ المعوض تابع تعويض الممانعة المتغيرة إما سعويا أو تحريضيا. تغيير مطال الجهد المحقون يتم عن طريق مبدلة منبع جهد (VSC) موصولة مع الطرف الثانوي لمحولة تسلسلية مع خط النقل. هذه المبدلة تستخدم ترانزستورات الكترونيات القدرة مثل (GTO, IGBT, IGCT) لإنتاج جهد خرج المبدلة V_conv، دخل المبدلة عبارة منبع جهد مستمر.

المكثف موصول مع القالبة من طرف الجهد المستمر ويعتبر منبع جهد مستمر. تسحب استطاعة فعلية صغيرة من الخط لشحن المكثف ولتغطية ضياعات المحولة والقالبة. بحيث يكون الجهد المحقون متعامد مع تيار خط النقل. في مخطط نظام التحكم الإشارات Vq_conv, Vd_conv ترشح جهد خرج المبدلة V_conv وتحقنه بحيث يحقق زاوية مقدارها 90 درجة مع تيار الخط. يمكن استخدام نوعين من القالبات بحسب نوع الكترونيات القدرة المستخدمة:

- قالبات منبع جهد بموجة مربعة مكونة من ترانزستورات GTO مع محولة ربط خاصة. نموذج أربع مبدلات تستخدم لبناء 48 خطوة موجة جهد. محولة الجهد الخاصة تستخدم لإلغاء المكونات التوافقية المتولدة من الموجات المربعة الناتجة عن المبدلات. في هذا النوع من القالبات، المكون الأساسي للجهد V_conv هو الجهد Vdc. لذلك Vdc يجب تغيير قيمته للتحكم بالجهد المحقون.
- قالبات منبع جهد تستخدم ترانزستوات IGBT مع مبدلات PWM. هذا النوع من القالبات يستخدم تقنية تعديل عرض النبضة PWM لإنتاج موجة جهد جيبيه من جهد حلقة التيار المستمر مع نموذج تردد قطع مناسب. التوافقيات يتم الغائها عن طريق وصل مرشح من طرف الجهد المتناوب لقالبة منبع الجهد. هذا النوع من القالبات يستخدم جهد مستمر ثابت. الجهد V_conv يتم تغييره عن طريق تغيير تعديل PWM.

نستخدم في هذه الدراسة نموذج معوض SSSC يعتمد على ترانزسورات IGBT ومنبع جهد مستمر ثابت.

- **دارة التحكم :**

وحدة التحكم الموضحة في الشكل (7). تتألف من:

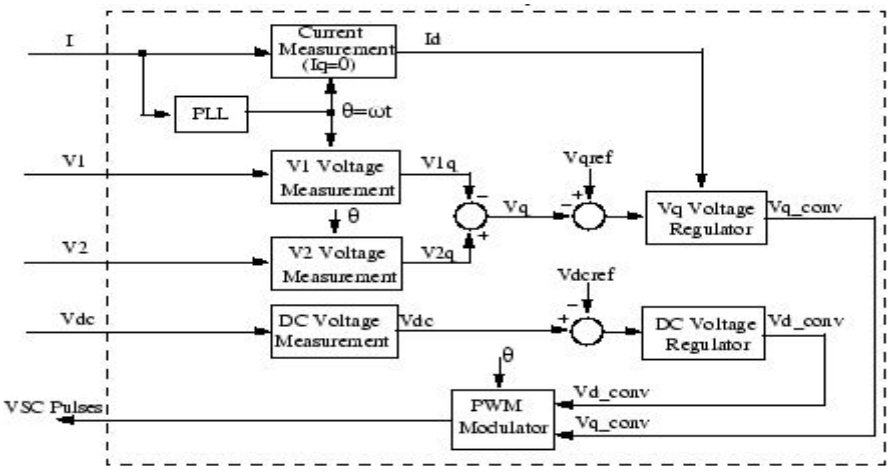
- حلقة قفل الطور (PLL) التي تتزامن مع مركبة التتابع الموجبة لتيار الخط. خرج الحلقة PLL الزاوية Θ=ωt والذي يستخدم لحساب مكونات الجهود المباشرة والتربيعية للجهد المتناوب الثلاثي الطور والتيارات (Vd, Vq or Id, Iq).
- نظام القياس يقيس المركبات q والتتابع الموجب المتناوب للجهود V1q, V2q، كذلك للجهد المستمر Vdc .
- منظمات الجهد المستمر والمتناوب التي تحسب مركبات جهد القالبة Vd_conv Vq_conv, المطلوبة لتحديد الجهد المستمر المطلوب Vdcref والجهد المحقون Vqref. منظم الجهد Vq مساعد عن طريق منظم نوع تغذية عكسية والذي يحدد الجهد V_conv عن طريق قياس التيار Id.

الاستطاعة الفعلية والردية المنقولة عبر خط النقل يعبر عنها بالعلاقة الرياضية (1) و (2) في حالة تساوي جهد الارسال وجهد الاستقبال.

$$P = \frac{V_s V_r}{X_L}\sin(\delta_s - \delta_r) = \frac{V^2}{X_L}\sin(\delta) \qquad (1)$$

$$Q = \frac{V_s V_r}{X_L}[1 - \cos(\delta_s - \delta_r)] = \frac{V^2}{X_L}(1 - \cos\delta) \qquad (2)$$

$$\delta = \delta_s - \delta_r \qquad (3)$$



الشكل (7) وحدة التحكم بالمعوض SSSC.

$$|V_s| = |V_r| = |V| \qquad (4)$$

$$P = \frac{V^2}{X_{eff}}\sin(\delta) = \frac{V^2}{X_L\left[1 - \frac{X_q}{X_L}\right]}\sin(\delta) \qquad (5)$$

$$Q = \frac{V^2}{X_L}(1 - \cos\delta) = \frac{V^2}{X_L\left[1 - \frac{X_q}{X_L}\right]}(1 - \cos\delta) \qquad (6)$$

بحيث أن:

P: الاستطاعة الغعلية المنقولة عبر خط النقل.

Q : الاستطاعة الردية المنقولة عبر خط النقل.

V_s : جهد بداية الخط، جهد الارسال.

V_r : جهد نهاية الخط، جهد الاستقبال.

δ_r : زاوية جهد الاستقبال.

δ_s : زاوية جهد الارسال.

δ : هي زاوية الفرق ما بين زاوية جهد الارسال وزاوية جهد الاستقبال.

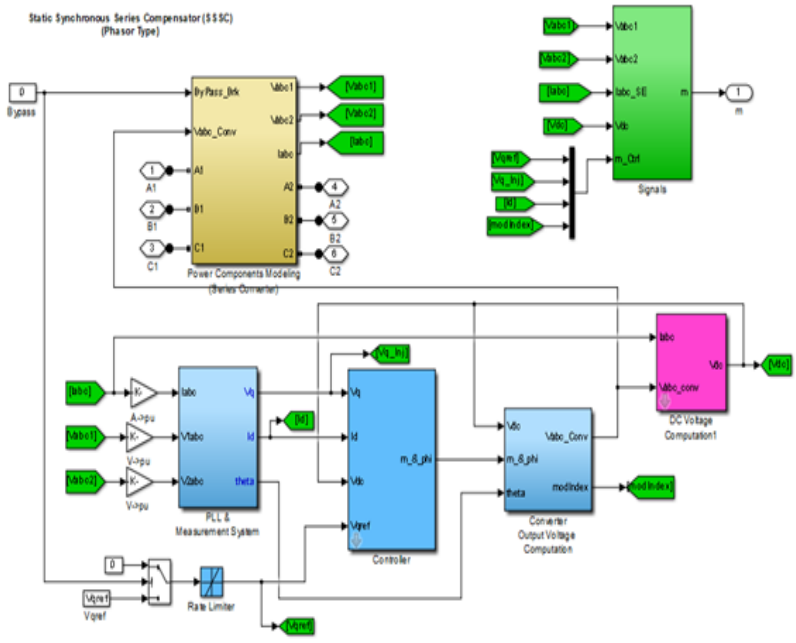
X_L : ممانعة خط النقل.

X_q : الممانعة التعويضية لخط النقل.

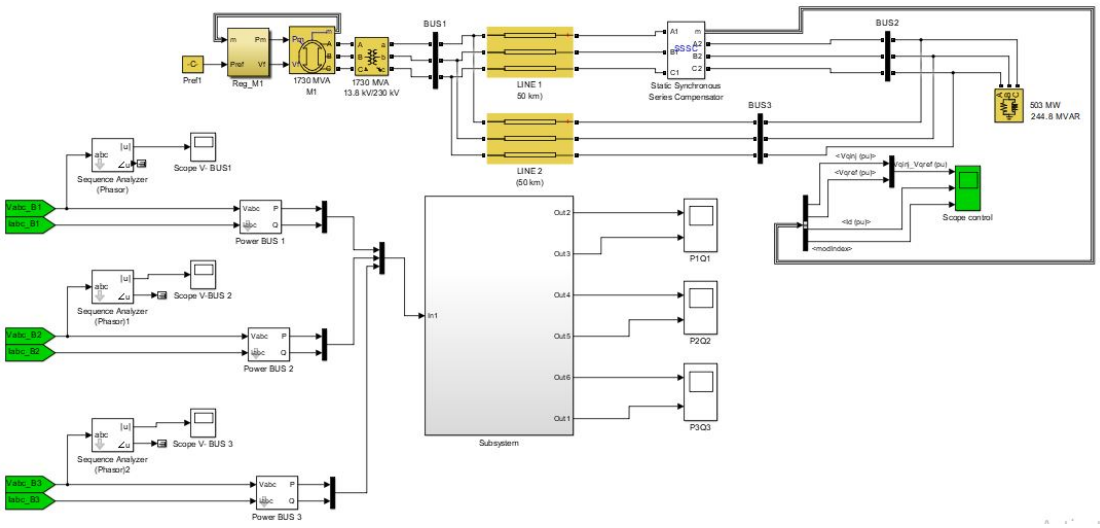
من العلاقات الرياضية (5) و (6) التي تصف سريان الاستطاعة الفعلية والردية عبر خط النقل بعد إضافة المعوض، يتضح لدينا بأنه يمكن التحكم بقيم هذه الاستطاعات السارية من خلال تغيير الزاوية δ أو من خلال تغيير الجهد V أو عن طريق تغيير الممانعة التعويضية X_q والتي تغير بالمحصلة الممانعة الكلية لخط النقل. في المعوض التسلسلي المتواقت الساكن (SSSC) الجهد المحقون المتعامد مع تيار الخط إما أن يحاكي ممانعة تحريضية أو ممانعة سعوية مضافة على التسلسل مع خط النقل. بحيث سريان الاستطاعة عبر الخط يزداد عندما يحاكي الجهد المحقون الممانعة السعوية، وينخفض عندما يحاكي الجهد المحقون الممانعة التحريضية.

النتائج:

بعد تصميم المعوض (SSSC) مع دارة التحكم، الشكل (8). عن طريق برنامج MATLAB. قمنا بتصميم نظام النقل الذي يحاكي خطي النقل الذين يصلون محطة دير علي مع محطة الكسوة، الشكل (9). هذه الخوط بطول 50 Km، في البداية قمنا بدراسة سريان الاستطاعة في خطي النقل وذلك عند وصل بداية الخط مع مولد باستطاعة 1730 MVA والذي يمثل محطة توليد الدير علي، وحمولة مقدارها P= 503 MW, Q= 244.8 MVAR وهي الاستطاعة المطلوب أن يمررها خطي النقل والناتجة عن دراسة سريان الاستطاعة في حالة العمل الطبيعي للشبكة. المعوض موصول مع قضيب التجمع رقم 2 الموجود في نهاية خط النقل الأول.

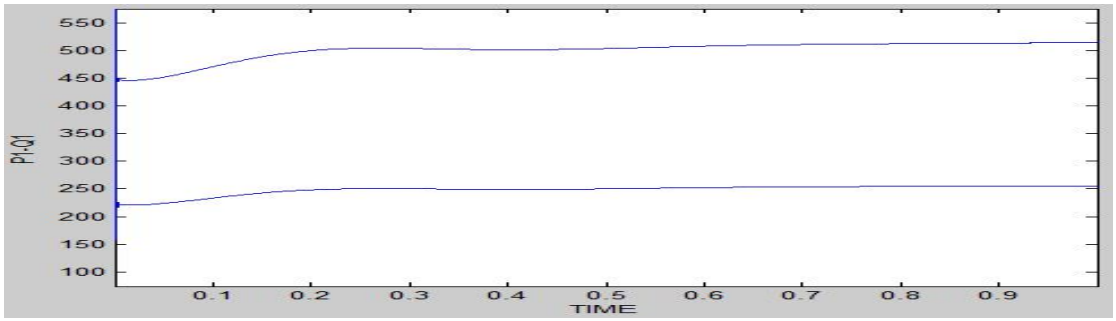


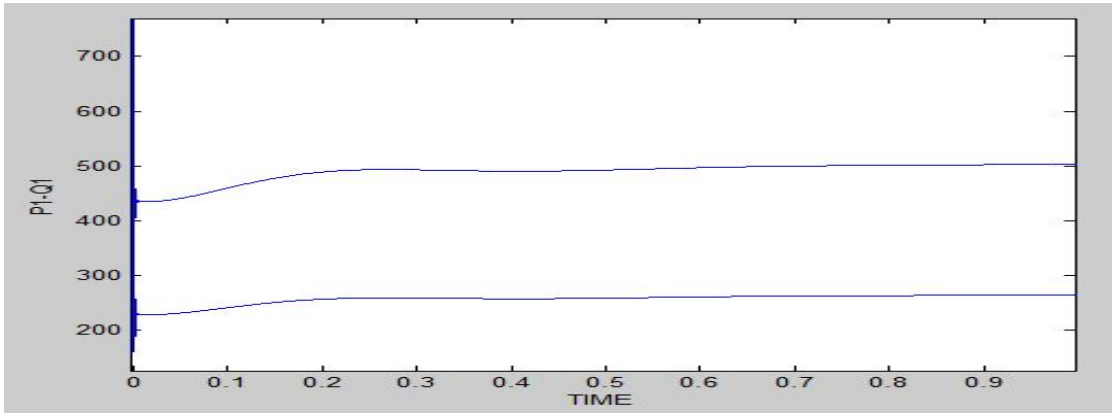
الشكل (8) محاكاة دارة التحكم بالمعوض SSSC.

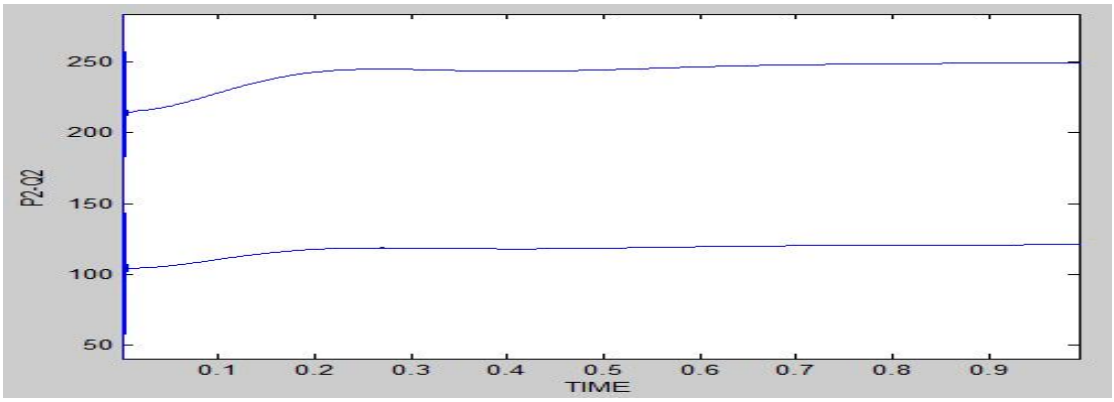


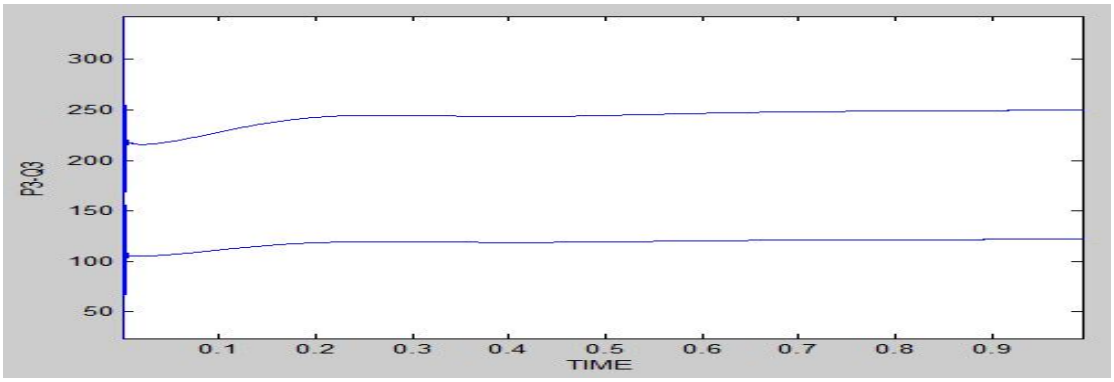
الشكل (9) محاكاة نظام النقل مع المعوض SSSC.

قمنا بدراسة أداء المعوض عند قيم مختلفة لتوتر الحقن Vq inj, Vq ref (pu)، المعوض استطاعته 100 MVA، بحيث قادر على حقن 5% من قيمة الجهد الاسمي للشبكة. الجهد المرجعي للمعوض هو جهد قضيب التجميع 1، قمنا بأختبار المعوض على الشبكة عند القيم التالية للجهد المحقون Vq inj, Vq ref (pu) (0, 1, 2, 3, 4, 5)%، عند جهد دخل للقالبة مقداره 40 kV وقيمة مكثفات $375\ \mu F$ ، نتائج المحاكاة عند قيم تعويض 0%، توضح الاستطاعة الفعلية والرية السارية في خطي النقل، الشكل (10). بحيث P1,Q1 الاستطاعة الفعلية والردية في قضيب التجميع رقم 1، P2,Q2 الاستطاعة الفعلية والردية السارية في خط النقل الأول والقياسات مأخوذة من قضيب التجميع رقم 2، P3,Q3 الاستطاعة الفعلية والردية في خط النقل الثاني والقياسات مأخوذة من قضيب التجميع رقم 3.



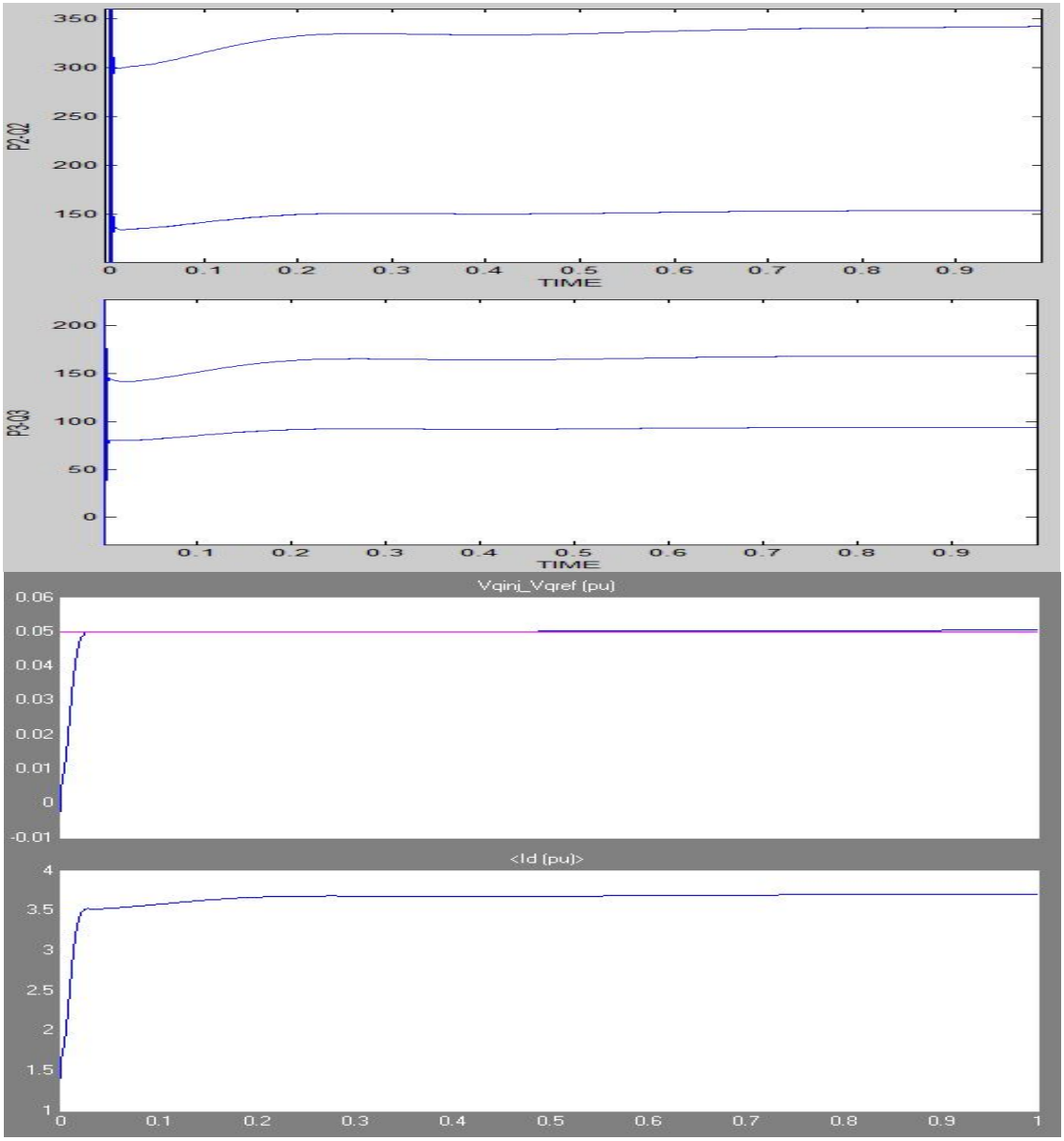






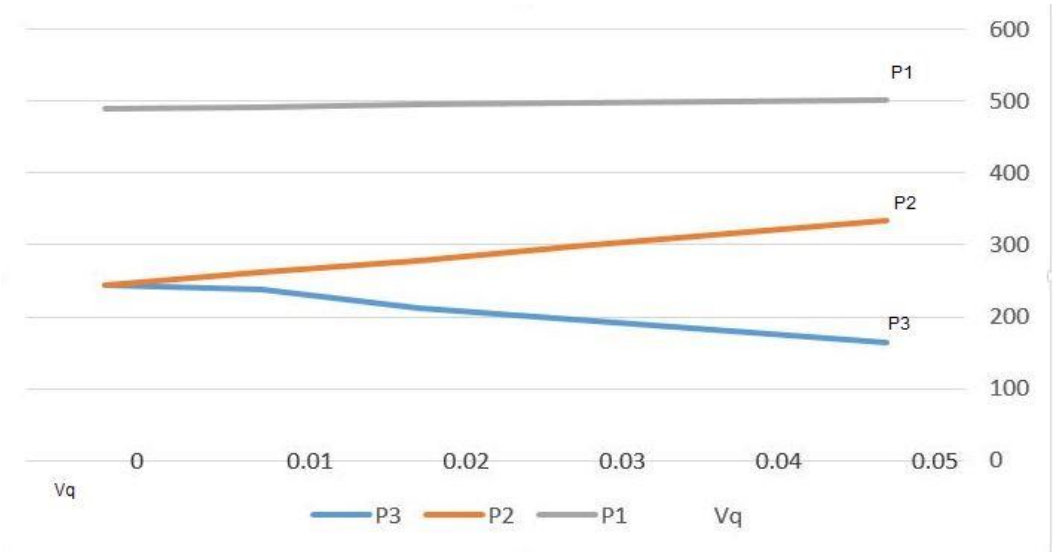
الشكل (10) نتائج المحاكاة عند قيم تعويض 0%.

الحالة الثانية: عند تعويض Vq inj, Vq ref (pu) بمقدار % 5، الشكل (11). حيث نلاحظ زيادة الاستطاعة المنقولة في خط النقل الأول 333.35 MW بزيادة مقداها 90.15 MW وهي قيمة ممتازة وتشكل نسبة % 37.06، وانخفاض الاستطاعة المنقولة عبر خط النقل الثاني إلى 118.71 MW، وبالتالي يمكن الاستنتاج بأنه في حالة الخطوط القصيرة يمكن استخدام المعوض مع قيم منخفضة لجهد الحقن ونحصل على قيم مرتفعة لزيادة القدرة التمريرية لخطوط النقل.



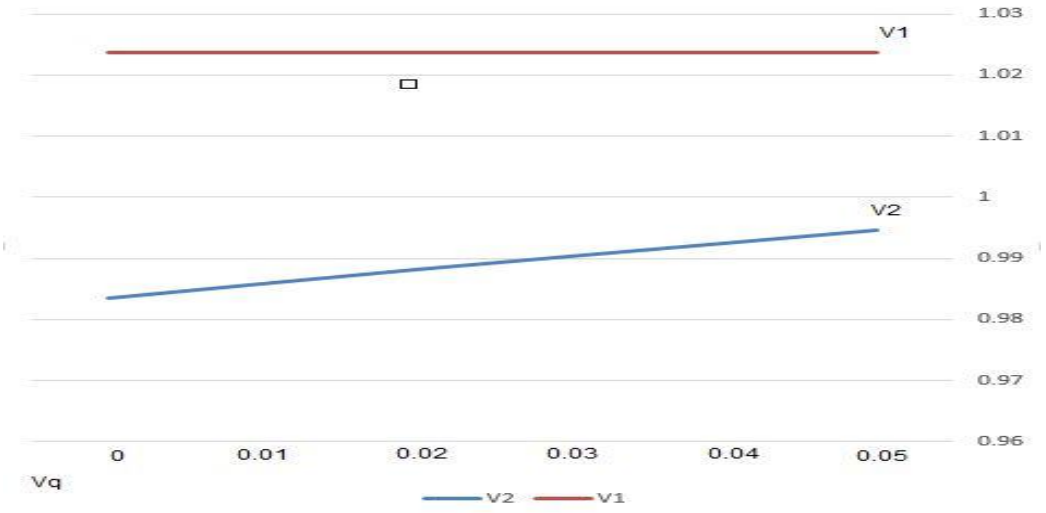
الشكل (11) نتائج المحاكاة عند قيم تعويض 5%.

في هذه الدراسة قمنا باختبار المتحكم عند قيم مختلفة لجهد الحقن بحيث يوضح الشكل (12) قيم الاستطاعات الفعلية لقضبان التجميع، نلاحظ ثبات الاستطاعة الفعلية P1 وهي التي تعبر عن الاستطاعة المولدة والتي لم يطرأ عليها أي تغيير عند تغيير قيم جهد الحقن للمعوض، بينما الاستطاعة الفعلية المنقولة عبر خط النقل الأول تزداد بشكل طردي إلى أن تصل للقيمة الأعظمية 333.35 MW عند جهد محقون Vq inj, Vq ref (pu)= 5 % ، بينما الاستطاعة المنقولة عبر خط النقل الثاني تنخفض كون القيمة الأكبر من الاستطاعة المطلوبة والتي يحتاجها الحمل، أصبحت تمرر عن طريق خط النقل الأول.



الشكل (12) الاستطاعات الفعلية السارية عبر قضبان التجميع

من المهم خلال هذه الدراسة مراقبة جهود قضبان التجميع عند القيم المختلفة للجهد المحقون من قبل المعوض، بحيث نلاحظ من الشكل (13)، في حالة عدم حقن جهد من قبل المعوض وهذه الحالة تحاكي الوضع الطبيعي للشبكة من دون استخدام معوض يكون جهد قضيب التجميع الأول V1=1.026 pu وجهد قضيب التجميع الثاني والثالث V2=V3=0.9835 pu، عند ادخال المعوض وزيادة الجهد المحقون، نلاحظ ثبات مطال جهد قضيب التجميع الأول وزيادة مطال جهد القضيب الثاني بشكل صغير نسبياً ليصل إلى القيمة V2=V3=0.9946 pu.



الشكل (13) جهود قضبان التجميع

الاستنتاجات والتوصيات:

في هذه الدراسة قمنا بدراسة استخدام المعوض التسلسلي المتواقت الساكن (SSSC) في زيادة القدرة التمريرية لخطوط نقل الطاقة في الشبكة الكهربائية السورية، التي تعاني من زيادة الاستطاعة المنقولة من خلالها، اختيار الخطوط جرى بعد تصميم الشبكة الكهربائية باستخدام برنامج ETAP، دراسة سريان الحمولة تم وفق خوارزمية Newton–Raphson في حالة العمل الطبيعي وعند حمولة الذروة لمحطات التحويل 230/66 kV، يمكن تلخيص نتائج الدراسة وفق البنود التالية:

1- عند استخدام المعوض التسلسلي المتواقت الساكن (SSSC) في زيادة القدرة التمريرية لخطوط النقل في الشبكة الكهربائية السورية التي تعاني من زيادة تحميل في بعض الخطوط، تبين أنه يمكن زيادة هذه الاستطاعة المنقولة وفق نسب جيدة.

2- استخدام هذه الأنواع من المتحكمات يزيد من القدرة التمريرية وفق مطال الجهد المحقون، وبالتالي يمكن التحكم بسريان الاستطاعة في خطوط النقل عن طريق تغيير مطال الجهد المحقون.

3- نستطيع عن طريق تغيير مطال الجهد المحقون عبر المعوض من التحكم بالجهد في خطوط النقل، وبالتالي بالإضافة لزيادة القدرة التمريرية نستطيع استخدام المعوض لتنظيم الجهد.

4- زيادة القدرة التمريرية لخطوط النقل تقلل من قيمة نقل الاستطاعة.

5- يمكن عن طريق استخدام هذه المتحكمات تأجيل الخطط الرامية لأنشاء خطوط نقل جديدة لمواجهة تزايد الاستطاعة التي يجب على خطوط النقل تحويلها من محطات التوليد إلى الأحمال.

6- يمكن استخدام المعوض لزيادة استقرار نظام الطاقة الكهربائي، عند حدوث أعطال ثلاثية قريبة من المعوض أو بعيدة عنه، ودراسة سلوك النظام الكهربائي عند خروج حمولة كبيرة نتيجة تعطل أحد خطوط النقل.

المراجع:

[1] N. G. Hingoranl, L. Gyugyi, and M. E. El-Hawary, *"Understanding FACTS: Concepts and technology of flexible ac transmission systems,*" A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, 1999.

[2] John J. Paserba, Fellow, IEEE, *"How FACTS Controllers Benefit AC Transmission Systems," IEEE Transactions on Power Delivery*,Vol.1 ,No 1 pages 949-957,2003.

[3] N.G. Hingorani, L. Gyugyi,"Understanding FACTS, *Concepts and Technology of Flexible AC Transmission systems,*" IEEE Press.

[4] W. Breuer, D. Povh, D. Retzmann, E. Teltsch,"*Role of HVDC and FACTS in Future Power Systems*,"Shanghai Power Conference, Shanghai CEPSI- 2004.

[5] L. Gyugyi, C. D. Schauder, and K. K. Sen, "Static synchronous series compensator: *A solid-state approach to the series compensation of transmission lines*," IEEE Trans. Power Deliv., vol. 12, no. 1, pp. 406–413, 1997.

[6] K. K. Sen, "SSSC - Static Synchronous Series Compensator: *Theory, modeling, and applications*," IEEE Trans. Power Deliv., vol. 13, no. 1, pp. 241–246, 1998.

[7] L. S. Kumar and A. Ghosh, "*Modeling and control design of a static synchronous series compensator*," IEEE Trans. Power Deliv., vol. 14, no. 4, pp. 1448–1453, 1999.

[8] P. Zúñiga-Haro and J. M. Ramírez, "*SSSC switching functions model*," IEEE Trans. Power Deliv., vol. 21, no. 1, pp. 518–520, 2006.

[9] I. Papic and A. M. Gole, "*Enhanced control system for a static synchronous series compensator with energy storage*," IEEE Trans. Power Deliv., pp. 327–332, 2001.

[10] M. P. Kazmierkowski and L. Malesani, "*Current control techniques for three-phase voltage-source pwm converters: A survey*," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 45, no. 5, pp. 691–703, 1998.

[11] B. N. Singh, A. Chandra, K. Al-Haddad, and B. Singh, "*Performance of sliding-mode and fuzzy controllers for a static synchronous series compensator*," IEE Proc. - Gener. Transm Distrib., vol. 146, no. 2, p. 200, 1999.

[12] Eskandar Gholipour, Shahrokh Saadate,"*Improving of Transient Stability of Power Systems Using SSSC*," IEEE Transactions On Power Delivery, Vol. 20, No. 2, April 2005.

[13] R. Natesan, G. Radman,"*Effects of STATCOM, SSSC and SSSC on Voltage Stability*," IEEE Spectrum 2004.