

تطوير خوارزمية وبرنامج حاسوبي لتحليل جريان الاستطاعة في نظم القدرة الكهربائية الحاوية على المتحكم الموحد بجريان الحمولة UPFC بهدف تحسين وضع التوتر وخفض الضياع

د.م. نبيل الفقيه*

الملخص

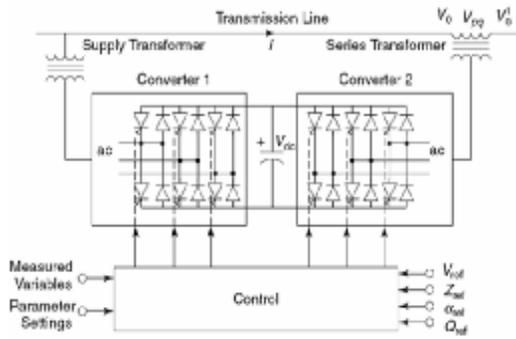
يؤدي نظام التحكم الموحد بجريان الاستطاعة UPFC دوراً حيوياً في تحسين أداء نظام القدرة الكهربائية الستاتيكي والديناميكي، ويحسن قابلية تحميل نظام النقل وذلك بإعادة توجيه جريان الاستطاعة في الشبكة الكهربائية. صيغ في هذا البحث نموذج رياضي لحساب جريان الاستطاعة في نظام قدرة يحتوي على المتحكم UPFC وصمم برنامج حاسوبي لتحليل جريان الاستطاعة. اعتمد نموذج منبعي التوتر VSM عند وضع الدارة المكافئة للمتحكم UPFC ودمجت معادلاته الرياضية في خوارزمية نيوتن-رافسون لحساب جريان الاستطاعة. استنتجت مصفوفة اليعقوبي المعدلة ومعادلات عدم التطابق من أجل التحكم بالاستطاعة الفعلية والرديئة وقيمة التوتر لأي من المنبعين. تضمن برنامج جريان الاستطاعة المنجز إمكانية التحكم في بارامترات المتحكم UPFC كلها، ويُعطي خصائص تقارب عالية، أظهرت نتائج الاختبارات على شبكات اختيارية عدة، وعلى الشبكة الكهربائية السورية 230 KV فعالية البرنامج المنجز

الكلمات المفتاحية: نظام التحكم الموحد بجريان الاستطاعة، UPFC، FACTS، جريان الاستطاعة نيوتن-رافسون، تحليل جريان الاستطاعة.

*أستاذ مساعد - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

1-المقدمة:

كمنبع توتر تسلسلي ومنبع للتيار تفرعي series voltage source and shunt current source[4,5,6]. أو كمنبع توتر تسلسلي ومنبع توتر تفرعي two voltage sources model يُسمى (VSM)[7]. هناك نموذج آخر يُدعى نموذج حقن الاستطاعة (PIM) Power injection model [8, 9]. واستناداً إلى النماذج الأساسية نجد نماذج أخرى تُستَـنَبَطُ بإجراء تعديلات طفيفة بغية تجاوز تعقيدات النماذج الأساسية[10,11]. يناقش المرجع [12] ميزات نموذج منبعي التوتر (VSM) الذي اعتمده في بحثنا هذا لتمثيل UPFC تمهيداً لدمجه في خوارزمية Newton-Raphson وترتيب آلية التحكم بجريان الاستطاعة. يتكون UPFC من مبدي منبع توتر Voltage source converters أحد المبديلين converter1 موصّل على التفرع مع خط النقل عن طريق محولة تفرعية والمبديل الآخر converter2 موصّل على التسلسل مع الخط من طريق محولة تسلسلية وكلا المبديلين موصّلان معاً بطريقة back-to-back بواسطة وصلة DC مشتركة مع مكثفة تخزين، يمثل الشكل (1) مخططاً مبسطاً للمتحكم [2] UPFC.



الشكل (1) مبديلا توتر موصلان back-to-back [2,13]

يمكن حل معادلات جريان الاستطاعة في نظام قدرة كهربائية يحتوي UPFC، إمّا بالطريقة التتابعية sequential أو بالطريقة المتزامنة simultaneous، يجري في الطريقة التتابعية فصل معادلات UPFC عن معادلات توازن نظام القدرة، و حل كل مجموعة من المعادلات كل على حدة وبحسب ترتيبها. أمّا في الطريقة المتزامنة، فتُجمَعُ المعادلات جميعها في مجموعة واحدة من المعادلات الجبرية غير الخطية، ثم

كان أول ظهور لنظام التحكم الموحد بجريان الاستطاعة Unified Power Flow Controller (UPFC) عام 1991 على يد الباحث [1,2] Gyugyi. وقد صُمم هذا النظام بغية الحصول في الزمن الحقيقي على تحكم وتعويض ديناميكي فعال لأنظمة النقل المرنة AC Flexible Transmission Systems (FACTS)، ويوفر مرونة متعددة الوظائف مطلوبة لحل العديد من المسائل التي تواجه عملية نقل الطاقة الكهربائية. رُكِّبَ أول نظام تحكم بجريان الاستطاعة منتصف العام 1998 في محطة Inez في الولايات المتحدة بإشراف مشترك بين معهد أبحاث الطاقة الكهربائية و وكالة الطاقة الكهربائية الأمريكية [3]. من أهم ميزات المتحكم UPFC قدرته على التحكم بشكل لحظي وانتقائي بجميع البارامترات المؤثرة في جريان الاستطاعة على خطوط النقل مثل (التوتر، الممانعة، زاوية الطور)، هذه الإمكانيات الفريدة مجتمعة محددة بالصفة "الموحد" في اسم هذا المتحكم. من ناحية أخرى يمكن لهذا المتحكم أن يتحكم بشكل مستقل بجريان الاستطاعة الفعلية والرديّة على خط النقل والتوتر على طرفيه. فهو يقوم بعمل المعوض التسلسلي والمعوّض التفرعي ومنظم زاوية الطور.

ونظراً إلى أهمية التحكم بجريان الاستطاعة في شبكات نقل القدرة الكهربائية والاهتمام الكبير عالمياً في استخدام المتحكم UPFC كان هدف هذا البحث هو استنباط نموذج رياضي لحساب جريان الاستطاعة في نظام قدرة يحتوي المتحكم UPFC ثم كتابة برنامج حاسوبي ملائم نُجري بعد اختباره دراسة عن بعض إمكانيات التحكم بجريان الاستطاعة وميزاته في نظام قدرة يحتوي UPFC.

إن نماذج UPFC التي تناولتها البحوث المنشورة في مجال تحليل جريان الاستطاعة عالجت UPFC إمّا

المبدل التسلسلي ونظام التيار المتناوب، قد يولد المبدل التفرعي أو يمتص استطاعة ردية بحسب الطلب ليوفر تنظيم توتر مستقلاً في نقطة الوصل مع نظام التوتر المتناوب.

3- النموذج الرياضي لـ UPFC

تتكون الدارة المكافئة للمتحكم UPFC كما في الشكل (3)، من منبع توتر على التفرع ومنبع توتر على التسلسل ومعادلة قيود الاستطاعة الفعلية، التي تربط منبعي التوتر. يتصل منبعا التوتر بنظام التيار المتناوب AC من خلال مفاعلتين تحريضييتين تمثلان محولتي مبدلي منبعي التوتر VSCs.

تمثل Z_{CR} ممانعة المحولة الموصلة على التسلسل و Z_{VR} ممانعة المحولة الموصلة على التفرع بين الخط UPFC.

تُعطى المعادلات الملائمة لمنبعي التوتر ومعادلة القيود في UPFC ثلاثي الطور كما يأتي:

$$E_{VR} = V_{VR} (\cos \delta_{VR} + j \sin \delta_{VR}) \quad (1)$$

$$E_{CR} = V_{CR} (\cos \delta_{CR} + j \sin \delta_{CR}) \quad (2)$$

$$\text{Re} \{-V_{VR} I_{VR}^* + V_{CR} I_M^*\} = 0 \quad (3)$$

إذ بارامترات تحكم UPFC:

V_{VR} و δ_{VR} توتر وزاوية طور المنبع الذي يمثل المبدل التفرعي، وهما قابلان للتحكم ضمن المجال: $(0 \leq \delta_{VR} \leq 2\pi)$ و $(V_{VRmin} \leq V_{VR} \leq V_{VRmax})$ التوالي؛ V_{CR} و δ_{CR} توتر وزاوية طور المنبع الذي يُمثل المبدل التسلسلي، ويمكن التحكم بقيمتهما ضمن المجال: $(0 \leq \delta_{CR} \leq 2\pi)$ و $(V_{CRmin} \leq V_{CR} \leq V_{CRmax})$ التوالي.

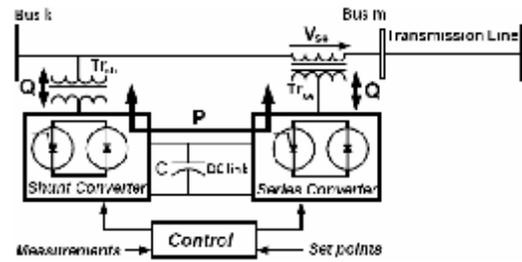
تُحدّد زاوية التوتر المحقون على التسلسل نمط التحكم بجريان الاستطاعة. إذا كانت δ_{CR} متفقتة في الطور مع θ_k زاوية توتر العقدة k ، ينظم UPFC التوتر. إذا كانت δ_{CR} متعامدة بالنسبة إلى الزاوية θ_k ، تكون هناك

تشكّل مصفوفة اليعقوبي غير المتناظرة بشكل عام. وقد اعتمدنا في هذا البحث الطريقة المتزامنة simultaneous method لحل معادلات جريان الاستطاعة بوجود UPFC.

2- مبدأ عمل UPFC

يمكن تمثيل مبدلي منبعي التوتر (VSCs) voltage source converters الموصلين عبر وصلة D.C كمنبعي توتر مثاليين، أحدهما موصل على التسلسل والآخر على التفرع إلى خط النقل [2,4]، ووظيفة الفرع التسلسلي هي حقن توتر متناوب بالتردد الأساسي لنظام القدرة قيمته $(V_{CRmin} \leq V_{CR} \leq V_{CRmax})$ وزاويته δ_{CR} متحكم بها $(0 \leq \delta_{CR} \leq 2\pi)$ على التسلسل مع توتر خط النقل.

كذلك يمكن التحكم في خرج منبع التوتر التفرعي V_{VR} $(V_{VRmin} \leq V_{VR} \leq V_{VRmax})$ وزاويته δ_{VR} $(0 \leq \delta_{VR} \leq 2\pi)$. يبيّن الشكل (2) مخططاً رمزياً للمتحكم UPFC موصلاً في بداية خط النقل.

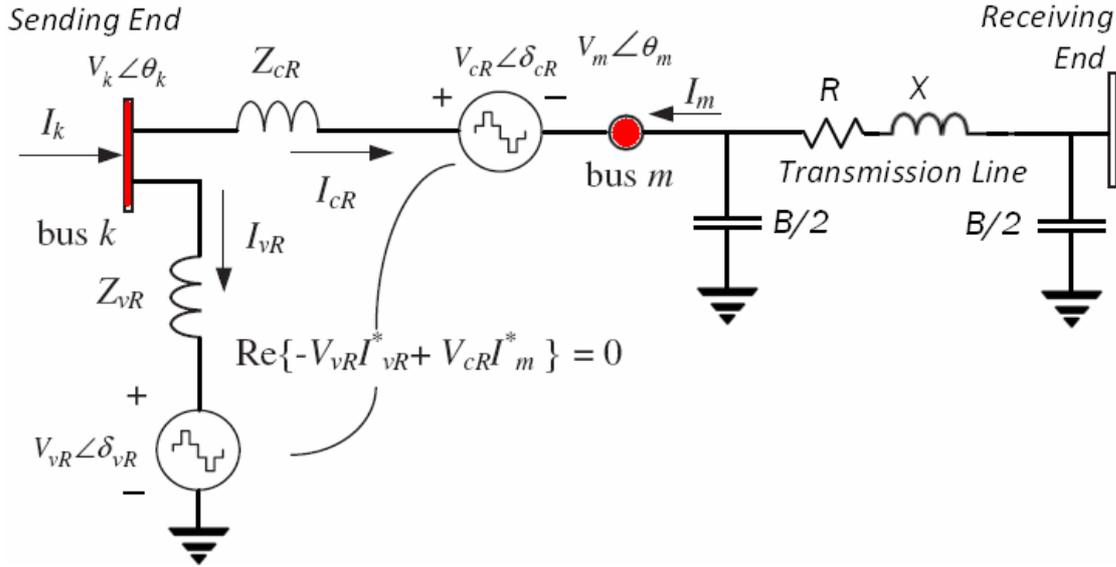


الشكل (2) مخطط رمزي للمتحكم UPFC

تُسَجَّرُ الاستطاعة الفعلية المطلوبة من المبدل التسلسلي، من شبكة AC بواسطة المبدل التفرعي، عبر الوصلة DC و تحقن في القضيب m (Bus m) قضيب توصيل إضافي). يُضاف توتر خرج المبدل التسلسلي إلى توتر العقدة المتصلة بالقضيب k ، لرفع توتر القضيب m . توفر قيمة توتر الخرج V_{CR} تنظيم التوتر، وتحدد زاوية الطور δ_{CR} نمط التحكم بجريان الاستطاعة الكهربائية [13,14]. فضلاً عن الدور المساند في تبادل الاستطاعة الفعلية الذي حدث بين

ومن أجل أي قيمة أخرى للزاوية δ_{cR} ، يعمل UPFC كمجموعة منظم توتر ومعوّض تسلسلي متغير ومزيج طور. يحدد التوتر التسلسلي المحقون مقدار جريان الاستطاعة المتحكم بها.

إزاحة في الطور ويجري التحكم بجريان الاستطاعة الفعلية. إذا كانت δ_{cR} متعامدة مع زاوية تيار الخط، فإنها تتحكم بجريان الاستطاعة الفعلية إذ تعمل كمعوّض تسلسلي متغير.



الشكل (3) مخطط الخط الواحد للدائرة المكافئة لنظام تحكم موحد UPFC

3-1 نموذج جريان الاستطاعة Power Flow Model

استناداً إلى الدارة المكافئة المبينة في الشكل (3) والمعادلات (1) و (2) نكتب معادلات الاستطاعة الفعلية والردية [15] كما يأتي:

في قضيب التوصيل Bus k

$$P_k = V_k^2 G_{kk} + V_k V_m [\sigma_{km} \cos(\theta_k - \theta_m) + B_{km} \sin(\theta_k - \theta_m)] + V_k V_{cR} [\sigma_{kR} \cos(\theta_k - \delta_{cR}) + B_{kR} \sin(\theta_k - \delta_{cR})] + V_k V_{vR} [\sigma_{kR} \cos(\theta_k - \delta_{vR}) + B_{kR} \sin(\theta_k - \delta_{vR})] \quad (4)$$

$$Q_k = -V_k^2 B_{kk} + V_k V_m [\sigma_{km} \sin(\theta_k - \theta_m) - B_{km} \cos(\theta_k - \theta_m)] + V_k V_{cR} [\sigma_{kR} \sin(\theta_k - \delta_{cR}) - B_{kR} \cos(\theta_k - \delta_{cR})] + V_k V_{vR} [\sigma_{kR} \sin(\theta_k - \delta_{vR}) - B_{kR} \cos(\theta_k - \delta_{vR})] \quad (5)$$

في قضيب التوصيل Bus m:

$$P_m = V_m^2 G_{mm} + V_m V_k [\sigma_{mk} \cos(\theta_m - \theta_k) + B_{mk} \sin(\theta_m - \theta_k)] + V_m V_{cR} [\sigma_{mR} \cos(\theta_m - \delta_{cR}) + B_{mR} \sin(\theta_m - \delta_{cR})] \quad (6)$$

$$Q_m = -V_m^2 B_{mm} + V_m V_k [\sigma_{mk} \sin(\theta_m - \theta_k) - B_{mk} \cos(\theta_m - \theta_k)] + V_m V_{cR} [\sigma_{mR} \sin(\theta_m - \delta_{cR}) - B_{mR} \cos(\theta_m - \delta_{cR})] \quad (7)$$

في المبدل التسلسلي:

$$P_{vR} = V_{vR}^2 G_{vR} + V_{vR} V_k [\sigma_{kv} \cos(\delta_{vR} - \theta_k) + B_{kv} \sin(\delta_{vR} - \theta_k)] + V_{vR} V_m [\sigma_{mv} \cos(\delta_{vR} - \theta_m) + B_{mv} \sin(\delta_{vR} - \theta_m)] \quad (8)$$

$$Q_{vR} = -V_{vR}^2 B_{vR} + V_{vR} V_k [\sigma_{kv} \sin(\delta_{vR} - \theta_k) - B_{kv} \cos(\delta_{vR} - \theta_k)] + V_{vR} V_m [\sigma_{mv} \sin(\delta_{vR} - \theta_m) - B_{mv} \cos(\delta_{vR} - \theta_m)] \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta P_m \\ \Delta Q_m \\ \Delta P_k \\ \Delta Q_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_1}{\partial V_1} & \frac{\partial P_1}{\partial V_2} & \frac{\partial P_1}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \theta_2} & \frac{\partial P_1}{\partial V_m} & \frac{\partial P_1}{\partial V_k} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_k} \\ \frac{\partial P_2}{\partial \delta_1} & -\frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial V_1} & \frac{\partial P_2}{\partial V_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P_2}{\partial \theta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial V_m} & \frac{\partial P_2}{\partial V_k} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_k} \\ \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_1}{\partial V_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial V_2} & \frac{\partial Q_1}{\partial \theta_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial \theta_2} & \frac{\partial Q_1}{\partial V_m} & \frac{\partial Q_1}{\partial V_k} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_k} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial V_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial V_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \theta_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial \theta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial V_m} & \frac{\partial Q_2}{\partial V_k} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_k} \\ \frac{\partial P_m}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_m}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_m}{\partial V_1} & \frac{\partial P_m}{\partial V_2} & \frac{\partial P_m}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P_m}{\partial \theta_2} & \frac{\partial P_m}{\partial V_m} & \frac{\partial P_m}{\partial V_k} & \frac{\partial P_m}{\partial \delta_k} \\ \frac{\partial Q_m}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_m}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_m}{\partial V_1} & \frac{\partial Q_m}{\partial V_2} & \frac{\partial Q_m}{\partial \theta_1} & \frac{\partial Q_m}{\partial \theta_2} & \frac{\partial Q_m}{\partial V_m} & \frac{\partial Q_m}{\partial V_k} & \frac{\partial Q_m}{\partial \delta_k} \\ \frac{\partial P_k}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_k}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_k}{\partial V_1} & \frac{\partial P_k}{\partial V_2} & \frac{\partial P_k}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P_k}{\partial \theta_2} & \frac{\partial P_k}{\partial V_m} & \frac{\partial P_k}{\partial V_k} & \frac{\partial P_k}{\partial \delta_k} \\ \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_k}{\partial V_1} & \frac{\partial Q_k}{\partial V_2} & \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_1} & \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_2} & \frac{\partial Q_k}{\partial V_m} & \frac{\partial Q_k}{\partial V_k} & \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_1 \\ \Delta \delta_2 \\ \Delta V_1 \\ \Delta V_2 \\ \Delta \theta_1 \\ \Delta \theta_2 \\ \Delta V_m \\ \Delta V_k \\ \Delta \delta_k \end{bmatrix} \quad (14)$$

إذ:

ΔP_{kk} يمثل عدم تطابق mismatch الاستطاعة ويعطى بالعلاقة (12). إذا كان التحكم بالتوتر في Bus k غير مفعّل، يُستبدل العامود الثالث في المعادلة (14) بالمشتقات الجزئية لعدم تطابق الاستطاعة في قضيب التوصيل وفي UPFC بالنسبة إلى قيمة توتر V_k . و يُستبدل تزايد قيمة توتر المنبع التفرعي، $\Delta V_{VR}/V_{VR}$ بتزايد قيمة التوتر على Bus k، $\Delta V_k/V_k$. إذا كان Bus m و Bus k كلاهما نموذج PQ يكون النظام الخطي للمعادلات كالآتي:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta P_m \\ \Delta Q_m \\ \Delta P_k \\ \Delta Q_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_1}{\partial V_1} & \frac{\partial P_1}{\partial V_2} & \frac{\partial P_1}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \theta_2} & \frac{\partial P_1}{\partial V_m} & \frac{\partial P_1}{\partial V_k} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_k} \\ \frac{\partial P_2}{\partial \delta_1} & -\frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial V_1} & \frac{\partial P_2}{\partial V_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P_2}{\partial \theta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial V_m} & \frac{\partial P_2}{\partial V_k} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_k} \\ \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_1}{\partial V_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial V_2} & \frac{\partial Q_1}{\partial \theta_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial \theta_2} & \frac{\partial Q_1}{\partial V_m} & \frac{\partial Q_1}{\partial V_k} & \frac{\partial Q_1}{\partial \delta_k} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial V_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial V_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial \theta_1} & \frac{\partial Q_2}{\partial \theta_2} & \frac{\partial Q_2}{\partial V_m} & \frac{\partial Q_2}{\partial V_k} & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_k} \\ \frac{\partial P_m}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_m}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_m}{\partial V_1} & \frac{\partial P_m}{\partial V_2} & \frac{\partial P_m}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P_m}{\partial \theta_2} & \frac{\partial P_m}{\partial V_m} & \frac{\partial P_m}{\partial V_k} & \frac{\partial P_m}{\partial \delta_k} \\ \frac{\partial Q_m}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_m}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_m}{\partial V_1} & \frac{\partial Q_m}{\partial V_2} & \frac{\partial Q_m}{\partial \theta_1} & \frac{\partial Q_m}{\partial \theta_2} & \frac{\partial Q_m}{\partial V_m} & \frac{\partial Q_m}{\partial V_k} & \frac{\partial Q_m}{\partial \delta_k} \\ \frac{\partial P_k}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_k}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_k}{\partial V_1} & \frac{\partial P_k}{\partial V_2} & \frac{\partial P_k}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P_k}{\partial \theta_2} & \frac{\partial P_k}{\partial V_m} & \frac{\partial P_k}{\partial V_k} & \frac{\partial P_k}{\partial \delta_k} \\ \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_1} & \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_k}{\partial V_1} & \frac{\partial Q_k}{\partial V_2} & \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_1} & \frac{\partial Q_k}{\partial \theta_2} & \frac{\partial Q_k}{\partial V_m} & \frac{\partial Q_k}{\partial V_k} & \frac{\partial Q_k}{\partial \delta_k} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_1 \\ \Delta \delta_2 \\ \Delta V_1 \\ \Delta V_2 \\ \Delta \theta_1 \\ \Delta \theta_2 \\ \Delta V_m \\ \Delta V_k \\ \Delta \delta_k \end{bmatrix} \quad (15)$$

تبقى في هذه الحالة قيمة التوتر V_{VR} على قيمة معينة ضمن حدود مفروضة:

$$V_{VRmin} \leq V_{VR} \leq V_{VRmax}$$

تعطى عناصر اليعقوبي في المعادلات (14) و (15) كما يأتي:

المشتقات الجزئية لنظام التحكم الموحد UPFC على القضيب k:

في المبدل التفرعي:

$$P_{VR} = -V_{VR}^2 G_{VR} + V_{VR} V_k [G_{VR} \cos(\delta_{VR} - \theta_k) + B_{VR} \sin(\delta_{VR} - \theta_k)] \quad (10)$$

$$Q_{VR} = V_{VR}^2 B_{VR} + V_{VR} V_k [G_{VR} \sin(\delta_{VR} - \theta_k) - B_{VR} \cos(\delta_{VR} - \theta_k)] \quad (11)$$

إذا عُدَّت ثابستورات المبدل عديمة الضياعات، فإن الاستطاعة الفعلية التي تغذي المبدل التفرعي P_{VR} تساوي الاستطاعة الفعلية المطلوبة في المبدل التسلسلي P_{VR} هذا يعني أن:

$$P_{VR} + P_{VR} = 0 \quad (12)$$

وإذا أهملنا المقاومات المادية للمحولتين فإن الاستطاعة الفعلية في القضيب Bus k تكافئ الاستطاعة الفعلية في القضيب Bus m، ومنه:

$$P_{VR} + P_{VR} = P_k + P_m = 0 \quad (13)$$

تُدمج معادلات الاستطاعة للمتحكم UPFC مع معادلات نظام القدرة.

من أجل الحالة التي يتحكم فيها المتحكم UPFC في البارامترات الآتية:

- قيمة التوتر على أطراف المبدلة التفرعية (Busk)،
 - جريان الاستطاعة الفعلية من Bus m إلى Bus k،
 - الاستطاعة الردية المحقونة في Busm
- وإذا عُدَّ Busm قضيب توصيل نموذج PQ أي قضيب حمل حيث الاستطاعة الفعلية والردية المحقونة فيه معلومة في حين قيمة التوتر وزاويته مجهولة، يكون النظام الخطي للمعادلات كما هو مبين في العلاقة (14):

$$\frac{\partial Q_k}{\partial V_{vR}} V_{vR} = H_{kvR}$$

المشتقات الجزئية على قضيب الاستقبال m:

$$H_{mk} = \frac{\partial P_m}{\partial \theta_k} = V_m V_k [G_{mk} \sin(\theta_m - \theta_k) - B_{mk} \cos(\theta_m - \theta_k)]$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial \theta_k} = -N_{mk}$$

$$H_{mm} = \frac{\partial P_m}{\partial \theta_m} = -Q_m - V_m^2 B_{mm}$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial \theta_m} = P_m - V_m^2 G_{mm}$$

$$N_{mk} = \frac{\partial P_m}{\partial V_k} V_k = V_m V_k [G_{mk} \cos(\theta_m - \theta_k) + B_{mk} \sin(\theta_m - \theta_k)]$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial V_k} V_k = H_{mk}$$

$$N_{mm} = \frac{\partial P_m}{\partial V_m} V_m = P_m + V_m^2 G_{mm}$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial V_m} V_m = Q_m - V_m^2 B_{mm}$$

$$H_{mcR} = \frac{\partial P_m}{\partial \theta_{cR}} = V_m V_{cR} [G_{mm} \sin(\theta_m - \delta_{cR}) - B_{mm} \cos(\theta_m - \delta_{cR})]$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial \theta_{cR}} = -N_{mcR}$$

$$N_{mcR} = \frac{\partial P_m}{\partial V_{cR}} V_{cR} = V_m V_{cR} [G_{mm} \cos(\theta_m - \delta_{cR}) - B_{mm} \sin(\theta_m - \delta_{cR})]$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial V_{cR}} V_{cR} = H_{mcR}$$

المشتقات الجزئية على المبدل التسلسلي في UPFC:

$$\frac{\partial P_{cR}}{\partial \theta_k} = V_{cR} V_k [G_{km} \sin(\delta_{cR} - \theta_k) - B_{km} \cos(\delta_{cR} - \theta_k)]$$

$$\frac{\partial P_{cR}}{\partial \delta_{cR}} = -Q_{cR} - V_{cR}^2 B_{mm}$$

$$\frac{\partial P_k}{\partial \theta_k} = -Q_k - V_k^2 B_{kk}$$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial \theta_k} = P_k - V_k^2 G_{kk}$$

$$\frac{\partial P_k}{\partial \theta_m} = V_k V_m [G_{km} \sin(\theta_k - \theta_m) - B_{km} \cos(\theta_k - \theta_m)]$$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial \theta_m} = -N_{km}$$

$$\frac{\partial P_k}{\partial V_k} V_k = P_k + V_k^2 G_{kk}$$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial V_m} V_m = H_{km}$$

$$\frac{\partial P_k}{\partial V_m} V_m = V_k V_m [G_{km} \cos(\theta_k - \theta_m) + B_{km} \sin(\theta_k - \theta_m)]$$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial V_k} V_k = Q_k - V_k^2 B_{kk}$$

$$\frac{\partial P_k}{\partial \delta_{cR}} = V_k V_{cR} [G_{km} \sin(\theta_k - \delta_{cR}) - B_{km} \cos(\theta_k - \delta_{cR})]$$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial \theta_{cR}} = -N_{kcR}$$

$$\frac{\partial P_k}{\partial V_{cR}} V_{cR} = V_k V_{cR} [G_{km} \cos(\theta_k - \delta_{cR}) + B_{km} \sin(\theta_k - \delta_{cR})]$$

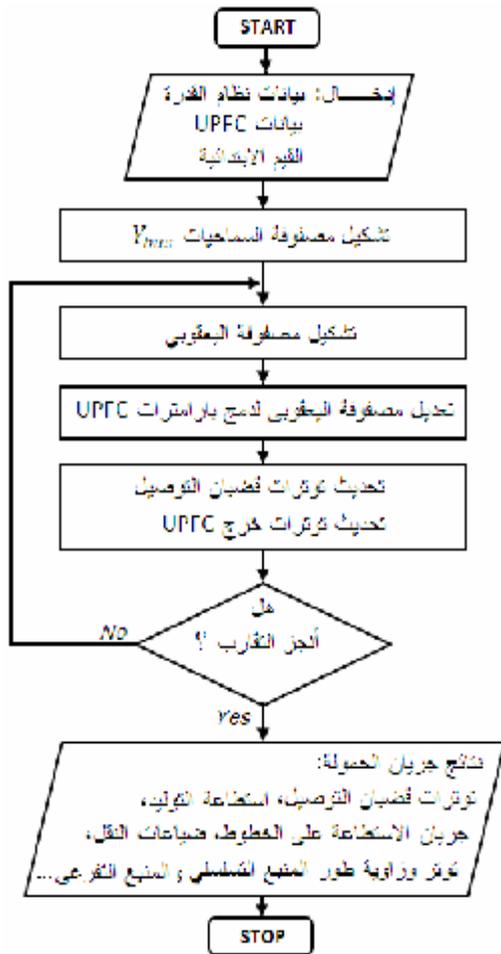
$$\frac{\partial Q_k}{\partial V_{cR}} V_{cR} = H_{kcR}$$

$$\frac{\partial P_k}{\partial \theta_{vR}} = V_k V_{vR} [G_{vR} \sin(\theta_k - \delta_{vR}) - B_{vR} \cos(\theta_k - \delta_{vR})]$$

$$\frac{\partial Q_k}{\partial \theta_{vR}} = -N_{kvR}$$

$$\frac{\partial P_k}{\partial V_{vR}} V_{vR} = V_k V_{vR} [G_{vR} \cos(\theta_k - \delta_{vR}) + B_{vR} \sin(\theta_k - \delta_{vR})]$$

Q_{sp} = جريان الاستطاعة الردية المرغوب فيه.
 V_{vRFL} = قيمة التوتر المرغوب فيه في عقدة الفرع التفرعي.
 V_{vRLo} = الحد الأدنى لقيمة توتر المنبع التسلسلي.
 V_{vRHl} = الحد الأعلى لقيمة توتر المنبع التسلسلي.
 V_{vRLo} = الحد الأدنى لقيمة توتر المنبع التفرعي.
 V_{vRHl} = الحد الأعلى لقيمة توتر المنبع التفرعي.
 X_{cR} = المفاعلة التحريضية للمناعة التسلسلية.
 X_{vR} = المفاعلة التحريضية للمناعة التفرعية.



الشكل (4) المخطط الانسيابي لجريان الاستطاعة، طريقة نيوتن-رافسون مع UPFC

قمنا بتحويل الخوارزمية والنموذج الرياضي إلى برنامج حاسوبي كُتِبَ بلغة البرمجة ++C

$$\frac{\partial P_{cR}}{\partial \theta_m} = V_{cR} V_m [G_{mm} \sin(\delta_{cR} - \theta_m) - B_{mm} \cos(\delta_{cR} - \theta_m)]$$

$$\frac{\partial P_{cR}}{\partial V_{cR}} V_{cR} = P_{cR} + V_{cR}^2 G_{mm}$$

$$\frac{\partial P_{cR}}{\partial V_k} V_k = V_{cR} V_k [G_{km} \cos(\delta_{cR} - \theta_k) + B_{km} \sin(\delta_{cR} - \theta_k)]$$

$$\frac{\partial P_{cR}}{\partial V_m} V_m = V_{cR} V_m [G_{mm} \cos(\delta_{cR} - \theta_m) + B_{mm} \sin(\delta_{cR} - \theta_m)]$$

المشتقات الجزئية على المبدل التفرعي في UPFC:

$$\frac{\partial P_{vR}}{\partial \theta_k} = V_{vR} V_k [G_{vR} \sin(\delta_{vR} - \theta_k) - B_{vR} \cos(\delta_{vR} - \theta_k)]$$

$$\frac{\partial P_{vR}}{\partial \delta_{vR}} = -Q_{vR} - V_{vR}^2 B_{vR}$$

$$\frac{\partial P_{vR}}{\partial V_k} V_k = V_{vR} V_k [G_{vR} \cos(\delta_{vR} - \theta_k) + B_{vR} \sin(\delta_{vR} - \theta_k)]$$

$$\frac{\partial P_{vR}}{\partial V_{vR}} V_{vR} = P_{vR} + V_{vR}^2 G_{vR}$$

4- خوارزمية حساب جريان الاستطاعة في نظام قدرة

يحتوي على UPFC

يُبين الشكل (4) المخطط الانسيابي لسير عملية البرمجة، ويمكن تلخيص الإجراءات الشاملة في الخوارزمية كما يأتي: فضلاً عن بيانات دخل نظام القدرة الأساسية التي يحتاج إليها الحساب التقليدي لجريان الاستطاعة، أي عدد قضبان التوصيل وأنواعها وبيانات خطوط النقل وبيانات التوليد والأحمال، تتضمن موقع المتحكم

UPFC ومواصفاته وبارامتراته الآتية:

$$\delta_{cR} = \text{القيمة الابتدائية لزاوية توتر المنبع التسلسلي.}$$

$$\delta_{vR} = \text{القيمة الابتدائية لزاوية توتر المنبع التفرعي.}$$

$$V_{cR} = \text{القيمة الابتدائية لتوتر المنبع التسلسلي.}$$

$$V_{vR} = \text{القيمة الابتدائية لتوتر المنبع التفرعي.}$$

$$P_{sp} = \text{جريان الاستطاعة الفعلية المرغوب فيه.}$$

5-1 الشبكة الاختيارية 5-Bustest network

تتألف الشبكة الاختيارية 5-Bus system من 5 قُضبان توصيل ومولدين و 7 خطوط، يبين الجدولان (2) و (3) معطيات الدخل لنظام 5-bus system بالقيم الواحدية. عُدَّت استطاعة الأساس 100 MVA.

جدول (2) معطيات خطوط نقل نظام القدرة 5 bus

Sending bus	Receiving bus	R	X	B
		pu		
1	2	0.02	0.06	0.06
1	3	0.08	0.24	0.05
2	3	0.06	0.18	0.04
2	4	0.06	0.18	0.04
2	5	0.04	0.12	0.03
3	4	0.01	0.03	0.02
4	5	0.08	0.24	0.05

جدول (3) معطيات قُضبان التوصيل في نظام القدرة 5bus^[16]

Bus no	Voltage		Generator				Load	
	V	θ	P	Q	Q _{max}	Q _{min}	P	Q
1	1.06	0.0	0.00	0.00	5	-5	0.00	0.00
2	1.00	0.0	0.40	0.00	3	-3	0.20	0.10
3	1.00	0.0	0.00	0.00	-	-	0.45	0.15
4	1.00	0.0	0.00	0.00	-	-	0.40	0.05
5	1.00	0.0	0.00	0.00	-	-	0.60	0.10

للتحقق من سلوك المتحكم UPFC إختبرت الشبكة القياسية من دون UPFC ثم بوجوده. عُدَّ في هذا الاختبار Bus1 قُضبياً مرجعياً SlackBus، و Bus 2 قُضبياً منظماً للتوتر، و Bus 3 و Bus 4 و Bus 5 قُضبان محولة.

الشبكة الاختيارية 5-Bus من دون UPFC

بعد إدخال بيانات نظام القدرة اللازمة في البرنامح المنجز (من دون تفعيل UPFC) حصلنا على النتائج المبينة في الجدولين (4) و (5) لنظام القدرة وقد أنجز التقارب من أجل دقة في الاستطاعات المحسوبة $\varepsilon = 10^{-10}$ بعد 6 عمليات تكرار.¹²

سمي البرنامح UPFCLF اختصاراً لـ (unified power flow controller load flow). يتكون البرنامح المنجز من الدوال Functions الرئيسية المبينة في الجدول (1).

جدول (1) الدوال الرئيسية في البرنامح المنجز

اسم الدالة	الوظيفة
Power Flows Data	قراءة بيانات نظام القدرة
UPFC Data	قراءة بيانات UPFC
Y Bus	تشكيل مصفوفة السامحيات
UPFC Newton Raphson	تنفيذ حل تكراري يستخدم طريقة نيوتن-رافسون
PQ flows	حساب جريان الاستطاعة
PQ UPFC power	حساب جريان الاستطاعة في المتحكم UPFC
UPFC PQ flows	حساب جريان الاستطاعة والضياعات
Net Powers	حساب جدولة الاستطاعات
Calculated Powers	حساب الاستطاعات المحقونة في قُضبان التوصيل
UPFC Calculated power	حساب الاستطاعات المحقونة في قُضبان التوصيل من قبل UPFC
Power Mismatches	حساب عدم تطابق الاستطاعة
UPFC Power Mismatches	حساب عدم تطابق استطاعة UPFC
Newton Raphson Jacobian	تشكيل مصفوفة اليعقوبي
UPFC Jacobian	إضافة عناصر UPFC إلى مصفوفة اليعقوبي
State Variables Updating	تحديث المتغيرات الحالية
UPFC Updating	تحديث متغيرات UPFC الحالية
UPFC Limits	التحقق من القيم الحدية لمنايع التوتر في UPFC

5- الاختبارات الحاسوبية Computer Simulation

أُجريت بداية الاختبارات العملية الحاسوبية على عدة شبكات اختبارية قياسية نعرض منها 5-Bus System فقط تقيداً بشروط النشر من حيث عدد صفحات البحث، ثم أجرينا اختبارات على شبكة النقل الكهربائية السورية توتر 230 kV اعتماداً على المعلومات المتاحة [18].

جدول (4) نتائج حساب توترات فضاءات التوصيل في نظام القدرة 5-bus دون وجود UPFC

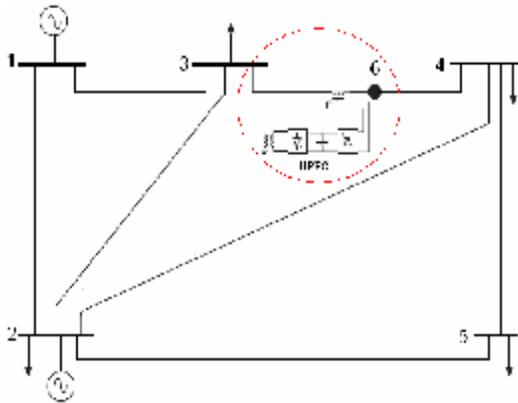
Bus No	Bus Type	Without UPFC	
		Bus Voltage Magnitude (p.u.)	phase angle (deg.)
1	Swing	1.0600	0.0000
2	PV	1.0000	- 2.0612
3	PQ	0.9872	- 4.6367
4	PQ	0.9841	- 4.9570
5	PQ	0.9717	- 5.7649

جدول (5) جريان الاستطاعة و الضياعات في خطوط نقل نظام القدرة 5-bus دون وجود UPFC

From Bus	To Bus	Sending Active power flow MW	Sending Reactive power flow Mvar	Receiving Active power flow MW	Receiving Reactive power flow Mvar	Active power loss MW	Reactive power loss Mvar
1	3	41.79	16.82	- 40.27	- 17.51	1.52	- 0.69
2	3	24.47	- 2.52	- 24.11	- 0.35	0.36	- 2.87
2	4	27.71	- 1.72	- 27.25	- 0.83	0.46	- 2.55
2	5	54.66	5.56	- 53.44	- 4.83	1.22	0.73
3	4	19.39	2.86	- 19.35	- 4.69	0.04	- 1.82
4	5	6.60	0.52	- 6.56	- 5.17	0.04	- 4.65

حين ينظم المبدل التسلسلي جريان الاستطاعة بين العقدتين.

وتم الحصول على النتائج المبينة في الجدولين (6) و(7) وقد أنجز التقارب من أجل دقة في الاستطاعات المحسوبة $\epsilon = 10^{-12}$ خلال 6 عمليات تكرار.



الشكل (5a) مخطط الخط الواحد لنظام القدرة 5-Bus System بوجود UPFC

الشبكة الاختيارية 5-Bus بوجود UPFC

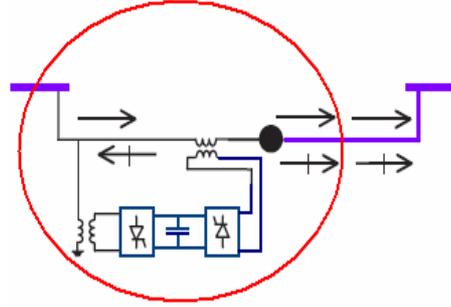
اعتمدنا في هذا الاختبار وفي الاختبارات اللاحقة مواصفات و بارامترات المتحكم UPFC الآتية: جريان الاستطاعة الفعلية المرغوب فيه $0.4pu$ ، جريان الاستطاعة الردية المرغوب فيه $0.02 pu$ ، والقيم الابتدائية:

$$\begin{aligned} X_{VR} &= 0.1 pu, & X_{CR} &= 0.1 pu \\ V_{CR} &= 0.04 pu, & \delta_{CR} &= -87.130^\circ \\ V_{VR} &= 1.0 pu, & \delta_{VR} &= 0.0^\circ \end{aligned}$$

بعد تعديل الشبكة الاختيارية 5-Bus System بحيث تتضمن متحكم UPFC على خط النقل الواصل بين قضيب التوصيل Bus 3 و Bus 4 من جهة Bus 3، ينتج عن ذلك قضيب توصيل إضافي (Bus 6) كما هو مبين في الشكل (5a) والشكل (5b). يُضبط المبدل التفرعي لتنظيم قيمة توتر العقدة 3 على $1 pu$ في

جدول (6): نتائج حساب توترات قضبان التوصيل في نظام

القدرة UPFC-5bus بوجود			
Bus No	Bus Type	With UPFC Bus Voltage Magnitude (p.u.)	phase angle (deg.)
1	Swing	1.0600	0.0000
2	PV	1.0000	- 1.7693
3	PQ	1.0000	- 6.0161
4	PV	0.9917	- 3.1906
5	PQ	0.9745	- 4.9741
6	GPQ	0.9965	- 2.5122



الشكل (5b) المتحكم UPFC

جدول (7): نتائج حساب جريان الاستطاعة و الضياعات في خطوط نقل نظام القدرة 5-Bus بوجود UPFC

From Bus	To Bus	Sending Active power flow MW	Sending Reactive power flow Mvar	Receiving Active power flow MW	Receiving Reactive power flow Mvar	Active power loss MW	Reactive power loss Mvar
1	2	81.14	76.42	- 78.84	- 75.88	2.31	0.55
1	3	50.34	9.34	- 48.43	- 8.92	1.91	0.42
2	3	37.48	- 12.97	- 36.57	11.71	0.92	- 1.25
2	4	13.74	- 1.78	- 13.63	- 1.85	0.11	- 3.63
2	5	47.61	5.14	- 46.69	- 5.29	0.92	- 0.15
3	4	40.00	2.00	- 39.84	- 3.49	0.16	- 1.49
4	5	13.46	0.34	- 13.31	- 4.71	0.15	- 4.37

2-5-1 حساب جريان الاستطاعة دون إضافة UPFC

هَدَفَ هذا الاختبار إلى تحديد جريان الاستطاعة على خطوط نقل الشبكة من دون وجود UPFC، ما يسمح بتكوين فكرة عن تشغيل نظام القدرة الكهربائية في الحالة الحالية والتحقق من مطابقة النتائج مع تلك المحسوبة في [17] لأجل البيانات نفسها.

عند حساب جريان الاستطاعة باستخدام برنامج جريان الاستطاعة المنجز UPFCLF (دون تفعيل UPFC) حصلنا على النتائج الآتية:

1) وجدنا تطابقاً تاماً في نتائج جريان الاستطاعة مع تلك المحسوبة ببرنامج PSS/E [17].

يبين الجدول (8) التغيير في قيمة توتر طور كل من المنبع التسلسلي و التفرعي وزاويتيها.

جدول (8): توتر طور المنبع التسلسلي و التفرعي وزاويتيها.

Series source		Shunt source	
V_{CR} (pu)	δ_{CR} (deg)	V_{CR} (pu)	δ_{CR} (deg)
0.04	-87.130°	1.0	0.0°
0.1013	-92.733°	1.0173	-6.005°

2-5-2 الشبكة الكهربائية السورية 230 kV

نُفِّذت في هذا البحث اختبارات على الشبكة الكهربائية السورية توتر 230 kV، بداية دون إضافة UPFC، ثم بعد إضافة UPFC وحيد إلى الشبكة وفي مواقع مختلفة فيها.

تتألف شبكة النقل الكهربائية السورية 230 kV التي اعتمدها (بحسب البيانات المتاحة) في الاختبارات التي أجريناها من 61 قضيب توصيل منها 16 قضيب توليد و 109 خطوط نقل. عُدَّ توتر الأساس 230 kV واستطاعة الأساس $S_{Base} = 100 MVA$.

القامشلي، والدوير، والحسكة2، والحسكة، وتل خميس، والسويدية، ودير الزور) منخفضة بنسب تراوح بين 8% و 15% من قيمة التوتر الاسمي علماً أن توترات بعض قضبان التوصيل مثل جندر، ومحدرة والزارة كانت 236kV، 235kV، 234 kV على التوالي.

(3) لوحظ أن تحميل أي من الخطوط لم يتجاوز حد التحميل الحراري.

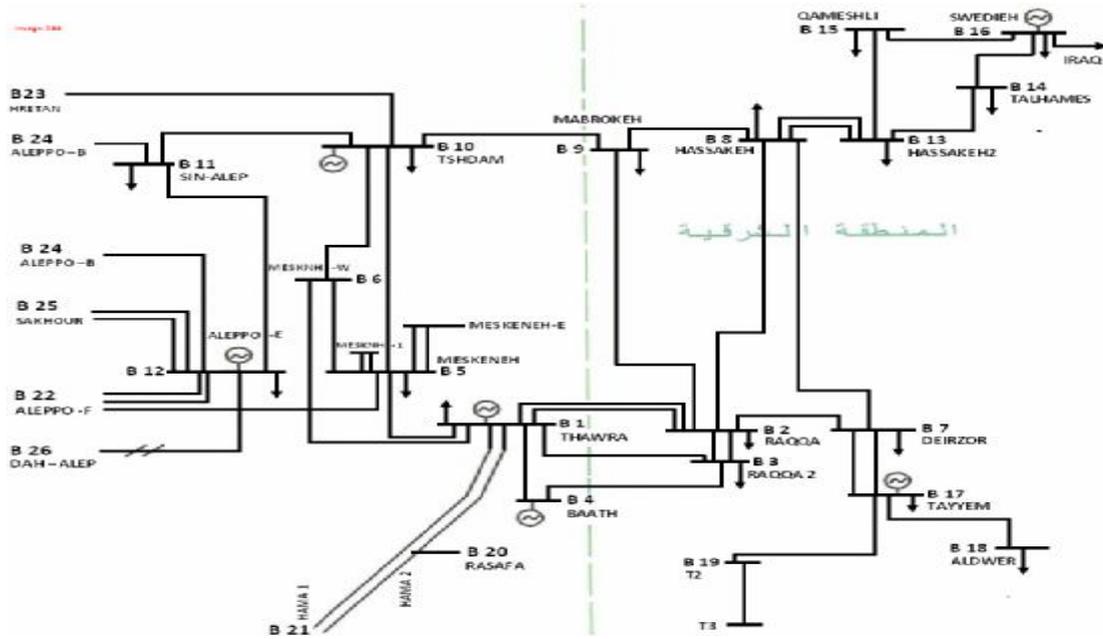
يبين الشكل (6) المقطع الموافق من الشبكة الكهربائية، ويظهر الجدول (9) والشكل (7) توترات العقد التي أشرنا إليها، أمّا الجدول (10) فيظهر بعض نتائج جريان الاستطاعة والضيعات على خطوط الشبكة.

على الرغم من أننا نجري دراستنا على كامل شبكة 230kV، نسلط الضوء على الجزء الذي يعاني انخفاضاً في توترات قضبان التوصيل.

جدول(9): نتائج حساب توترات قضبان التوصيل فيشبكة 61 Bus, 230 kV

Bus No	Bus Type	Bus Name	Without UPFC	
			Bus Voltage Magnitude (kV)	phase angle (deg.)
1	Swing	THAWRA	230.23	- 0.00
2	PQ	RAQQA	223.83	- 3.12
3	PQ	RAQQA 2	224.15	- 3.05
4	PV	BAATH	228.57	- 1.02
5	PQ	MESKNEH	228.59	- 1.70
6	PQ	MESKNH-W	229.33	- 1.44
7	PQ	DEIRZOR	211.66	- 15.11
8	PQ	HASSAKEH	203.44	- 15.16
9	PQ	MABROKEH	213.46	- 9.91
10	PV	TSHDAM	230.00	- 1.40
11	PQ	SIN-ALEP	221.02	- 4.78
12	PV	ALEPPO-E	230.00	- 3.35
13	PQ	HASSAKEH2	202.79	- 15.19
14	PQ	TALHAMES	203.91	- 15.57
15	PQ	QAMESHLI	198.03	- 17.50
16	PV	SWEDIEH	208.89	- 14.30
17	PV	TAYYEM	215.46	- 15.08
18	PQ	ALDWER	202.43	- 18.96
19	PQ	T2	219.96	- 15.00

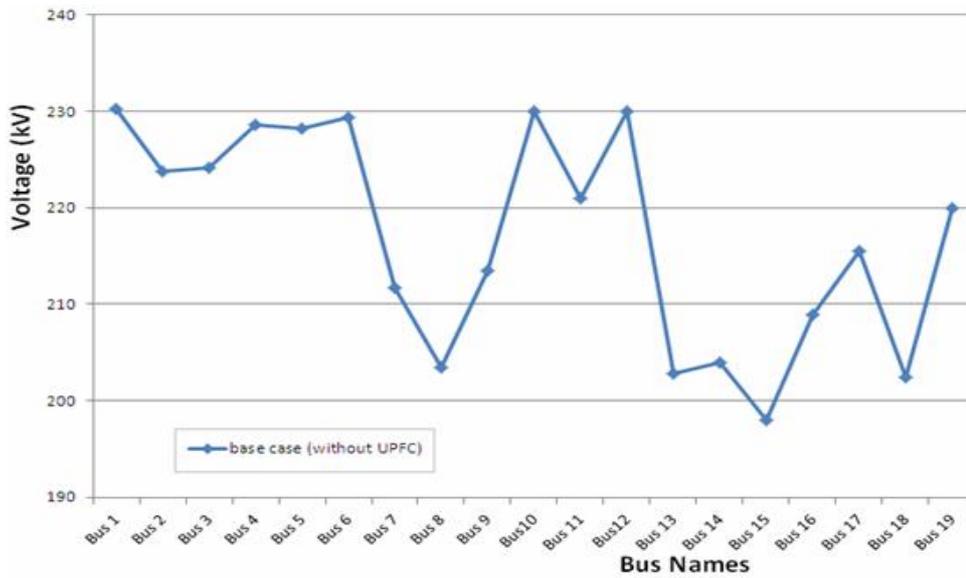
(2) لوحظ أن توترات بعض قضبان التوصيل ولاسيما جزء الشبكة الكهربائية السورية الواقع في المنطقة الشمالية الشرقية(كما هو الحال في قضبان توصيل



الشكل (6) مخطط الخط الواحد لجزء مختار من الشبكة الكهربائية السورية يقع فيه قضبان التوصيل التي تعاني من انخفاض التوتر

جدول(10): جريان الاستطاعة و الضياعات في نظام النقل الكهربائي 61 Bus, 230 kV دون وجود UPFC (base case)

From Bus	To Bus	Sending Active power flow MW	Sending Reactive power flow Mvar	Receiving Active power flow MW	Receiving Reactive power flow Mvar	Active power Loss MW	Reactive power loss Mvar
1	2	138.20	26.17	- 136.70	- 25.46	1.50	0.71
1	2	138.20	26.17	- 136.70	- 25.46	1.50	0.71
1	3	133.95	24.99	132.53	- 24.77	1.42	0.22
1	4	102.14	- 9.22	- 101.80	7.84	0.34	- 1.38
1	5	44.50	- 3.19	- 44.25	- 7.83	0.25	- 11.02
1	6	34.16	- 7.40	- 34.00	- 5.32	0.16	- 12.71
1	20	- 15.30	- 16.30	15.40	12.70	0.10	- 3.60
1	21	- 25.70	- 17.70	25.90	- 8.50	0.20	- 26.20
2	3	-125.58	- 29.57	125.61	29.57	0.03	- 0.00
2	3	-125.58	- 29.57	125.61	29.57	0.03	- 0.00
2	7	176.05	- 20.19	- 169.31	36.55	6.74	16.37
2	8	149.53	30.85	- 143.39	- 19.52	6.14	11.33
2	9	86.97	10.61	- 84.93	- 21.87	2.05	- 11.27
3	4	- 144.68	- 44.77	145.80	46.16	1.12	1.39
5	6	- 38.23	- 19.55	38.27	17.48	0.04	- 2.07
5	10	- 15.52	- 16.43	15.55	9.49	0.03	- 6.94
5	22	33.80	3.20	- 33.60	- 15.80	0.20	- 12.60
6	10	- 4.28	- 12.16	4.28	7.00	0.01	- 5.16
7	8	12.82	55.56	- 11.96	- 67.61	0.86	- 12.06
7	17	- 19.30	- 96.61	19.74	94.59	0.44	- 2.01
7	17	- 19.30	- 96.61	19.74	94.59	0.44	- 2.01
8	9	-	- 17.81	128.97	20.34	2.30	2.53
8	13	53.51	7.22	- 53.51	- 7.33	0.01	- 0.11
8	13	53.51	7.22	- 53.51	- 7.33	0.01	- 0.11
9	10	-	- 28.67	112.45	24.22	3.41	- 4.45
10	11	72.61	8.96	- 71.76	- 19.34	0.86	- 10.39
10	23	93.10	38.60	- 91.70	- 43.40	1.40	- 4.80
11	12	-	- 73.46	115.10	73.68	0.86	0.22
11	24	116.00	59.60	- 115.80	- 59.50	0.20	0.10
12	22	32.90	0.20	- 32.80	- 2.60	0.10	- 2.40
12	22	30.20	0.00	- 30.20	- 2.60	0.00	- 2.60
12	24	143.90	70.90	- 142.70	- 68.60	1.20	2.30
12	25	182.00	82.20	- 180.90	- 78.90	1.10	3.30
12	25	182.00	82.20	- 180.90	- 78.90	1.10	3.30
12	26	69.40	31.90	- 69.00	- 35.50	0.40	- 3.60
12	26	69.40	31.90	- 69.00	- 35.50	0.40	- 3.60
13	14	10.42	-15.25	- 10.39	8.82	0.02	- 6.43
13	15	56.59	13.91	- 56.10	- 20.34	0.49	- 6.44
14	16	-39.61	-31.42	39.89	24.35	0.28	- 7.07
15	16	-75.90	-47.16	77.11	43.25	1.21	- 3.90
17	18	106.90	54.76	- 105.00	- 56.40	1.90	- 1.64
17	19	0.02	3.03	- 0.00	- 17.30	0.02	- 14.27



الشكل (7) توترات قضبان التوصيل من دون UPFC (base case)

ملخص الاختبار الأول (case 1) واستنتاجاته

لُوحظ عند وضع UPFC على الخط 19 (L₇₋₈) من جهة Bus 7 ما يأتي:

(1) ارتفاع قيمة توترات قضبان التوصيل ولاسيما 8 و13 و14 و15 من 208.89 و202.79 و203.91 و198.03 kV إلى 214.83 و214.87 و220.14 و215.38kV على التوالي أي ازدادت بنسب تراوح بين 3% و 8%.

(2) ارتفاع قيمة توتر Bus7 من 211.66 kV إلى 230 kV كما في الشكل (8).

(3) دلّ مؤشر ضياع الاستطاعة الفعلية في الخطوط على أن إجمالي الاستطاعة الفعلية

الضائعة في خطوط الشبكة قد انخفض بمقدار 1.09 MW (عن base case).

(4) يبيّن الجدول (13) تغيّر توترات المنبع التسلسلي والمنبع التفرعي في UPFC قيمة وزاوية.

جدول (13): توتر وزاوية طور المنبع التسلسلي و التفرعي

Series source		Shunt source	
V_{CR} (pu)	δ_{CR} (deg)	V_{CR} (pu)	δ_{CR} (deg)
0.04	-87.130°	1.0	0.0°
0.1455	-85.0534°	1.1000	-16.8482°

2-2-5 حساب جريان الاستطاعة بعد إضافة UPFC

الاختبار الأول (case1): حساب جريان الاستطاعة بعد إضافة UPFC إلى الخط 19 (بين Bus7 و Bus8) من جهة Bus7 عند وضع UPFC على الخط 19 من جهة قضيب التوصيل 7 نحصل على نتائج حساب توترات قضبان التوصيل المبينة في الجدول (11). ويبيّن الجدول (12) نتائج جريان الاستطاعة والضياعات على خطوط الشبكة.

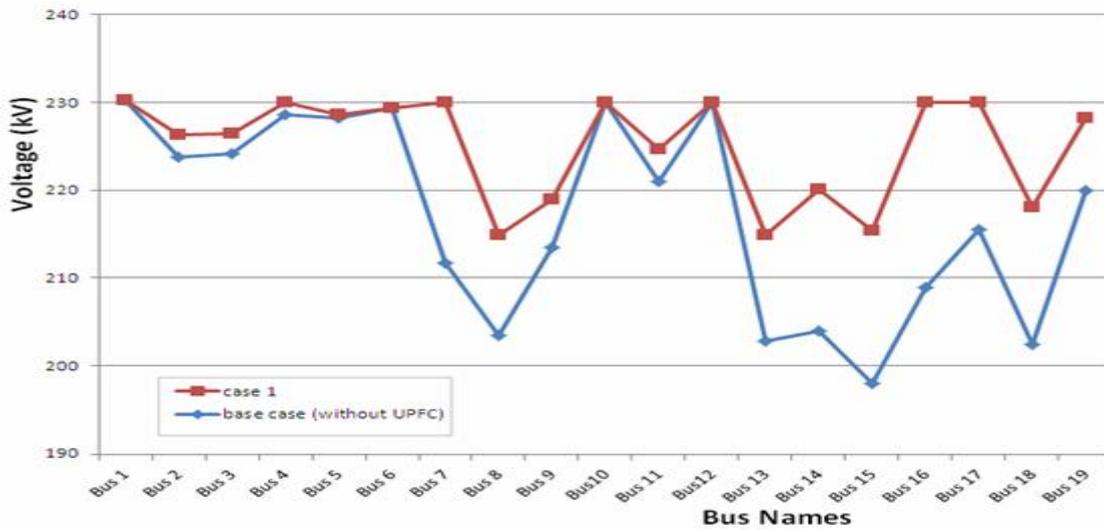
جدول (11): نتائج حساب توترات قضبان التوصيل في شبكة 230

kV بوجود UPFC على الخط 19 جهة Bus7

Bus No	Bus Type	Bus Name	With UPFC case 1 Bus Voltage Magnitude (kV)	phase angle (deg.)
1	Swing	THAWRA	230.23	- 0.00
2	PQ	RAQQA	226.37	- 3.18
3	PQ	RAQQA 2	226.46	- 3.11
4	PV	BAATH	230.00	- 1.04
5	PQ	MESKNEH	228.59	- 1.57
6	PQ	MESKNH-W	229.33	- 1.31
7	PQ	DEIRZOR	230.00	- 16.95
8	PQ	HASSAKEH	214.83	- 13.83
9	PQ	MABROKEH	218.97	- 9.26
10	PV	TSHDAM	230.00	- 1.22
11	PQ	SIN-ALEP	224.65	- 4.59
12	PV	ALEPPO-E	230.00	- 3.16
13	PQ	HASSAKEH2	214.87	- 13.87
14	PQ	TALHAMES	220.14	- 14.45
15	PQ	QAMESHLI	215.38	- 16.21
16	PV	SWEDIEH	230.00	- 13.60
17	PV	TAYYEM	230.00	- 16.66
18	PQ	ALDWER	218.00	- 20.54
19	PQ	T2	228.16	- 16.58
...
62	PQ	T2	219.03	- 11.34

جدول (12): جريان الاستطاعة و الضياعات في نظام النقل الكهربائي UPFC 61 Buswith 230 kV على الخط 19 جهة Bus7 (case 1)

From Bus	To Bus	Sending Active power flow MW	Sending Reactive power flow Mvar	Receiving Active power flow MW	Receiving Reactive power flow Mvar	Active power loss MW	Reactive power loss Mvar
1	2	139.52	15.78	- 138.04	- 15.16	1.48	0.63
1	2	139.52	15.78	- 138.04	- 15.16	1.48	0.63
1	3	135.23	14.96	- 133.83	- 14.83	1.41	0.14
1	4	103.31	- 14.07	- 102.97	12.74	0.35	- 1.33
1	5	41.32	- 2.72	- 41.10	- 8.48	0.21	- 11.20
1	6	31.17	- 6.93	- 31.03	- 5.92	0.13	- 12.86
1	20	- 15.30	- 16.30	15.40	12.70	0.10	- 3.60
1	21	- 25.70	- 17.70	25.90	- 8.50	0.20	- 26.20
2	3	-126.83	- 18.32	126.86	18.31	0.03	- 0.01
2	3	-126.83	- 18.32	126.86	18.31	0.03	- 0.01
2	7	204.82	- 36.78	- 195.65	65.59	9.17	28.81
2	8	134.47	13.06	- 129.76	- 10.12	4.71	2.94
2	9	78.45	1.87	- 76.85	- 16.04	1.60	- 14.16
3	4	- 145.88	- 32.20	146.97	33.37	1.08	1.18
5	6	- 38.72	- 19.44	38.76	17.38	0.04	- 2.06
5	10	- 18.18	- 15.87	18.22	8.96	0.04	- 6.91
5	22	33.80	3.20	- 33.60	- 15.80	0.20	- 12.60
6	10	- 7.73	- 11.46	7.73	6.31	0.01	- 5.15
7	8	40.00	2.00	- 39.64	- 16.81	0.36	- 14.81
7	17	- 19.73	1.49	19.74	- 5.87	0.02	- 4.39
7	17	- 19.73	1.49	19.74	- 5.87	0.02	- 4.39
8	9	- 113.57	- 6.32	115.29	5.26	1.72	- 1.06
8	13	53.99	- 28.63	- 53.98	28.52	0.01	- 0.11
8	13	53.99	- 28.63	- 53.98	28.52	0.01	- 0.11
9	10	- 103.44	- 19.42	106.34	11.87	2.90	- 7.56
10	11	72.61	8.96	- 71.76	- 19.34	0.86	- 10.39
10	23	93.10	38.60	- 91.70	- 43.40	1.40	- 4.80
11	12	- 114.24	- 73.46	115.10	73.68	0.86	0.22
11	24	116.00	59.60	- 115.80	- 59.50	0.20	0.10
12	22	32.90	0.20	- 32.80	- 2.60	0.10	- 2.40
12	22	30.20	0.00	- 30.20	- 2.60	0.00	- 2.60
12	24	143.90	70.90	- 142.70	- 68.60	1.20	2.30
12	25	182.00	82.20	- 180.90	- 78.90	1.10	3.30
12	25	182.00	82.20	- 180.90	- 78.90	1.10	3.30
12	26	69.40	31.90	- 69.00	- 35.50	0.40	- 3.60
12	26	69.40	31.90	- 69.00	- 35.50	0.40	- 3.60
13	14	11.63	- 55.43	- 11.37	49.71	0.26	- 5.72
13	15	56.32	- 17.61	- 55.89	- 10.07	0.43	- 7.54
14	16	-38.63	- 72.31	39.30	66.23	0.68	- 6.08
15	16	-76.11	- 77.57	77.70	74.27	1.59	- 3.30
17	18	106.90	54.76	- 105.00	- 56.40	1.90	- 1.64
17	19	0.02	3.03	- 0.00	- 17.30	0.02	- 14.27



الشكل (8) مقارنة توترات قضبان التوصيل دون UPFC على الخط 7-16 وممع وجوده الاختبار الثاني (case2): حساب جريان الاستطاعة عند إضافة UPFC إلى الخط 16 (بين Bus10 و Bus5) من جهة Bus10 إذا وُضِعَ UPFC على الخط 16 (L₅₋₁₀) من جهة قضيب التوصيل 10 تكون نتائج حساب توترات قضبان التوصيل كما هو مبين في الجدول (14)، ونتائج جريان الاستطاعة الفعلية والرديّة والضياعات في الخطوط كما في الجدول (15).

جدول (14): توترات قضبان التوصيل في شبكة 230 kV UPFC، على الخط 16 (L₅₋₁₀) جهة Bus 10،

Bus No	Bus Type	Bus Name	With UPFC case 2 Bus Voltage Magnitude (kV)	phase angle (deg.)
1	Swmg	THAWRA	230.23	- 0.00
2	PQ	RAQQA	226.18	- 3.15
3	PQ	RAQQA 2	226.28	- 3.08
4	PV	BAATH	230.00	- 1.03
5	PQ	MESKNEH	228.42	- 1.56
6	PQ	MESKNH-W	229.22	- 1.46
7	PQ	DEIRZOR	225.23	- 14.93
8	PQ	HASSAKEH	215.97	- 15.21
9	PQ	MABROKEH	219.30	- 10.10
10	PV	TSHDAM	230.00	- 1.79
11	PQ	SIN-ALEP	224.65	- 5.17
12	PV	ALEPPO-E	230.00	- 3.73
13	PQ	HASSAKEH2	216.00	- 15.25
14	PQ	TALHAMES	220.78	- 15.80
15	PQ	QAMESHLI	216.00	- 17.55
16	PV	SWEDIEH	230.00	- 14.92
17	PV	TAYYEM	230.00	- 14.87
18	PQ	ALDWER	218.00	- 18.75
19	PQ	T2	228.16	- 14.78
...
62	PQ	T2	229.55	- 0.69

(4) يبين الجدول (16) تغيير توترات المنبع التسلسلي والمنبع التفرعي قيمة وزاوية.

جدول (16): توتر المنبع التسلسلي وتوتر المنبع التفرعي

Series source		Shunt source	
V _{CR} (pu)	δ _{CR} (deg)	V _{DR} (pu)	δ _R (deg)
0.04	-87.180°	1.0	0.0°
0.0593	-90.9080°	1.0033	-1.7842°

ملخص الاختبار الثاني (case 2) واستنتاجه

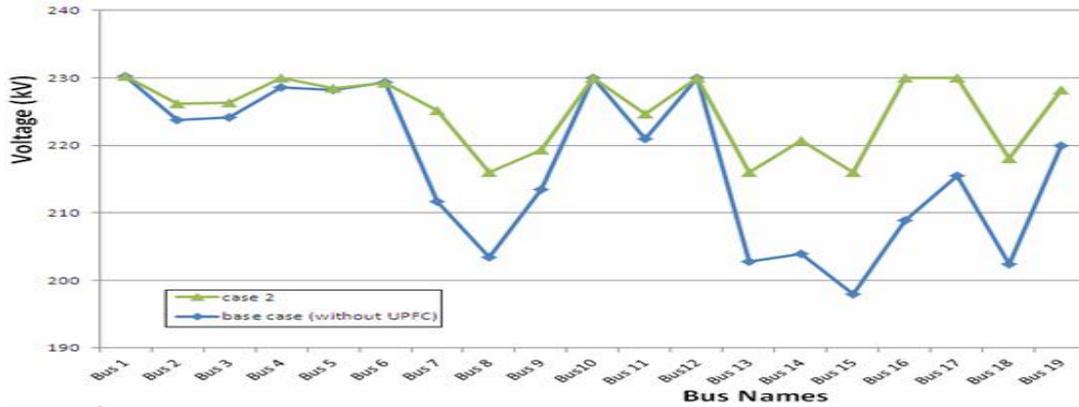
أظهرت النتائج أنه عند وضع UPFC على الخط 16 (L₅₋₁₀) من جهة Bus10 الآتي:

(1) زيادة جريان الاستطاعة الفعلية على الخط نفسه (L₁₀₋₅) من 15.55 MW (basecase) إلى 40.00 MW وانخفاض جريان الاستطاعة الرديّة على الخط نفسه من 9.49Mvar إلى 2.00Mvar (الجدول (15)).

(2) ارتفاع توترات قضبان التوصيل 8 و 13 و 14 و 15 بشكل خاص من 208.89 و 202.79 و 203.91 و 198.03 kV (base case) إلى 215.97 و 216.00 و 220.78 و 216.00 kV على التوالي أي زيادة بنسب تراوح بين 3% إلى 8% كما هو مبين في الجدول (14) والشكل (9).

جدول (15): جريان الاستطاعة و الضياعات لنظام النقل الكهربائي 230 kV, 61 Bus بوجود UPFC على الخط (L₅₋₁₀) جهة Bus 10 (case2)

From Bus	To Bus	Sending Active power flow MW	Sending Reactive power flow Mvar	Receiving Active power flow MW	Receiving Reactive power flow Mvar	Active power loss MW	Reactive power loss Mvar
1	2	138.63	17.91	- 137.16	- 17.35	1.47	0.57
1	2	138.63	17.91	- 137.16	- 17.35	1.47	0.57
1	3	134.37	17.02	- 132.97	- 16.93	1.40	0.08
1	4	102.51	- 13.94	- 102.17	12.58	0.34	- 1.36
1	5	41.15	- 1.57	- 40.94	- 9.62	0.21	- 11.19
1	6	34.73	- 6.87	- 34.56	- 5.81	0.16	- 12.68
1	20	- 15.30	- 16.30	15.40	12.70	0.10	- 3.60
1	21	- 25.70	- 17.70	25.90	- 8.50	0.20	- 26.20
2	3	-126.00	- 20.98	126.03	20.97	0.03	- 0.01
2	3	-126.00	- 20.98	126.03	20.97	0.03	- 0.01
2	7	174.12	- 20.66	- 167.57	35.87	6.55	15.21
2	8	151.35	9.03	- 145.46	0.14	5.89	9.17
2	9	88.84	- 0.50	- 86.82	- 11.38	2.02	- 11.89
3	4	- 145.09	- 35.42	146.17	36.60	1.08	1.18
5	6	- 17.18	- 25.42	17.20	23.56	0.02	- 2.18
5	10	- 39.88	- 8.45	40.00	2.00	0.12	- 6.45
5	22	33.80	3.20	- 33.60	- 15.80	0.20	- 12.60
6	10	17.36	- 17.75	- 17.33	12.71	0.03	- 5.04
7	8	11.32	27.76	- 11.03	- 43.49	0.29	- 15.74
7	17	- 19.42	- 82.36	19.74	79.69	0.32	- 2.67
7	17	- 19.42	- 82.36	19.74	79.69	0.32	- 2.67
8	9	- 126.27	2.38	128.38	- 1.41	2.11	0.97
8	13	53.88	- 24.77	- 53.87	24.65	0.01	- 0.12
8	13	53.88	- 24.77	- 53.87	24.65	0.01	- 0.12
9	10	- 106.56	- 17.40	109.62	10.67	3.06	- 6.74
10	11	72.61	8.96	- 71.76	- 19.34	0.86	- 10.39
10	23	93.10	38.60	- 91.70	- 43.40	1.40	- 4.80
11	12	- 114.24	- 73.46	115.10	73.68	0.86	0.22
11	24	116.00	59.60	- 115.80	- 59.50	0.20	0.10
12	22	32.90	0.20	- 32.80	- 2.60	0.10	- 2.40
12	22	30.20	0.00	- 30.20	- 2.60	0.00	- 2.60
12	24	143.90	70.90	- 142.70	- 68.60	1.20	2.30
12	25	182.00	82.20	- 180.90	- 78.90	1.10	3.30
12	25	182.00	82.20	- 180.90	- 78.90	1.10	3.30
12	26	69.40	31.90	- 69.00	- 35.50	0.40	- 3.60
12	26	69.40	31.90	- 69.00	- 35.50	0.40	- 3.60
13	14	11.44	- 51.02	- 11.22	45.01	0.22	- 6.01
13	15	56.31	- 14.28	- 55.89	6.58	0.42	- 7.70
14	16	-38.78	- 67.61	39.39	61.12	0.60	- 6.48
15	16	-76.11	- 74.08	77.61	70.32	1.51	- 3.76
17	18	106.90	54.76	- 105.00	- 56.40	1.90	- 1.64
17	19	0.02	3.03	- 0.00	- 17.30	0.02	- 14.27



الشكل (9) مقارنة توترات قضبان التوصيل دون UPFC على الخط 16 (بين Bus 10 و Bus 5) وموقع وجوده الاختبار الثالث (case3): حساب جريان الاستطاعة بعد إضافة UPFC إلى الخط 37 (بين Bus 13 و Bus 14) من جهة Bus 13

جدول (17): توترات قضبان التوصيل في شبكة 230 kV، UPFC على الخط 37 (13-14) جهة Bus 13 (case3)

Bus No	Bus Type	Bus Name	With UPFC case 3 Bus Voltage Magnitude (kV)	phase angle (deg.)
1	Swing	THAWRA	230.23	-0.00
2	PQ	RAQQA	227.51	-3.16
3	PQ	RAQQA 2	227.57	-3.10
4	PV	BAATH	230.00	-1.02
5	PQ	MESKNEH	228.59	-1.70
6	PQ	MESKNH-W	229.33	-1.45
7	PQ	DEIRZOR	226.75	-14.49
8	PQ	HASSAKEH	229.83	-15.07
9	PQ	MABROKEH	226.84	-10.06
10	PV	TSHDAM	230.00	-1.42
11	PQ	SIN-ALEP	224.65	-4.79
12	PV	ALEPPO-E	230.00	-3.36
13	PQ	HASSAKEH2	230.00	-15.11
14	PQ	TALHAMES	228.70	-11.98
15	PQ	QAMESHLI	223.57	-15.80
16	PV	SWEDIEH	230.00	-11.71
17	PV	TAYYEM	230.00	-14.35
18	PQ	ALDWER	218.00	-18.23
19	PQ	T2	228.16	-14.27
62	PQ	T2	229.99	-11.01

4) يُشير الجدول (19) إلى تغيّر توترات المنبع التسلسلي و المنبع التفرعي قيمة وزاوية.

جدول (19): توتر المنبع التسلسلي وتوتر المنبع التفرعي

Series source		Shunt source	
$V_{CR} (pu)$	$\delta_{CR} (deg)$	$V_{VR} (pu)$	$\delta_{VR} (deg)$
0.04	-87.130°	1.0	0.0°
0.1115	103.3392°	1.1000	-15.1079°

إذا وُضِعَ UPFC على الخط (L₁₃₋₁₄) جهة Bus 13 تكون نتائج حساب توترات قضبان التوصيل كما هو مبين في الجدول (17)، ونتائج جريان الاستطاعة والضيعات على خطوط النقل كما في الجدول (18).

ملخص الاختبار الثالث (case 3) واستنتاجاته

يُلاحظ عند وضع UPFC على الخط (L₁₃₋₁₄) جهة Bus 13 ما يأتي:

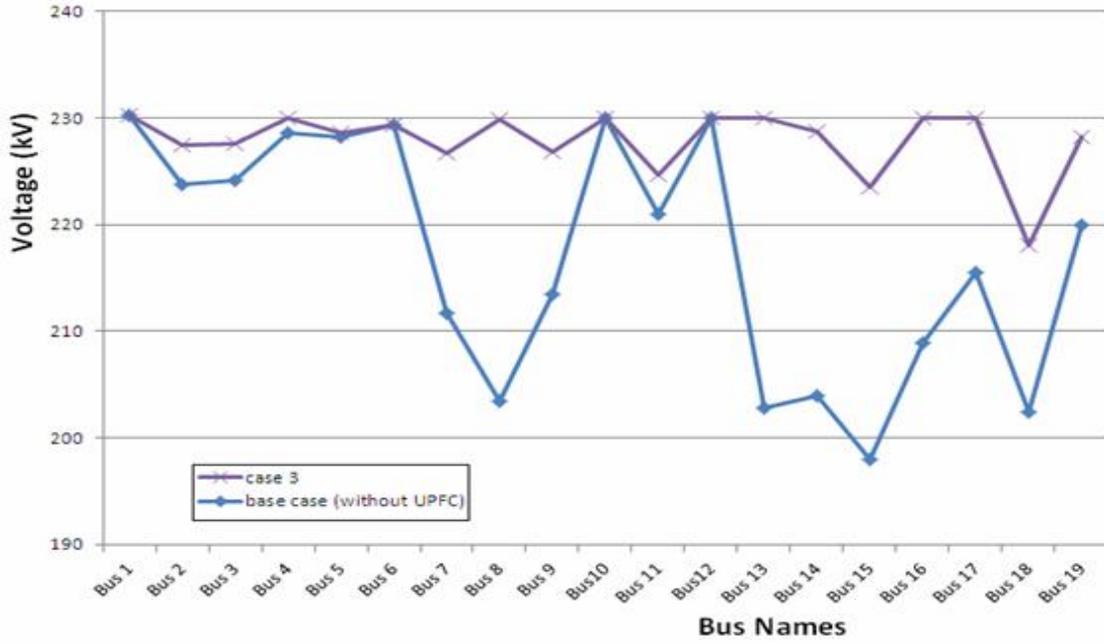
1) زيادة جريان الاستطاعة الفعلية على الخط نفسه (L₁₃₋₁₄) من 10.42 MW إلى 40.00 MW وانخفاض جريان الاستطاعة الرديئة عليه من 15.25 Mvar إلى 2.00 Mvar (باتجاه معاكس)، الجدول (18).

2) يشير الجدول (17) والشكل (10) إلى ارتفاع توترات قضبان التوصيل 8 و 13 و 14 و 15 من 208.89 و 202.79 و 203.91 و 198.03 kV (base case) إلى 229.83 و 230.00 و 228.70 و 223.57 kV على التوالي أي ازدادات بنسب 9.1% و 11.8% و 10.8% و 11.4% على التوالي.

3) دلّ مؤشر ضياع الاستطاعة الفعلية في الخطوط على انخفاض إجمالي الاستطاعة الفعلية الضائعة في خطوط الشبكة بمقدار 3.17 MW (مقارنة مع base case).

جدول (18): جريان الاستطاعة والضيعات في نظام النقل الكهربائي Bus 13(case3) جهة (I₁₃₋₁₄)37

From Bus	To Bus	Sending Active power flow MW	Sending Reactive power flow Mvar	Receiving Active power flow MW	Receiving Reactive power flow Mvar	Active power loss MW	Reactive power loss Mvar
1	2	137.35	3.85	- 135.94	- 3.64	1.42	0.22
1	2	137.35	3.85	- 135.94	- 3.64	1.42	0.22
1	3	133.13	3.50	- 131.78	- 3.75	1.34	-0.25
1	4	101.09	- 13.70	- 100.76	12.29	0.33	- 1.41
1	5	44.72	- 3.22	- 44.47	- 7.78	0.25	- 11.00
1	6	34.36	- 7.43	- 34.20	- 5.28	0.16	- 12.70
1	20	- 15.30	- 16.30	15.40	12.70	0.10	- 3.60
1	21	- 25.70	- 17.70	25.90	- 8.50	0.20	- 26.20
2	3	-124.74	- 3.77	124.77	3.75	0.03	- 0.02
2	3	-124.74	- 3.77	124.77	3.75	0.03	- 0.02
2	7	169.31	- 21.76	- 163.18	34.46	6.13	12.69
2	8	152.19	- 31.59	- 146.32	39.13	5.87	7.53
2	9	87.85	- 20.64	- 85.91	7.41	1.94	- 13.22
3	4	- 143.75	- 14.14	144.76	14.89	1.01	0.74
5	6	- 38.20	- 19.55	38.24	17.49	0.04	- 2.07
5	10	- 15.34	- 16.47	15.36	9.52	0.03	- 6.94
5	22	33.80	3.20	- 33.60	- 15.80	0.20	- 12.60
6	10	- 4.04	- 12.21	4.04	7.05	0.01	- 5.16
7	8	7.27	- 23.44	- 7.22	5.18	0.05	- 18.26
7	17	- 19.59	- 56.06	19.74	52.46	0.15	- 3.60
7	17	- 19.59	- 56.06	19.74	52.46	0.15	- 3.60
8	9	- 128.45	45.01	130.67	-44.48	2.22	0.53
8	13	53.49	- 89.91	- 53.47	89.84	0.02	- 0.07
8	13	53.49	- 89.91	- 53.47	89.84	0.02	- 0.07
9	10	- 109.77	6.87	112.88	- 14.10	3.11	- 7.23
10	11	72.61	8.96	- 71.76	- 19.34	0.86	- 10.39
10	23	93.10	38.60	- 91.70	- 43.40	1.40	- 4.80
11	12	- 114.24	- 73.46	115.10	73.68	0.86	0.22
11	24	116.00	59.60	- 115.80	- 59.50	0.20	0.10
12	22	32.90	0.20	- 32.80	- 2.60	0.10	- 2.40
12	22	30.20	0.00	- 30.20	- 2.60	0.00	- 2.60
12	24	143.90	70.90	- 142.70	- 68.60	1.20	2.30
12	25	182.00	82.20	- 180.90	- 78.90	1.10	3.30
12	25	182.00	82.20	- 180.90	- 78.90	1.10	3.30
12	26	69.40	31.90	- 69.00	- 35.50	0.40	- 3.60
12	26	69.40	31.90	- 69.00	- 35.50	0.40	- 3.60
13	14	40.00	2.00	- 39.87	- 9.21	0.13	- 7.21
13	15	26.95	35.35	- 26.67	- 44.85	0.27	- 9.50
14	16	-10.13	- 13.39	10.15	3.42	0.02	- 9.97
15	16	-105.33	- 22.65	106.85	18.59	1.52	- 4.06
17	18	106.90	54.76	- 105.00	- 56.40	1.90	- 1.64
17	19	0.02	3.03	- 0.00	- 17.30	0.02	- 14.27

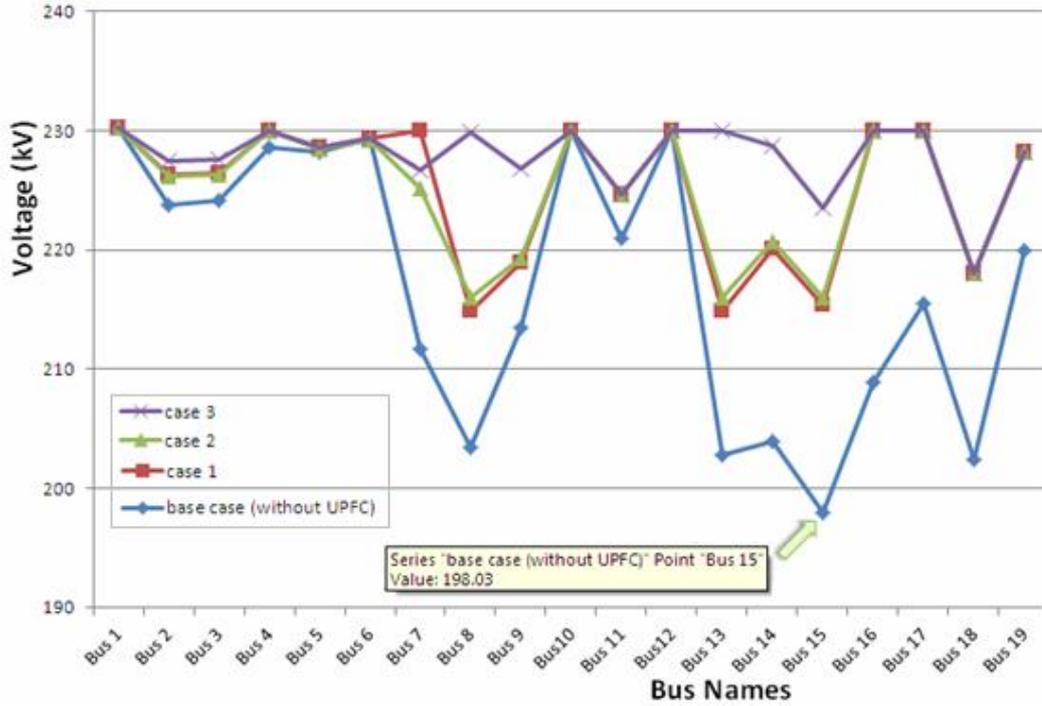


الشكل (10) مقارنة توترات قضبان التوصيل دون UPFC على الخط 37 (بين Bus14 و Bus13) ومع وجوده

وفق الاختبارات التي عرضناها، يمكن تلخيص أثر موقع المتحكم UPFC في توترات بعض قضبان توصيل الشبكة الكهربائية السورية 230 kV في الجدول (11).

جدول (20): توترات قضبان التوصيل في شبكة 230 kV من أجل حالات تموضع UPFC مختلفة

Bus No.	Bus Name	base case (without UPFC) kV	case 1 kV	case 2 kV	case 3 kV
Bus 1	THAWRA	230.23	230.23	230.23	230.23
Bus 2	RAQQA	223.83	226.37	226.18	227.51
Bus 3	RAQQA 2	224.15	226.46	226.28	227.57
Bus 4	BAATH	228.57	230.00	230.00	230.00
Bus 5	MESKNEH	228.18	228.59	228.42	228.59
Bus 6	MESKNH-W	229.32	229.33	229.22	229.33
Bus 7	DEIRZOR	211.66	230.00	225.23	226.75
Bus 8	HASSAKEH	203.44	214.83	215.97	229.83
Bus 9	MABROKEH	213.46	218.97	219.30	226.84
Bus 10	TSHDAM	230.00	230.00	230.00	230.00
Bus 11	SIN-ALEP	221.02	224.65	224.65	224.65
Bus 12	ALEPPO-E	230.00	230.00	230.00	230.00
Bus 13	HASSAKEH2	202.79	214.87	216.00	230.00
Bus 14	TALHAMES	203.91	220.14	220.78	228.70
Bus 15	QAMESHLI	198.03	215.38	216.00	223.57
Bus 16	SWEDIEH	208.89	230.00	230.00	230.00
Bus 17	TAYYEM	215.46	230.00	230.00	230.00
Bus 18	ALDWER	202.43	218.00	218.00	218.00
Bus 19	T2	219.96	228.16	228.16	228.16



الشكل (11) مقارنة توترات بعض قضبان التوصيل موضع الاهتمام من أجل حالات تموضع UPFC مختلفة

6- الاستنتاجات والتوصيات

خطوط الشبكة، ما ينعكس إيجاباً على الاقتصاد الوطني وعلى البيئة.

- يمكن استخدام البرنامج المنجز في تحليل جريان الاستطاعة في أي نظام قدرة توفرت بياناته اللازمة مع UPFC أو من دونه، كما أن البرنامج قابل للتعديل أو التطوير والربط مع برامج تصميم أخرى.
- البحث قابل للتطوير في الاتجاهات الآتية: اختيار الموقع الأمثل للمتحكم UPFC ومواصفاته من أجل ضياع استطاعة أصغري، وتحسين استقرار التوتر في نظام القدرة.

• عند وضع متحكم UPFC على الخط j من جهة i Busi، يختلف جريان الاستطاعة عنه في الشبكة الأصلية، ومن أبرز التغييرات:

- (1) زيادة جريان الاستطاعة الفعلية باتجاه $Bus i$ من خلال خطوط النقل الأخرى المتصلة مع $Busi$. هذه الزيادة هي استجابة للطلب الكبير على الاستطاعة الفعلية من قبل المبدل التسلسلي في UPFC.
- (2) لما كان UPFC يولد استطاعته الردية، لذا تُنقص بعض المولدات استطاعتها الردية المولدة أو تزيد استجراها للاستطاعة الردية.

• يؤدي استخدام المتحكم UPFC في نظام النقل إلى استثمار أفضل لخطوط النقل القائمة، وتحسين منحنى تغير توتر اتقضان التوصيل.

- أكد البرنامج الحاسوبي المنجز أن استخدام المتحكم UPFC في شبكة النقل الكهربائية السورية 230Kv يؤدي إلى تحسين منحنى تغير التوتر voltage profile وتخفيض ضياعات النقل في

7- المراجع

- Flo IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 11, No. 4, Nov. 1996, pp. 1937-1943.
- [11] H. L. Sheng, and C. ChiChu. "Comprehensive UPFC Models for power Flow Calculation in Practical Power System", IEEE Trans, 1 (1): 27-32 (2000).
- [12] Fuerte-Esquivel, C.R, and Acha, E.: "Incorporation of UPFC model in an optimal power flow using Newtons method", IEE Proc. -Gen- Transm.Distrib., Vol145,No.3 May1998, pp336-344,
- [13] Hingorani, N.G., Gyugyi, L., Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems, Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York. 2000.
- [14]Nashiren.F. M., Senan M. B., "Single Phase Unified Power Flow Controller (UPFC): Simulation and onstruction", European Journal of Scientific Research, ISSN 1450-216X Vol.30 No.4 (2009), pp.677-684
- [15]Fuerte-Esquivel, C.R., Acha, E., Ambriz-Perez H. "A Comprehensive Newton-Raphson UPFC Model for the Quadratic Power Flow Solution of Practical Power Networks", IEEE Transaction on Power System, Vol. 15, No. 1, February 2000.
- [16] S. Sadra, J. Chauahan, B. Pandaya, N. Suthar, "Congestion Management using TCSC and UPFC", Journal of information and research in electrical engineering, ISSN: 0975-6736, Nov 11 to Oct 12, Volume -0.1, ISSUE -02 (2012) 112-117.
- [17] PTI interactive power system simulator – PSS/E PEEGT Network UPTODATE to 30-12-2010 Pick load 7876 MW +85 to Lebanon + import 180 MW, MON, MAY, 09-2011, 11:29.
- [18] بيانات وزارة الكهرباء 2009-2011.
- [1] Gyugyi, L. "Unified power flow controller concept for flexible AC Transmission system", IEE Proceedings-C vol-139,no.4, July 1992, pp 323-331.
- [2] Gyugyi, L,et al. "Theunified power flow controller: A new Approach topower transmission control", IEEE Trans on Power DELiveryvol,10,No.2, April 1995,pp1085-1097.
- [3] B. A. Renz, A. Keri, C. Schauder, A. Edris. "AEP Unified Power Flow Controller Performance", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No. 4, October 1999.
- [4] M. H. Haque., " Power flow control and voltage stability limit: regulating transformer versus UPFC".IEEProc.-Gener.Transm, 151(3):291-304 (2004).
- [5] A. Mete Vural, Mehmet Tumay, "Mathematical modeling and analysis of a unified power flow controller", Science Direct Electrical Power and Energy Systems 29 (2007) 617-629.
- [6] S. Mishra, P. K. Dash and G. Panda "TS-fuzzy controller for UPFC in a multi machine power system" *IEE Proc.-Gener. Trunsm.Distrib.. Vol. 147, No. 1, January 2000*
- [7] SaminaElyasMubeen, R. K. Nema, GayatriAgnihotri. "Power Flow Control with UPFC in Power Transmission System", World Academy of Science, Engineering and Technology 47 (2008).
- [8] M. Alomoush."Exact Pi-Model of UPFC-Inserted Transmission Lines in Power Flow Studies", IEEE Trans, 22(1): 54-56 (2002).
- [9] Seyed Ali Nabavi-Niaki, M. R. Iravani, "Visualization and Investigation of Unified Power Flow Controller (UPFC) Non-linearity in Power Flow" in the proceedings of IEEE pp 812-817 (2003).
- [10] A. Nabavi-Niaki, M.R. Iravani, 'Steady-state and dynamic models of Unified Power