

التحكم بسريان الاستطاعة في شبكة النقل 230KV بدلالة زاوية نقل القدرة والمفاعلة التحريضية لخطوط نقل الطاقة الكهربائية

د. فيصل شعبان *

د. نسمة أبو طبق **

احمد محمود علي ***

(تاريخ الإيداع 20 / 7 / 2020. قُبِلَ للنشر في 28 / 10 / 2020)

□ ملخص □

يعد تحسين السعة التمريرية لخطوط نقل الطاقة الكهربائية من التحديات الرئيسية لمشغلي الشبكات الكهربائية، بهدف تلبية الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية. وخاصة عند بلوغ هذه الشبكات لحدودها الحرارية الحرجة نتيجة تزايد الأحمال أو حدوث الأعطال الدائمة، وعجزها عن تلبية النمو المتزايد للأحمال الكهربائية، ولهذا الغرض يلجئ الباحثون الى البحث تحسين السعة التمريرية للشبكة الكهربائية. سنقوم في هذا البحث بدراسة سريان الاستطاعة الكهربائية في شبكة نقل الطاقة الكهربائية 230Kv، وعلاقتها بتغيرات ممانعة خط النقل التحريضية من جهة، وزاوية نقل القدرة بين جهدي الإرسال والاستقبال من جهة أخرى، والبحث عن حلول لتحسين قيمتها، وتحديد القيم الأفضل لكل من المفاعلة التحريضية وزاوية نقل القدرة للشبكة. أظهرت النتائج التي حصلنا عليها بتطبيق هذه الدراسة على شبكة نقل الطاقة الكهربائية من بانياس الى اللاذقية، أن خروج محطة زيزون الحرارية أدت لزيادة تحميل خطوط نقل الطاقة الكهربائية للشبكة بنسب متفاوتة وصلت الى 48%، وأن اجراءات تحسين سريان الاستطاعة في الشبكة المدروسة يؤدي الى تحسين معامل القدرة لطرف الإرسال من 0.8 الى 0.93، وزيادة مردود خط النقل من 81% الى 90% مع زيادة في القدرة التمريرية لخطوط النقل يصل الى 995[MW] من أجل زاوية نقل 22.5° ، بينما تحسين المفاعلة التحريضية أدت الى تخفيض هبوط التوتر المنوي الى 2.25%، وانخفاض الممانعة الموجبة من 430 أوم الى 225 أوم، وزيادة السعة التمريرية لخطوط النقل الى 1000[MW].

الكلمات المفتاحية: الشبكة الكهربائية، خطوط نقل الطاقة الكهربائية، ممانعة خطوط النقل، زاوية نقل القدرة الكهربائية، الاستطاعة الكهربائية، سريان الاستطاعة، هبوط التوتر المنوي، خطوط نقل الطاقة الكهربائية.

* أستاذ، قسم هندسة الطاقة الكهربائية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

** مدرس، قسم هندسة الطاقة الكهربائية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية

*** طالب دكتوراه، قسم هندسة الطاقة الكهربائية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

Control In Power Flow On Transmission High Voltage Transmission 230KV Angle And Inductive Reactance Of Transmission Lines

Dr. Faisal Shaaban*
Dr. Nasmat Abu Tabaq**
Ahmed Mahmoud Ali***

(Received 20 / 7 / 2020. Accepted 28 / 10 / 2020)

□ ABSTRACT □

Improving the passive capacity of the electric power transmission lines is one of the main challenges for electric grid operators, in order to meet the growing demand for electrical energy. Especially when these networks reach their critical thermal limits as a result of the growth of loads or the occurrence of permanent malfunctions, and their inability to meet the growing growth of electrical loads, and for this purpose researchers resort to searching for technical solutions that enable them to transfer a greater amount of electrical capacity across the network itself.

In this research, we will study the flow of electrical power in the 230Kv high voltage transmission network from Baniyas to Lattakia, after the exit of the Zayzoun power station, and its relationship to the transmission line impedance changes on the one hand, and the power transmission angle on the other hand, and search for solutions to improve its value, and determine the best values for each Of inductive reactance and power transmission angle of the network. Taking into consideration the national resistance of the transmission line, while not neglecting it at all stages of the research.

The results that we obtained showed that the exit of the Zayzoun thermal station resulted in an increase in the loading of the transmission lines of the network by varying proportions 48%, and that the appropriate value of the network transmission angle is 22.5° leading to an improvement of the power factor of the transmitting terminal from 0.8 to 0.93, and an increase in the efficiency of the transmission line From (81-90)% and the high pass-through capacity of transmission lines to 995[MW], while the improvement of the inductive reactance led to an improvement in the deviation of percentile tension to 2.25%, a decrease in the distinctive impedance from (430-230) ohms and an increase in the pass-through capacity of the transmission lines to 1000 [MW].

Keywords: electric grid, electric power transmission lines, transmission lines impedance, electric transmission angle, electric power, power flow, percentile drop, electric power transmission lines.

*Professor, Electrical Power Department, Faculty Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Assistant Professor, Electrical Power Department, Faculty Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

***PhD student, Electrical Power Department, Faculty Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

يتألف نظام الطاقة الكهربائية من محطات التوليد، مراكز التحويل، خطوط نقل الطاقة الكهربائية، ومراكز التوزيع للمستهلكين. يهدف نظام نقل الطاقة الكهربائية إلى نقل الاستطاعة الكهربائية من مراكز التوليد إلى المستهلكين بالموصفات الفنية المطلوبة.

يتم نقل الطاقة الكهربائية عبر خطوط النقل الكهربائية، ويتم تصميمها بحيث تتمكن من نقل الاستطاعة الكهربائية بالموصفات الفنية المطلوبة. نسمي عملية قيام نظام النقل بنقل الاستطاعة عبر خطوط النقل الكهربائية بسريان الاستطاعة الكهربائية، ولأن الضياعات الكهربائية تتناسب طردياً مع مربع شدة التيار الكهربائي تم اللجوء إلى نقل الاستطاعة الكهربائية بتوترات عالية.

لدراسة سريان الاستطاعة الكهربائية ينبغي القيام بنمذجة دقيقة للشبكة الكهربائية، مع مراعاة كافة العوامل المؤثرة فيها وذلك لتعذر القيام بتجارب عملية على شبكات التوتر العالي ذات الجهود العالية.

يتم نمذجة الشبكة الكهربائية ثلاثية الطور اعتماداً على مكوناتها، حيث يمكن تمثيل مراكز التوليد ومحطات التحويل والاحمال بناءً على قيم الاستطاعة والجهود العاملة عليها، أما خطوط النقل فيتم نمذجتها اعتماداً على مواصفاتها الفنية من جهة (الجهود العاملة عليها، الاستطاعة القصوى التي يمكن نقلها... الخ)، وبارامترات الشبكة من جهة أخرى (طول خط النقل، مقاطع النواقل، عدد النواقل... الخ).

تصنف خطوط النقل الكهربائية اعتماداً على أطوالها إلى خطوط نقل قصيرة أقل من 80 km، خطوط النقل المتوسطة التي يتراوح طولها بين (80-240)km، وخطوط النقل الطويلة الأكبر من 240km حيث تتم دراسة النقل وفقاً لهذا التصنيف. [1]-[5]

جميع خطوط نقل الطاقة الكهربائية تتمثل بعدة بارامترات أهمها، المقاومة R، التحريضية L، والحثية C، حيث تؤثر هذه البارامترات في سريان الاستطاعة الكهربائية، كفاءة خط النقل، الضياعات الكهربائية، وهبوط الجهد. [6]-[9]. قام العديد من الباحثين من دراسة سريان الاستطاعة الكهربائية في خطوط النقل الكهربائية، وتحديد العوامل المؤثرة فيها، والاجراءات المتخذة لتحسينها.

- قام (Dr.Rakhes, 2013) بالتحليل الرياضي للشبكة الكهربائية، وخلصت الدراسة إلى وضع قوانين تحدد العلاقة التي تدخل بها ممانعة خط النقل كتابع في بارامترات الخط. [10]

- قام (Lyazid.H, Khodir.H, Fatiha.Z, 2015) بدراسة الشبكة الكهربائية من التوليد إلى الاستهلاك محدداً أثر توضع النواقل على هبوطات الجهد والاستطاعة، وخلصت دراسته بأخذ عدة نواقل ضمن الطور الواحد، وتبادل الأطوار فيما بينها. بالإضافة إلى وضع خوارزمية حسابية تحدد تغيرات هبوطات الجهد والاستطاعة تبعاً لممانعة خط النقل. [11]

- قام (Knockaert.J, Peuteman.J, Catrysse.J, Belmans.R, 2009) بإجراء تبسيط كبير في حسابات سريان الاستطاعة، عن طريق إجراء اختصار في المصفوفة المعبرة عنها لخط نقل يحوي العديد من النواقل. خلصت إلى معادلة مختصرة سهلة الاستخدام وذلك بهدف تقليل الوقت والجهد في حساب المصفوفة المعبرة. [12]

- قام (Ullah.I, Gawlik.W, Palensky.P, 2016) بدراسة تأثير المفاعلة على الاستطاعة المنقولة من خلال خط النقل باستخدام تقنيات أجهزة FACTS وخلصت دراسته إلى تحسن ملحوظ على عملية نقل الاستطاعة من خلال الشبكة في حال تم تحسين ممانعة خط النقل عبر أجهزة FACTS. [13]

- قام (Lee.C.K, Joseph.S.K, 2003) بأجراء دراسة تناولت إضافة أجهزة التعويض التفرعية STATCOM وتأثير ذلك على الشبكة الكهربائية، حيث أسهمت المكثفات التفرعية المتحكم بها في تعويض ممانعة شبكة النقل الكهربائية وأدت في النهاية إلى تحسين مواصفات الشبكة وموثوقيتها. [14]
- قام (Joshi.D, Gandhi.A, Parmar.S, 2017) بدراسة أثر إضافة المعوضات التسلسلية المتحكم بهما، أدى ذلك إلى التحكم بكل من السعة الكلية لخط النقل والمفاعلة الكلية له وبالتالي الحصول بارامترات أفضل في الشبكة. [15]
- قام (Rabea.F, Kamel.S, Jurado.F, Abdel-Rahim.O, 2018) بدراسة أثر وضع ملف تفرعي متحكم به مع مكثف، وأظهرت نتائج أثر تعديل الممانعة الواضح بـ XSVC على قيمة كل من الجهد والتيار واستقرارهما. [16]
- قام (Gaigowal.S.R, Renge.M.M, 2017) بدراسة أثر إضافة معوضات تسلسلية متعددة على التسلسل مع خط النقل، حيث أظهرت النتائج التي حصل عليها على نظام نقل IEEE-14 تحسن واضح في تابع النقل الذي خلص إليه تبعاً للضياح في خط النقل. [17]
- قام (Fischer.N, Le.B, Taylor.D, 2011) بدراسة شبكة النقل الكهربائية مع إضافة تعويض لمفاعلة خط النقل، حيث اعتمد على ادخل مكثفات على التفرع وبالطريقة المثالية بينما قام بإدخال ملفات تفرعية بالأسلوب نجمي، وكانت نتائج دراسته تحسن واضح في بارامترات الشبكة ومنها ثبات الممانعة العامة لخط النقل. [18]
- قام (Grünbaum.R, Rasmussen.J, Li.CH, 2011) باستخدام طريقة إضافة المكثفات على التسلسل مع خط النقل، أدى ذلك إلى انخفاض الممانعة الكلية لخط النقل، ونتيجة التحكم الدائم في قيمة هذه المكثفات ينتج استقرار وثبات لقيمة الممانعة على طول خط النقل. [19]
- قام (شعبان، شاهين، 2010) باستخدام المعوض التسلسلي المتواقت الساكن SSSC في نظام نقل الطاقة الكهربائية، ودراسة تأثيره على نظام القدرة، حيث يعتبر الـ SSSC جهاز مؤلف من قالبة مربوطة على التفرع مع مكثف ومتصل على التسلسل مع خط النقل، يمكن اعتبار SSSC ممانعة خطية متحكم بها بشكل فعال، أو كمنبع جهد تسلسلي يتم التحكم بمطاله وزاويته، أجرى الباحث دراسته على نظام IEEE-14 في اختبار الحالة المستقرة، وعند حدوث الأعطال. وخلصت نتائج بحثه أن التعويض التسلسلي المتحكم به يقلل من ممانعة شبكة النقل، ويعمل على جعله ثابتة في حال الاختلاف الناتج عن أي مصدر آخر. [20]

أهمية البحث وأهدافه:

- من الناحية البحثية العلمية: تعد نمذجة شبكة النقل الكهربائية من منابع التوليد الى مراكز التوزيع مهمة جداً من أجل التنبؤ بحجم واتجاه الاستطاعة المنقولة، كما أنها تساعد في استكمال بعض البيانات الضرورية لتحليل أداء الشبكة في حالات عمل مختلفة، حيث جاءت أهمية هذا البحث من تحديد ممانعة خطوط الشبكة، وتأثيرها على قدرة الشبكة على نقل الاستطاعة ومواصفات هذه الاستطاعة، وتحديد أهم البارامترات الضرورية لعمليات البحث العلمي وأثر تغيرات هذه البارامترات على الاستطاعة المنقولة.
- من الناحية العملية: تعتبر شبكة نقل الـ 230Kv الممتدة من بانياس الى محافظة اللاذقية جزءاً من الشبكة السورية، تغذي هذه الشبكة كل من محطات تحويل بانياس، جبلة، اللاذقية، سقوبين، والمرفا، حيث أدى خروج محطة

زيزون الحرارية لتغيرات كبيرة في تحميل خطوط نقل الشبكة، ولا بد من تحديد هذه التغيرات وأثرها، وكيفية الحد من سلبيات تأثيرها السلبي.

• **من الناحية الفنية والاقتصادية:** تأتي أهمية البحث من الناحية الاقتصادية من خلال ايجاد التحريضية الأفضل لخطوط النقل التي توفر أفضل شروط العمل، والحد من توليد منابع القدرة للاستطاعة الردية مما يشكل حد كبير من الأعطال الناتجة عن زيادة تحميل خطوط الشبكة الكهربائية بالاستطاعة الردية الغير مرغوبة وخاصةً عندما تقترب من حدود تحميلها الحرارية، الحد من الضياعات في خطوط النقل، توفير الوقود للزم لعمل محطات التوليد اللازمة لتوليد المزيد من الاستطاعة الردية، كما وأن تحسين سريان الاستطاعة له دور كبير في تأمين متطلبات الحمولة المستقبلية دون اللجوء لبناء شبكات نقل جديدة مكلفة جدا وتحتاج الى أراضي ومحطات وخطوط نقل يمكن توفيرها.

• **هدف البحث:** يهدف البحث الى وضع نموذج للشبكة الكهربائية في بيئة MATLAB، يبين كل من الاستطاعة الظاهرية (الفعلية والردية) المنقولة، ممانعة خطوط النقل، زاوية نقل القدرة، كفاءة خطوط النقل، انحراف التوتر المثوي، وأثر تغيرات كل منها على أداء شبكة نقل القدرة الكهربائية، مع تحديد القيم الأفضل لها لتحسين سريان الاستطاعة، واجراء نمذجة حقيقية للشبكة المدروسة ومناقشة طرق تحسين بارامتراتنا، كما يهدف البحث لإعداد برنامج حاسوبي في بيئة MATLAB يسمح بادخال كافة متغيرات الشبكة، واطهار نتائج التحكم بها على باقي البارامترات.

منطقة البحث

تمتد شبكة النقل الكهربائية 230KV من محطة تحويل بانياس الى اللاذقية، حيث تغذي كل من محطات تحويل جبلة، سقوبين، المرفأ، واللاذقية كما هو موضح في الشكل(1). حيث يبين الشكل أطوال خطوط نقل القدرة الكهربائية، وعدد الدارات العاملة.



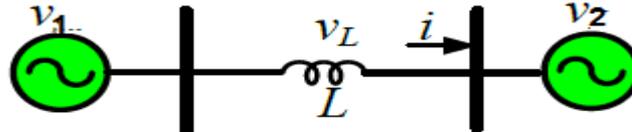
الشكل(1): مخطط شبكة 230KV بين بانياس واللاذقية

منهجية البحث: تم اعتماد المنهج الوصفي التحليلي.

طرائق البحث ومواده:

1- الاستطاعة الكهربائية المنقولة

إذا اعتبرنا خط نقل جهود بدايته ونهايته V_1, V_2 وممانعته الردية (Inductive Reactance X_L)، والزاوية بين جهدي بدايته ونهايته هي δ_{12} والتي تعرف بالـ Power Angle، فإن الاستطاعة الفعلية المنقولة Transfer Power Capacity، والردية تعطى بالعلاقة: [20]



الشكل (2): الشكل العام لخط نقل بين منطقتي الإرسال والاستقبال

$$P = \frac{V_1 \cdot V_2}{X_L} \cdot \sin \delta_{12} \quad (1)$$

$$Q = \frac{V_1 \cdot V_2 \cdot \cos \delta_{12} - V_2^2}{X_L} \quad (2)$$

2- ثوابت خطوط نقل القدرة الكهربائية

يعطى كل من جهد وتيار الإرسال V_S, I_S بدلالة جهد وتيار الاستقبال V_R, I_R لخط النقل الكهربائي وفق ثوابت رباعي الأقطاب بالعلاقات:

$$V_S = A \cdot V_R + B \cdot I_R \quad (3)$$

$$I_S = C \cdot V_R + D \cdot I_R \quad (4)$$

ويعبر عن ذلك بالصيغة المصفوفية بالعلاقة:

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \quad (5)$$

تعطى الثوابت A, B, C, D بالعلاقات

$$A = \cosh(\gamma \ell) \quad (6)$$

$$B = Z_c \cdot \sin(\gamma \ell) \quad (7)$$

$$C = \frac{1}{Z_c} \cdot \sinh(\gamma \ell) \quad (8)$$

$$D = \cosh(\gamma \ell) \quad (9)$$

حيث يحسب كل من γ, Z_c من العلاقات:

$$\gamma = \alpha + j \cdot \beta = \sqrt{z \cdot y} \quad (10)$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} \quad (11)$$

$$Z = z \cdot \ell = (r + j\omega L) \cdot \ell \quad (12)$$

$$Y = y \cdot \ell = (g + j\omega C) \cdot \ell \quad (13)$$

Z : الممانعة الكلية لخط النقل $[\Omega]$ ، حيث r المقاومة الأومية الكيلومترية $[\Omega/\text{km}]$ ، و L تحريضية خط النقل الكيلومترية $[\text{H}/\text{km}]$ ، Y : سماحية خط النقل. ℓ : طول خط النقل بالكيلومتر. γ : ثابت الانتشار. C : السعة

الكهربائية لخطوط النقل. W : التردد الزاوية حيث $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ ، حيث f هي تردد التيار الكهربائي المتناوب ويقدر بالهرتز [HZ]: Z_c : الممانعة الموجية لخط النقل.

3- القيم المميزة للتغذية بالطاقة الكهربائية

يعتبر تنظيم الجهد مقياس لانخفاض جهد الخط، بمعنى آخر فإنه يعبر عن مدى قدرة النظام على توفير جهد ثابت في حالات الحمل المختلفة. ويعطى بالعلاقة:

$$VR\% = \frac{V_{R(NL)} - V_{R(FL)}}{V_{R(FL)}} \cdot 100 \quad (14)$$

حيث $V_{R(FL)}$: قيمة الجهد في حالة الحمل الكامل، أما $V_{R(NL)}$: قيمة الجهد في حالة اللامحمل وتعطى بالعلاقة.

$$|V_{R(NL)}| = \frac{|V_S|}{|A|} \quad (15)$$

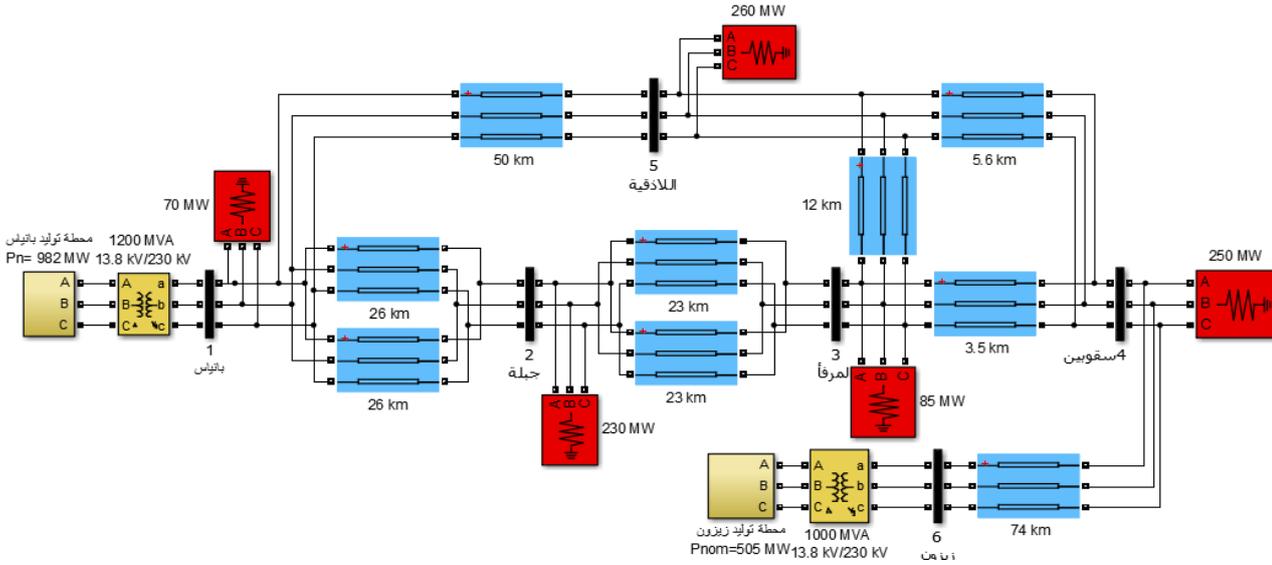
المردود الكهربائي يعبر عن حاصل قسمة الاستطاعة المستلمة على الاستطاعة المرسله ويعطى بالعلاقة:

$$\eta = \frac{P_{R(3\phi)}}{P_{S(3\phi)}} \quad (16)$$

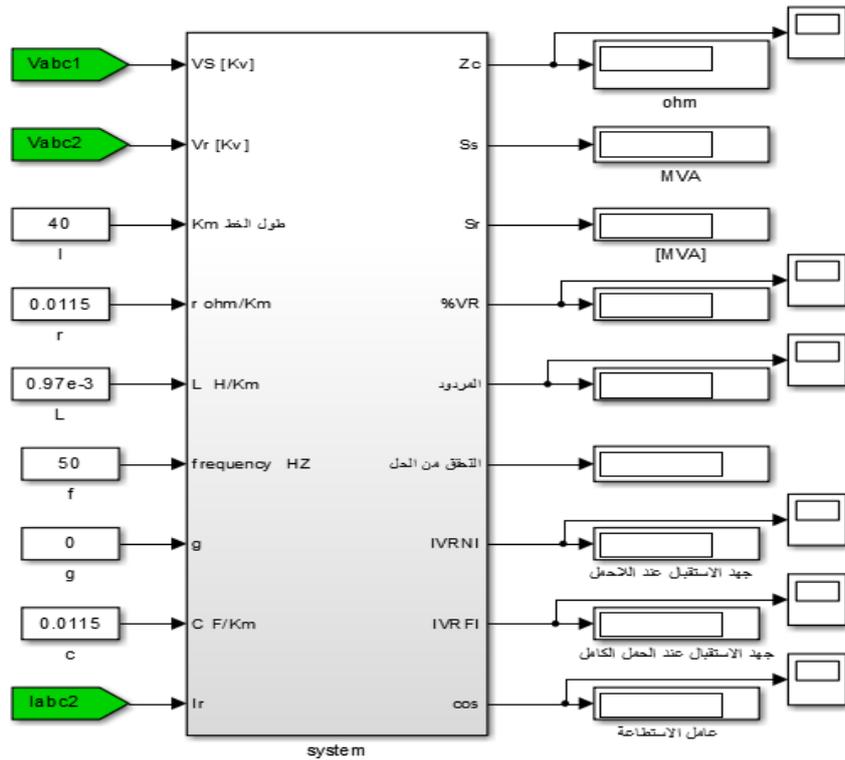
نمذجة الشبكة الكهربائية

معطيات الشبكة المدروسة حصلنا عليها من المؤسسة العامة للكهرباء، وتمثل شبكة نقل التوتر العالي 230KV والممتدة من بانياس الى اللاذقية، تم في هذا البحث نمذجة الشبكة (محطات التوليد، وخطوط النقل، والحمل الاسمي لكل باسبار)، تم تمثيل أحمال كافة محطات التحويل، كما هو مبين في الشكل(3).

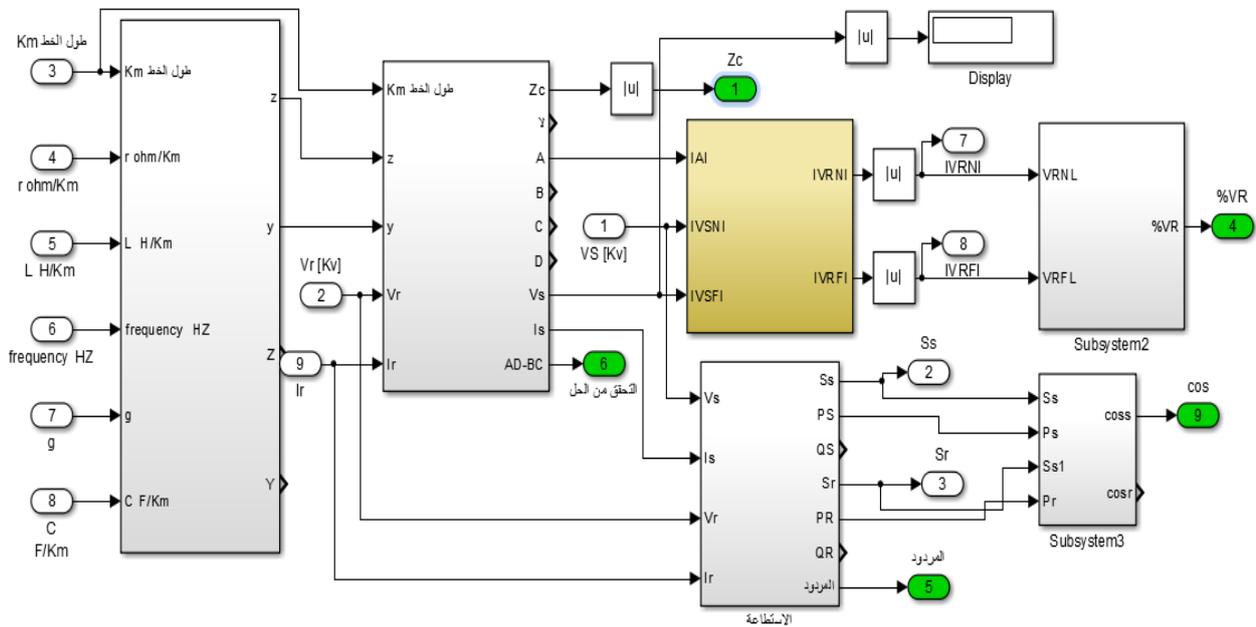
كما قمنا في هذا البحث بإعداد برنامج حاسوبي في بيئة MATLAB كما في الشكلين (4) و(5) نستطيع من خلاله ادخال كافة برامترات هذه الشبكة، وأي شبكة أخرى والحصول على نتائج التحكم في كل بارمتر من بارامتراتنا، واطهار نتائج اجراء هذه التغيرات على كل من جهود باسبارات الشبكة، زوايا الطور، التيارات السارية في الشبكة، الاستطاعة الظاهرية والفعلية والرديئة المرسله والمستلمة من، كفاءة الشبكة المدروسة، تنظيم الجهود، والممانعة الموجية، وذلك انطلاقاً من معطيات الشبكة الحقيقية وتوابع النقل الخاصة بها، دون اهمال الممانعة الأومية.



الشكل(3): نموذج شبكة 230kv من بانياس الى اللاذقية



الشكل (4) نموذج البارامترات ونتائج اختبار الشبكة

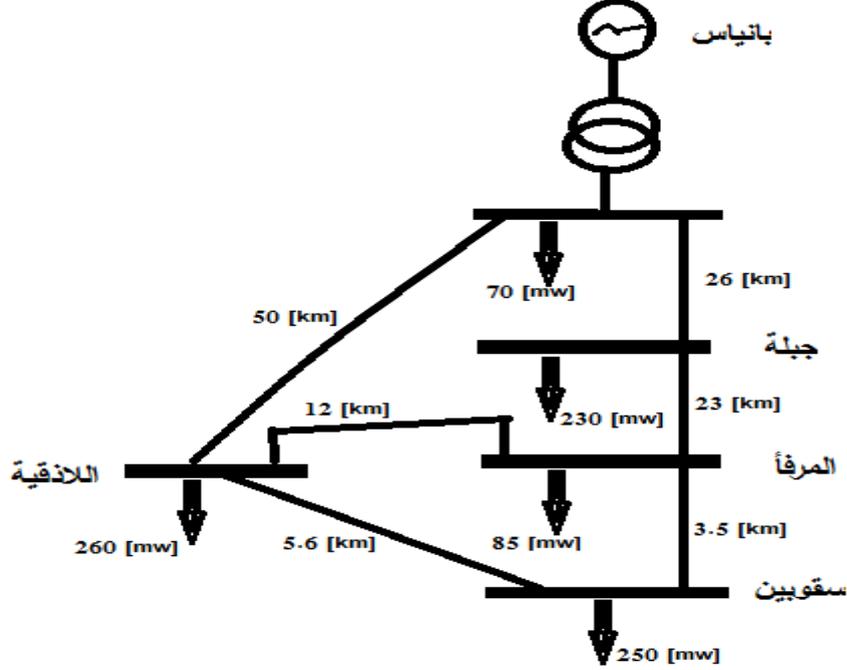


الشكل(5): مخطط نمذجة شبكة النقل الكهربائية

النتائج والمناقشة:

1- نتائج سريان الاستطاعة في الشبكة قبل وبعد خروج محطة زيزون الحرارية:

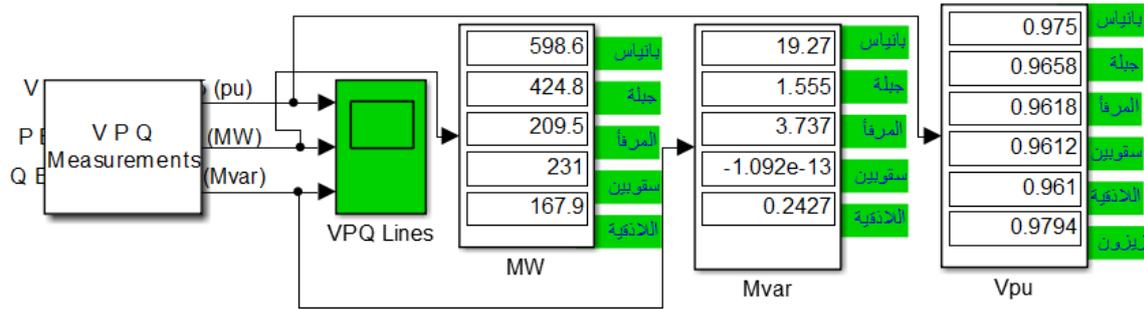
تم أخذ بيانات الشبكة، وامتدادها، وحمولة بارات كل من محطات تحويل جبلة، المرفأ، سقوبين، واللاذقية، مع أطوال خطوط النقل من المؤسسة العامة للكهرباء، علماً أن نوع نواقل الشبكة هي من الألمنيوم فولاذ AC-450/50[mm]. وتوزيعها كما هو في الشكل(6).



الشكل(6): مخطط شبكة 230kv من محطة توليد باتياس الى اللاذقية بعد خروج محطة توليد زيزون

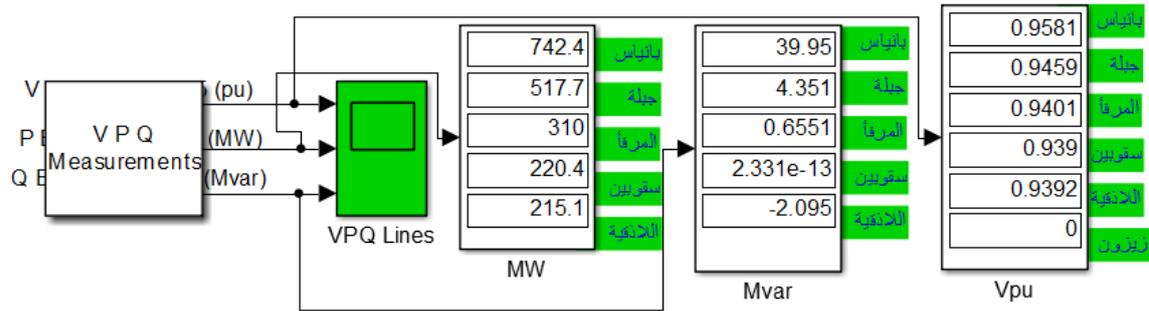
لدى نمذجة الشبكة الكهربائية وتشغيلها في حالة الحمولات الاسمية نجد:

• قبل خروج محطة زيزون الحرارية عن الخدمة كانت بيانات الشبكة كمايلي:



الشكل(7): نتائج سريان الاستطاعة وجهود باسبارات الشبكة قبل خروج محطة زيزون عن الخدمة

• بعد خروج محطة زيزون وخروجها عن العمل كانت نتائج سريان الاستطاعة في الشبكة كمايلي:



الشكل(8): نتائج سريان الاستطاعة وجهود باسبارات الشبكة بعد خروج محطة زيزون عن الخدمة

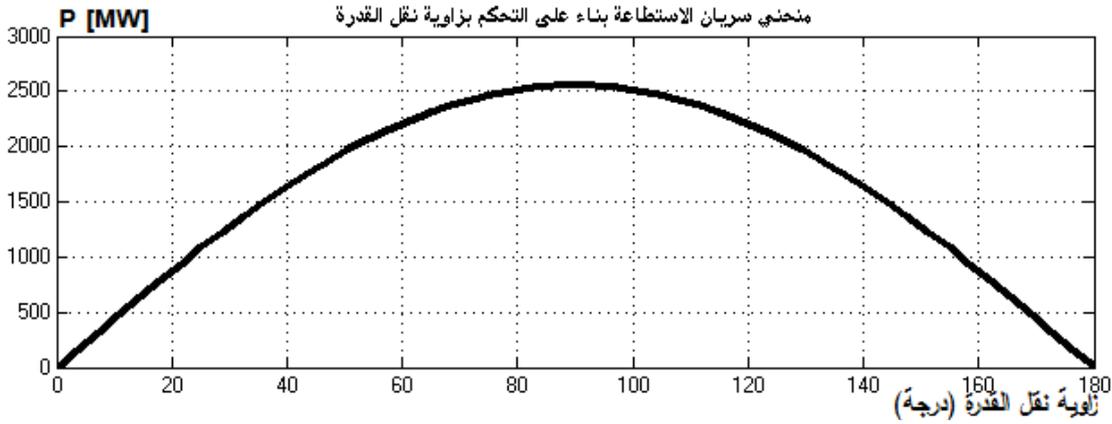
من خلال نتائج سريان الاستطاعة في خطوط الشبكة المدروسة قبل وبعد خروج محطة زيزون عن الخدمة الموضحة في الشكل (7) والشكل (8)، نلاحظ زيادة تحميل خطوط نقل التوتر العالي 230KV من محطة توليد بانياس الى اللاذقية بنسب متفاوتة، حيث ارتفع تحميل الباسبار المغذي لمدينة بانياس بنسبة 24.02%، بينما ارتفع تحميل خط النقل المغذي لمدينة جبله بنسبة 21.7%، وبلغت نسبة التحميل أقصى قيمة لها في خط النقل المغذي لمحطة تحويل المرقا حيث بلغت 47.98%، بينما ارتفع تحميل خط النقل المغذي لمدينة اللاذقية بنسبة 28.11%، كما نلاحظ أن تأثير خروج محطة زيزون كان أقل تأثيراً على تحميل الخط المغذي لمحطة سقويين، حيث انخفض تحميله بنسبة 4.6%، بالتالي فإن تأثير خروج محطة زيزون الحرارية كان لها أثر سلبي على زيادة تحميل خطوط الشبكة بشكل عام.

كما وتبين هذه النتائج في الشكلين (7)، و (8) أن باسبار خط النقل المغذي لمدينة بانياس يحتاج [40Mvar] كاستطاعة ردية يتم توليدها من قبل محطة توليد بانياس بعد خروج محطة زيزون الحرارية عن الخدمة، في حين كانت الاستطاعة الردية قبل خروج محطة زيزون عن العمل [19.3Mvar]، أما الخط المغذي لمدينة جبله والذي كان يحتاج [1.56Mvar] بات يحتاج الى [4.35 Mvar]، بينما كان تأثير ذلك طفيفاً على بقية باسبارات الشبكة. وبالتالي ازداد تحميل خطوط الشبكة الكهربائية، مما يؤدي الى زيادة في التيارات المستجرة، وما يرافق ذلك من ضياعات وسخونة وزيادة في كميات الوقود المستهلكة في محطة توليد بانياس لتغطية حمولة [20.7Mvar] اضافية، ونقلها عبر خطوط نقل الشبكة.

2- التحكم في زاوية نقل القدرة

زاوية نقل القدرة هي الزاوية الناتجة عن فرق زاويتي كل من جهدي بداية ونهاية خط النقل. ومن أجل قيم الشبكة على واقعها الحالي وفق برنامج حسابات بارامترات الشبكة فإن زاوية نقل القدرة تبلغ (6.793°) ، وقيمة جهد الإرسال من بارات محطة بانياس هو $V_s=236.5 [KV]$ وجهد الإستقبال على بارات اللاذقية [230KV]، علماً أن الاستطاعة التي يسمح خط النقل بسريانها عند هذه القيم هي [301.3 MW].

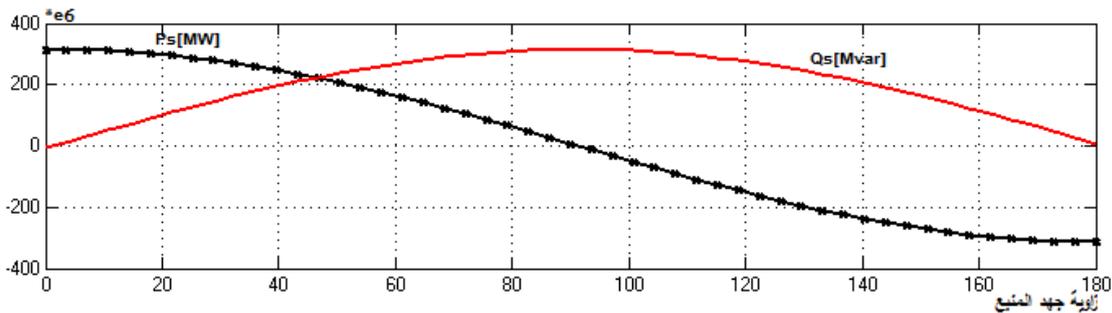
من خلال دراسة سريان الاستطاعة في خط نقل بناءً على التحكم بزاوية النقل δ_{12} نحصل على منحنى سريان الاستطاعة الفعلية في خط النقل المغذي لمدينة اللاذقية كما هو مبين من الشكل(9).



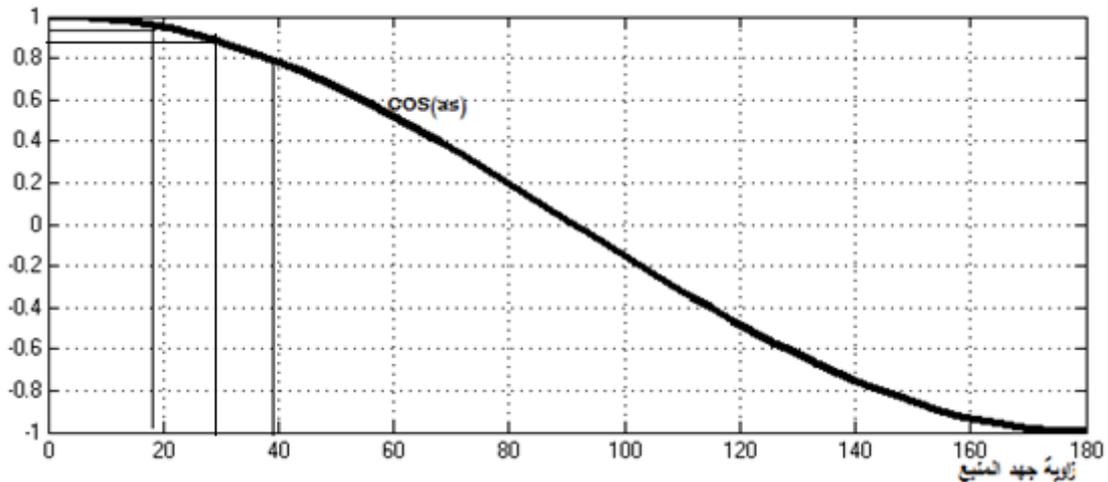
الشكل(9): نتائج تغيرات سريان الاستطاعة الفعلية بالنسبة لتغيرات زاوية نقل القدرة

من منحنى تغيرات سريان الاستطاعة بالنسبة لتغيرات فرق الزاوية بين توترى البداية والنهاية المبين بالشكل (9) نلاحظ أن زاوية نقل القدرة الكهربائية الموافقة لسريان الاستطاعة الفعلية الحالية إلى مدينة اللاذقية هي 6.793° . يمكن زيادة قيمة زاوية نقل القدرة δ_{12} عن طريق زيادة ضغط البخار الداخل إلى التربينات في محطة توليد بانياس، ولكن هناك حدود لهذه الزيادة STABILITY LIMIT، ويجب ألا تقترب من قيمة 90° لأن ذلك سيخرج النظام عن الاتزان. كما يمكن التحكم في زاوية نقل القدرة إما بتركيب محولات ازاحة طورية، أو باستخدام تقنيات FACTS، التي تمتلك القدرة على إحداث تغيرات في زاوية نقل القدرة.

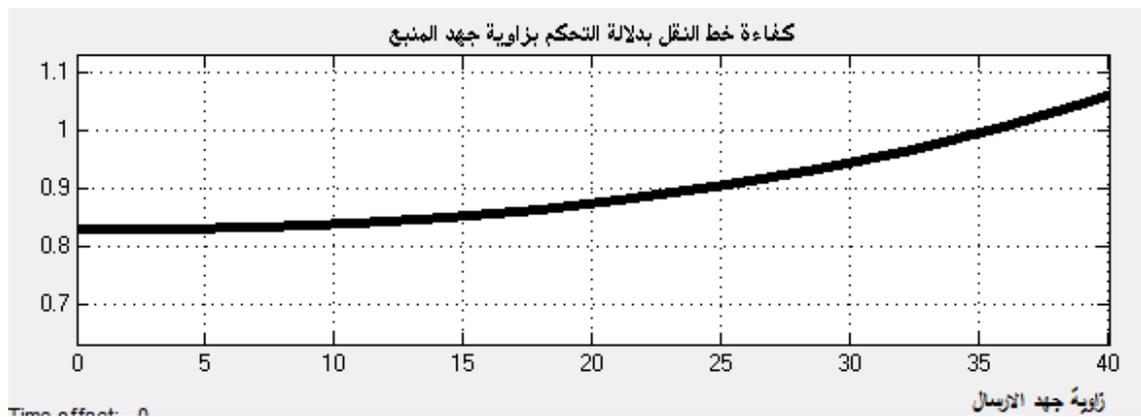
إن التحكم بزواوية جهد الإرسال يخضع لضوابط تضمن بقاء الجهد متقدماً على التيار في طرف الإرسال، كي يتحقق اتجاه موجب لسريان الاستطاعة من المنبع إلى المستهلكين، ويمكن ملاحظة مجال القيم المسموح بها من خلال إيجاد تأثير التحكم بزواوية جهد المنبع على كل من الاستطاعة الفعلية والردية للمنبع (عامل استطاعة المنبع)، وكفاءة خط النقل (مردوده)، حيث تظهر النتائج المبينة في الأشكال (10, 11, 12) تغيرات كل من الاستطاعتين الفعلية والردية لمنبع القدرة، وعامل استطاعته، وكفاءة خط النقل تبعاً للتحكم بزواوية جهد الإرسال.



الشكل(10): تغيرات الاستطاعة الفعلية والردية المرسله بدلالة تغيرات زاوية جهد الإرسال



الشكل(11): تغيرات عامل استطاعة المنبع تبعاً للتحكم بزاوية جهد الارسال



الشكل(12): تغيرات كفاءة خط النقل بدلالة التحكم بزاوية جهد المنبع

من دراسة الأشكال(10,11,12) نجد زيادة زاوية جهد الارسال بعد الـ 90° أن تؤدي الى انعكاس الاستطاعة الفعلية كما هو مبين في الشكل(10)، وتعمل محطة توليد باندياس كمستهلك، وهذا يفقد النظام عمله كلياً، كما ويظهر الشكل(10) أن زيادة زاوية جهد الارسال يعد مقبولاً حتى 39° لأنه بعد ذلك يوافق توليد وارسال استطاعة ردية أكبر من الفعلية وهذا ما سيؤدي الى زيادة تحميل خط النقل وضياعاته.

أما الشكل(11) فيظهر أن عامل استطاعة المنبع يتحسن من واقعه الحالي 0.8 الى حدود الـ 0.93 عند زاوية إرسال 22.5° . بينما يظهر الشكل(12): أن كفاءة خط النقل تزداد من 0.81 الى 0.9 عند هذه القيمة. حيث يمكن القول أنها الزاوية المناسبة لأرسال أقل استطاعة ردية، وعامل استطاعة توليد 0.93، وكفاءة خط النقل 0.9.

تزداد زاوية نقل القدرة عند هذه القيمة، بحيث تزداد السعة التمريرية لخط نقل القدرة الكهربائية للمدينة اللاذقية الى [995 MW] وهذا يؤمن حمل المدينة على المدى المنظور والقادم لعقود.

3- التحكم في مفاعلة خط النقل قيمة المفاعلة في الشبكة هي $0.42 \Omega/\text{km}$ ، والتي توافق جهد إرسال [238 KV] واستطاعة مرسله [314.2 MVA] ومستلمه [305.9 MVA]، حيث جهد الاستقبال [230 KV] والحمل الاسمي لبارات اللاذقية هو [260 MW] عند عامل استطاعة 0.8.

ينبغي قبل التفكير بتحسين بارامترات الشبكة بالاعتماد على تقنيات التحكم في المفاعلة التحريضية لخط النقل، إظهار تأثير هذه التغيرات على كل من جهد واستطاعة الارسال، الممانعة الموجية، هبوط توتر الشبكة، وقدرة خط النقل على نقل كم أكبر من الاستطاعة.

• **تغيرات جهد الارسال بالنسبة لتغيرات مفاعلة الشبكة:**



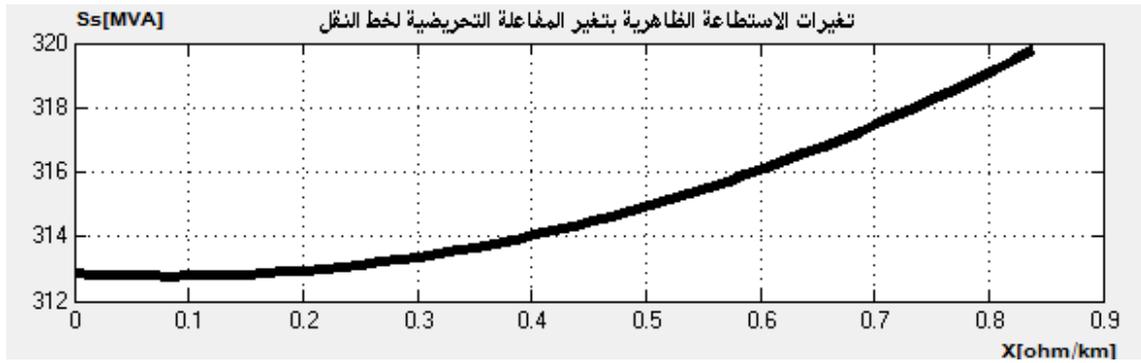
الشكل(13): تغيرات جهد الارسال في الشبكة بدلالة التحكم في مفاعلة الخط التحريضية

نلاحظ من الشكل(13) أن جهد الارسال يتغير من 235 [KV] الى 244[KV] عند احداث تغيرات في X_L من الصفر وحتى $1[\Omega/Km]$ وذلك بسبب تغير الممانعة الكلية لخط النقل، ونلاحظ أيضاً ان جهد الارسال لا يساوي 230kv فيما لو كانت قيمة المفاعلة التحريضية لخط النقل معدومة، والسبب في ذلك أننا لم نهمل في دراستنا قيمة المقاومة الأومية الكيلومترية للخط.

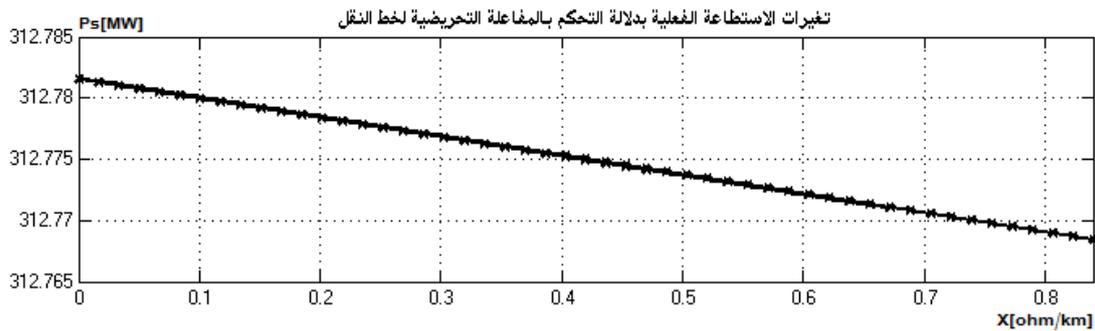
تظهر النتائج المبينة في الشكل(13)، أن جهد الارسال يتحسن كلما خفضنا للممانعة التحريضية لخط النقل، ولتحديد قيمتها ينبغي إظهار أثر ذلك على باقي بارامترات الشبكة.

• **تغيرات الاستطاعة المرسله بتغيرات مفاعلة خط النقل هي:**

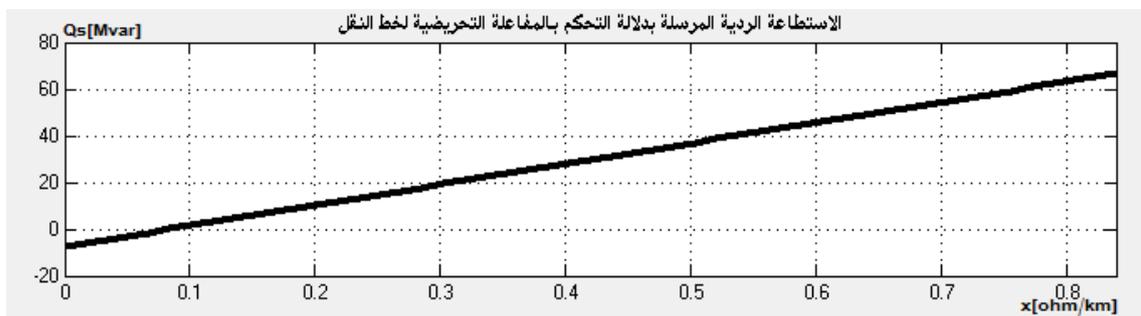
نلاحظ من الشكل(14) أن افضل قيمة فنية يمكن الوصول اليها للاستطاعة المرسله هي عند $X_L=0.1\Omega/Km$ الموافقة لتوفير في توليد استطاعة المنبع الى $313[MVA]$. ومن الشكل(15) نلاحظ انخفاض الاستطاعة الفعلية المرسله بشكل طفيف كلما ازدادت مفاعلة خط النقل التحريضية، دون المساس بقيمة المقاومة الأومية لأنه لايمكن تغييرها، حيث تزداد في شبكتنا المدروسة من $312.775[MW]$ الى $312.78[MW]$ ، وبالتالي تغيرات طفيفة جداً كون المفاعلة التحريضية لا تؤثر على قيمة الاستطاعة الفعلية المرسله، بل ان تأثيرها يتعلق بقيمة المفاعلة الأومية الكيلومترية لخط النقل والتي لا يمكن التحكم بها إلا باضافة شبكة نقل، أو استبدال النواقل بنواقل اخرى ذات مقاومة أومية كيلو مترية أقل وجميع هذه الخيارات مكلفة جداً وغير مجدية اقتصادياً. بينما يظهر الشكل(16) توفير في توليد الاستطاعة الرديية وارسالها كلما انخفضت المفاعلة التحريضية لخط النقل، حيث تتخفض من حدود الـ $40[Mvar]$ من قيمتها الحالية الى $0[Mvar]$ عند القيمة $0.1[ohm/km]$. ممّا يؤكد أن هذه القيمة هي الأنسب من وجهة نظر توفير انتاج وارسال الاستطاعة من المنبع.



الشكل (14): تغيرات الاستطاعة المولدة المرسلّة التي تحتاجها الشبكة بدلالة التحكم بقيمة المفاعلة التحريضية لخط النقل



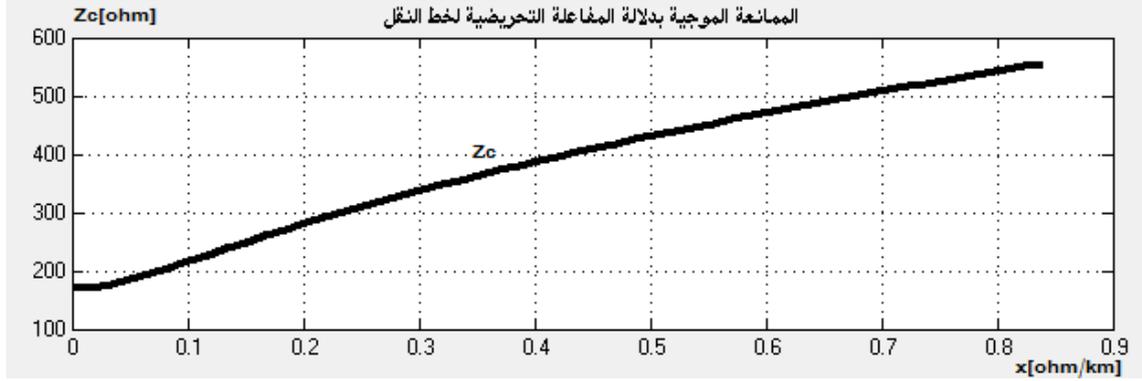
الشكل (15): تغيرات الاستطاعة المولدة المرسلّة التي تحتاجها الشبكة بدلالة التحكم بقيمة المفاعلة التحريضية لخط النقل



الشكل (16): تغيرات الاستطاعة المولدة المرسلّة التي تحتاجها الشبكة بدلالة التحكم بقيمة المفاعلة التحريضية لخط النقل

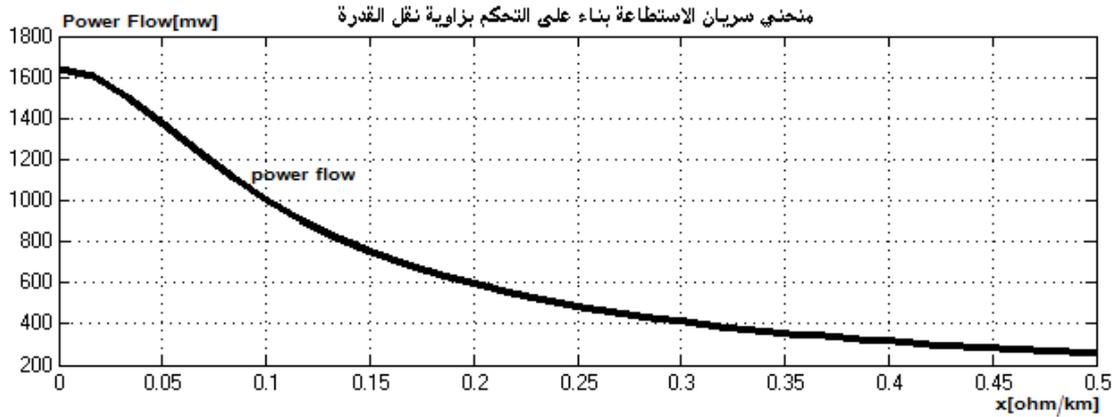
• تأثير التحكم في مفاعلة خط النقل على الممانعة الموجية

يظهر الشكل (17) أن الممانعة الموجية لخط النقل ترتفع كلما زادت المفاعلة الحثية لخط النقل، وبالتالي فإن تخفيضها إلى القيمة المرغوبة $0.1\Omega/\text{km}$ سيؤدي إلى انخفاض الممانعة الموجية من $430\ (\text{ohm}/\text{Km})$ إلى $230\Omega/\text{km}$ ، وذلك بنسبة 46% من قيمتها الحالية، وهذا ما يحسن من جميع الخصائص الموجية لخط النقل



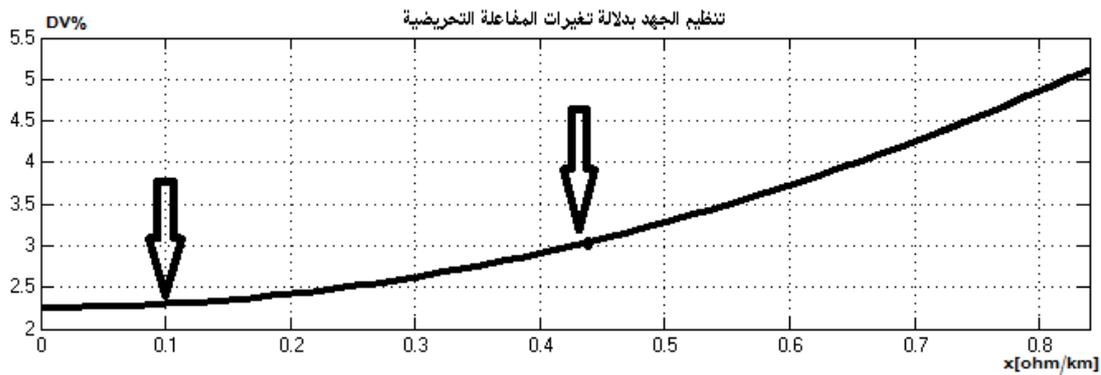
الشكل(17): نتائج تغيرات الممانعة الموجية تبعاً للتحكم بالمفاعلة التحريضية لخط النقل

- تأثير التحكم بحتية خط النقل على سريان الاستطاعة P12 من خلال خط النقل: يبين الشكل(18) أن امكانية خط النقل لنقل الاستطاعة الفعلية تتخفض كلما زادت المفاعلة التحريضية لخط النقل، حيث يمكن زيادة قدرة خط النقل على نقل استطاعة فعلية أكثر من القيمة الموجودة حالياً [300 MW] الى 1000[MW] فيما لو قمنا بتخفيض الممانعة التحريضية من 0.42[Ω/Km] الى القيمة المرغوبة 0.1Ω/Km.



الشكل(18): تغيرات سريان الاستطاعة الفعلية MW من خلال خط النقل تبعاً للتحكم بالمفاعلة التحريضية له

- تنظيم الجهد بدلالة التحكم بقيمة المفاعلة التحريضية لخط النقل نلاحظ من الشكل(19) أن قيمة VR% تتحسن كلما انخفضت قيمة المفاعلة التحريضية لخط النقل، حيث تتخفض من 3.1% الى 2.25% فيما لو وصلنا الى القيمة الأنسب للمفاعلة التحريضية 0.1Ω/Km. حيث توافق هذه القيمة جهد ارسال 235[KV] حيث كانت قبل عملية التحسين [237KV].



الشكل(19): تغيرات تنظيم الجهد بدلالة التحكم بالمفاعلة التحريضية لخط النقل

الاستنتاجات والتوصيات:

- ✓ قدم البحث نموذج لشبكة نقل التوتر العالي [KV] 230 الممتدة من بانياس الى اللاذقية وفق برنامج MATLAB.
- ✓ أظهرت نتائج البحث أن خروج محطة زيزون الحرارية أدى الى زيادة نسب زيادة تحميل خطوط نقل الشبكة الكهربائية بنسب وصلت الى 48% في خطوط التوتر العالي المغذي لمحطة تحويل اللاذقية.
- ✓ قدم البحث برنامجاً تم تصميمه في بيئة MATLAB يمكن من خلاله إجراء عمليات الحساب والتحكم في بارامتر أو أكثر من بارامترات الشبكة، وإظهار نتائج ذلك على كافة بارامترات الشبكة الأخرى، كما يتيح هذا البرنامج التنبؤ بالحمولة وتغيرات الشبكة ونسب تحسين أدائها قبل اتخاذ أي قرار بعملية التحسين.
- ✓ أظهرت نتائج البحث أن زاوية جهد الإرسال الملائمة هي 22.5^0 والتي تؤدي الى تحسين عامل الاستطاعة لمنبع التوليد من 0.8 الى 0.9، ورفع كفاءة خط النقل من 0.81 الى 0.9، وزيادة السعة التمريرية لخط النقل الى [MW] 995.
- ✓ قيمة التحسين التي ينبغي العمل عليها عند إجراء عمليات التحكم في مفاعلة خط النقل سواء بالطرق التقليدية، أو بتركيب معدات FACTS، هي [ohm/km] 0.1، مما يؤدي الى توفير في توليد الاستطاعة من المنبع قدره [Mvar] 40، وتحسين قيمة الممانعة الموجبة للشبكة من 430 أوم الى 225 أوم، وزيادة السعة التمريرية لخط النقل الى [mw] 1000، وتحسين انخفاض التوتر المثوي الى 2.25%، مع تحسين في زيادة جهد بارات الإرسال من [KV] 237 الى [KV] 235.
- ✓ نوصي من خلال هذا البحث بدراسة أثر تغيرات سماحية خط النقل السعوية على أداء وبارامترات الشبكة، وذلك قبل البدء باستخدام أجهزة FACTS الموزعة، وخاصة DSSC المشتق من تطوير بنية ال-SSSC، خاصة وأن تطوير هذه الأنظمة بات يسمح بتوزيع العديد من أنظمة FACTS في مختلف أجزاء شبكة نقل القدرة الكهربائية، وبالتالي إمكانية وجود تغيرات متحكم بها في سماحية خط النقل السعوية.

References:

- [1] Huafeng.Z, Xuanyu.Z, Di.S, Huashi.Z, Chaoyang.J, *PMU-based Transmission Line Parameter Identification at China Southern Power Grid*, International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE), vol. 3, no. 3, pp. 190-198, ISSN: 2252-8792, (2014).
- [2] Glover.J.D, Overbye.TH.J, Sarma.M.S, *Power System Analysis and Design*, Cengage Learning, (2016).
- [3] Saadat.H, *Power System Analysis*, 3rd ed., PSA Publishing LLC, (2011).
- [4] Grainger.J, Stevenson.W.D, *Power System Analysis*, New York ,McGraw-Hill, (1994).

- [5] Arrillaga.J, Watson.N.R, *Computer Modelling of Electrical Power Systems*, 2nd ed., Wiley, (2001).
- [6] Nithiyananthan.K, Umasankar, *Environment Friendly Voltage Up-gradation Model for Distribution Power Systems*, International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), vol. 6, no. 6, pp. 2516-2525, ISSN: 2088-8708, (2016).
- [7] Mehta.V.K, Mehta.R, *Principles of Power System*, Revised 4th ed., S. Chand, (2008).
- [8] Nawaz.S, Bansal.A, Sharma.M.P, *An Analytical Approach for DG Placement in Reconfigured Distribution Networks*, International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE), vol. 5, no. 3, pp. 137-143, ISSN: 2252-8792, (2016).
- [9] Issicaba.D, Coelho. *Rotational Load Flow Method for Radial Distribution Systems*, International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), vol. 6, no. 3, pp. 1344-1352, ISSN: 2088-8708, (2016).
- [10] Kshetrimayum.R.S, *Transmission line analysis*. Electromagnetic Field Theory, (2013).
- [11] Lyazid.H, Khodir.H, Fatiha.Z, *Calcul des paramètres et caractéristiques des lignes électriques triphasées*. Université Abderrahmane mira – BEJAÏA. (2014).
- [12] Knockaert.J, Peuteman.J, Catrysse.J, Belmans.R, *General equations for the characteristic impedance matrix and termination network of multiconductor transmission lines*. IEEE. 978-1-4244-3507-4, (2009).
- [13] Ullah.I, Gawlik.W, Palensky.P, *Analysis of Power Network for Line Reactance Variation to Improve Total Transmission Capacity*. MDPI, (2016).
- [14] Lee.C.K, Joseph.S.K, *Circuit-Level Comparison of STATCOM Technologies*. IEEE. VOL. 18, NO. 4. P1084-1092, (2003).
- [15] Joshi.D, Gandhi.A, Parmar.S, *Power Flow Control Using TCSC under Deregulated Environment*. IJECS. ISSN 2348-117X. Volume 6, Issue 11, (2017).
- [16] Rabea.F, Kamel.S, Jurado.F, Abdel-Rahim.O, *Implementation of a Simplified SVC Model into Newton-Raphson Load Flow Algorithm*. IEEE. 978-1-4673-9063-7, (2016).
- [17] Gaigowal.S.R, Renge.M.M, *DSSC, Distributed Power Flow Controller*. ELSEVIER.Science Direct. P745- P752, (2017).
- [18] Fischer.N, Le.B, Taylor.D, *Impacts of Shunt Reactors on Transmission Line Protection*. Oncor Electric Delivery and Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. All rights reserved. 20110906, TP6515-01, (2011).
- [19] Grünbaum.R, Rasmussen.J, Li.CH, *Series Capacitors for Increased Power Transmission Capability of a 500 kV Grid Intertie*. IEEE, (2017).
- [20]- F.Shaban, H.Shaheen. *Studying the Effects of Static Synchronous Series Compensator (SSSC) on the Electrical Power System*. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (6), (2011).