

اختيار القيم المناسبة لمعوضات الاستطاعة العرضانية لتحسين سريان الاستطاعة في الشبكة الكهربائية السورية العاملة بالتوتر 230kV (دراسة حالة خط بانياس - اللاذقية).

د. فيصل شعبان*

د. نسيم أبو طبق**

م. احمد محمود علي***

(تاريخ الإيداع 2021/ 10/ 27 . قُبِلَ للنشر في 2022/ 4/ 26)

□ ملخص □

نتيجة النمو الدائم للأحمال الكهربائية وتعرضها للكثير من الأعطال، ينخفض أداء الشبكة الكهربائية وتزداد احتمالية تعرضها للأعطال، ولذلك يتم البحث عن حلول تقنية لتحسين سريان الاستطاعة العرضانية من خلالها. ولتحقيق ذلك يتم استخدام عدة طرق أهمها تركيب أنظمة Flexible AC Transmission System (FACTS). التي تعتمد على تقنية اختيار القيم المناسبة لسعة مكثفات تعويض الاستطاعة المرتبطة معها بعناصر الكترونية متحكم بها. يعد ال Static Synchronous Series Compensator (SSSC) من أشهر أنظمة FACTS التسلسلية، ويتألف من مكثفات ترتبط عبر مبدلات الكترونية على التسلسل مع خطوط نقل الطاقة الكهربائية، اختيار قيمة هذه السعات غير اعتباطي، ويخضع للعديد من القواعد خاصة بعد ظهور نظام ال Distributed Power-Flow Controller (DPFC) كنسخة معدلة ومنطورة عن ال SSSC، والذي يسمح بتعديل مفاعلة خط النقل على كافة الخطوط بفضل تقنية توزيع المبدلات التسلسلية.

سنقوم في هذا البحث بتحديد القيم الأفضل لهذه المكثفات، وذلك بدراسة أثر التحكم في سماحية خطوط نقل التوتر العالي 230kV عبر استخدام معوضات الاستطاعة العرضانية، وإعداد نمذجة رياضية نستطيع من خلالها تحليل أداء الشبكة الكهربائية والتنبؤ بالتغيرات التي تطرأ على بارامتراتنا، وإيجاد الحمل الاسمي الملائم لعمل الشبكة الكهربائية ضمن الشروط الفنية المسموحة. أظهرت النتائج التي حصلنا عليها من دراسة شبكة التوتر العالي 230kV من مدينة بانياس الى مدينة اللاذقية، أن الزيادة في سماحية خطوط النقل تبقى مقبولة حتى حدود $10.3 \times 10^{-6} [S/km]$ ، وتوافق انخفاضاً في الممانعة المميزة لخطوط النقل من $450 [\Omega]$ إلى $225 [\Omega]$ عند $6 \times 10^{-6} [S/km]$. كما أظهرت النتائج أن الحد الحراري للشبكة يوافق حمولة $270 [MW]$ تنخفض بعدها كفاءة خط النقل عن 80%، ويصبح هبوط التوتر المسموح أكبر من 5%.

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

* استاذ دكتور، هندسة الطاقة الكهربائية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

** مدرس دكتور، هندسة الطاقة الكهربائية، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية .

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

Selection of appropriate values for shunt compensators in 230kV high-voltage transmission Syrian networks (Study State Line Baniyas-Lattakia)

Eng. Ahmad Mahmoud Ali *

Dr. Faisal Shaban **

Dr. Nesmat Abu Tabaq ***

(Received 27/ 10/ 2021 . Accepted 26 / 4/ 2022)

□ ABSTRACT □

As a result of the constant growth of electrical loads and its exposure to many faults, the network performance decreases and the possibility of failure increases. Therefore, technical solutions are sought to improve the flow of electrical power through it. To achieve this, several methods are used, the most important of which is the installation of FACTS systems. Which depends on the technique of selecting the appropriate values for capacitance compensation capacitors associated with it by controlled electronic switches.

The SSSC is one of the most famous serial FACTS systems, and it consists of capacitors linked via electronic switches in series with electrical power transmission lines. The choice of the value of these capacitances is not arbitrary, and is subject to many rules, especially after the emergence of the DSSC system as a modified and advanced version of SSSC, which allows By modifying the transmission line reactance on all lines thanks to the serial switching distribution technology.

In this paper, we will determine the best values for these capacitors, by studying the effect of controlling the permittivity of 230kV high voltage transmission lines through the use of transverse power compensators, and preparing a mathematical model in which we can analyze the performance of the electrical network and predict the changes that occur to its parameters, and find the appropriate nominal load for the work of the network Electrical within permissible technical conditions.

The results obtained on the 230kV high voltage network from Baniyas to Lattakia showed that the increase in the permittivity of transmission lines remains acceptable up to 10.3×10^{-6} [S/km], corresponding to a decrease in the wave impedance of transmission lines from $[\Omega]$ 450. To $[\Omega]$ 225 at 6×10^{-6} [S/km]. The results also showed that the network thermal limit corresponds to the load 270 [MW], after which the transmission line efficiency drops below 80%, and the permissible tension drop becomes greater than 5%.

Key words: electrical network, power transmission lines, transmission lines impedance, power transmission angle, electric power, power flow, percentage tension drop, electric power transmission lines.

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

** Associate 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.

مقدمة

يتم نقل الطاقة الكهربائية من محطات التوليد الى المستهلكين عبر خطوط نقل الطاقة الكهربائية، تصنف هذه الخطوط وفقاً لطولها الى ثلاثة مجموعات، تضم المجموعة الأولى خطوط النقل الكهربائية الأقل من 80km، والتي يمكن تمثيلها بمفاعلة ومقاومة. بينما تعتبر خطوط النقل الكهربائية متوسطة اذا تراوحت أطوالها من (80-240)km، وتتم دراسة هذه المجموعة بتمثيل خط النقل بدارة كهربائية تعبر عن بارامترات خط النقل على شكل T أو على شكل π . بينما تعتبر هذه الخطوط طويلة إذا زاد طولها عن 240km ويتم دراسة هذه المجموعة انطلاقاً من المعادلات الموجية لخطوط النقل. [1]-[5]

لدراسة شبكة نقل أي نظام كهربائي ينبغي تحديد البارامترات الأولية لخط النقل، والتي تتألف من المقاومة الأومية R، التحريضية L، والسعة C. حيث تؤثر هذه البارامترات في حساب كل من سريان الاستطاعة الكهربائية عبر خطوط النقل، مردوده، الضياعات الكهربائية، وهبوط الجهد. [6]-[9].

قام العديد من الباحثين بدراسة سريان الاستطاعة الكهربائية في خطوط النقل الكهربائية، وتحديد العوامل المؤثرة فيها، والاجراءات المتخذة لتحسينها.

- تناول (Anulekha.H, Priyanath.D, Ajoy.Ch, 2012) مسالة قابلية نقل الطاقة بدمج كل من المكثفات الثابتة، Static Compensator (STATCOM) ، و static Var Compensator (SVC) في نظام نقل كهربائي بسيط منمذج باستخدام بيئة MATLAB-SIMULINK. بينت النتائج أن تحسن الجهد والاستطاعة المنقولة في النظام باستخدام أجهزة التعويض السابقة. حيث كانت السعة المطلوبة لانجاز التعويض باستخدام المكثفات الثابتة $350\mu F$ ، وفي حالة استخدام SVC اصبحت قيمة المكثفات الملائمة $100\mu F$ ، والمفاعلة الملائمة حوالي $1100mH$ ، وفي حالة استخدام STATCOM كانت قيمة السعة المطلوبة للمكثفات حوالي $200\mu F$ للحصول على افضل النتائج. [10]

- ناقش (Jakubčák.R, Beňa.L, Kmec.M, 2013) مسالة قابلية زيادة التحميل في نظام الطاقة باستخدام أجهزة FACTS، وذلك عبر تقليل ضياعات الاستطاعة الفعلية في شبكة نقل الطاقة الكهربائية باستخدام الأجهزة (SVC, TCSC). أظهرت نتائج المحاكاة أن زيادة تحميل النظام تتوقف على الضياعات الفعلية الكلية، فعندما يعمل النظام بدون FACTS فان حدود التشغيل سيتم تجاوزها عند زيادة نسبة التوليد/ الحمولة بنسبة 40% بينما في حالة إضافة أجهزة FACTS المذكورة أعلاه سيتم زيادة نسبة التوليد/ الحمولة إلى 62.5% لأجل نفس الحمولة في النظام، عن طريق حقن استطاعة ردية من قبل SVC وتقليل مفاعلة الخط من قبل TCSC بنسبة 39% . [11]

- تناول (Ullah.I, Gawlik.W, Palensky.P, 2016) مسالة تحليل شبكات الطاقة بخطوط نقل متغيرة المفاعلة لتحسين سعة النقل الكلية باستخدام أجهزة FACTS، من خلال تعديل بارامترات خطوط النقل. تم اختيار الخطوط التي ستتوضع عليها أجهزة FACTS من خلال دليل اداء سريان الاستطاعة الفعلية . تم حساب سعة النقل الكلية Total Transmission Capacity (TTC) باستخدام طريقة سريان الاستطاعة المتكررة (RPF) Repeated Power Flow التي تستخدم الحدود الحرارية للخطوط، وحدود الجهد لفضيب التجميع، وحدود التوليد، والمفاعلة المناسبة للخطوط. [12]

- 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. [13]
- قام (Joshi.D, Gandhi.A, Parmar.S, 2017) بدراسة أثر إضافة المعوضات التسلسلية المتحكم بها، أدى ذلك إلى التحكم بكل من السعة الكلية لخط النقل والمفاعلة الكلية له وبالتالي الحصول على بارامترات أفضل في الشبكة. [14]
- 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. خلص بحثه إلى معادلة مختصرة سهلة الاستخدام وذلك بهدف تقليل الوقت والجهد في حساب المصفوفة المعبرة. [15]
- قام (Lyazid.H, Khodir.H, Fatiha.Z, 2015) بدراسة الشبكة الكهربائية من التوليد إلى الاستهلاك محددًا 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. [16]
- قام (شعبان، شاهين، 2010) باستخدام المعوض التسلسلي المتواقت الساكن SSSC في نظام نقل الطاقة الكهربائية، ودرس تأثيره على نظام القدرة، حيث يعتبر الـ SSSC جهاز مؤلف من قابلية مبربوطة 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 الباحثان 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 جعلها ثابتة في حال الاختلاف الناتج عن أي مصدر آخر. [17]
- 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. [18]
- قام (Dr.Rakhash, 2013) بالتحليل الرياضي للشبكة الكهربائية، وخلصت الدراسة إلى وضع قوانين تحدد العلاقة التي تدخل بها ممانعة خط النقل كتابع في بارامترات الخط. [19]
- 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 الحد من ممانعة خط النقل عبر أجهزة FACTS. [20]
- قام (Rabea.F, Kamel.S, Jurado.F, Abdel-Rahim.O, 2018) بدراسة أثر وضع ملف تفرعي متحكم به مع مكثف، وأظهرت نتائجه أثر تعديل الممانعة الواضح بـ XSVC على قيمة كل من الجهد والتيار واستقرارهما. [21]

- 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 تحسناً واضحاً في تابع النقل الذي خلص إليه تبعاً للضياح في خط النقل. [22]
- 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 المثلثية بينما قام بادخال ملفات تفرعية بشكل نجمي، وكانت نتائج دراسته تحسن واضح في بارامترات الشبكة ومنها ثبات الممانعة العامة لخط النقل. [23]
- من الدراسة المرجعية التي قمنا بها نستنتج أن هذه الابحاث لم تدرس تأثير التحكم في سماحية خطوط النقل على جهد وتيار الارسال للشبكات الكهربائية، وربطها مع الاستطاعة الردية السارية من المرسل الى المستقل، وعلاقة ذلك بكفاءة خط النقل، الممانعة المميزة لخط النقل، وعامل الاستطاعة المنقولة وبالتالي سريان الاستطاعة في خطوط نقل الشبكة الكهربائية. كذلك تأثير النمو المتزايد للأحمال الكهربائية على جهد وتيار الارسال، وتغيرات هبوط الجهد المثوي. وهذا ما سنعمل على دراسته في هذا البحث باعتماد المنهج الوصفي التحليلي لشبكة نقل التوتر العالي 230kv بين مدينتي بانياس واللاذقية، حيث قمنا بنمذجة هذه الشبكة على برنامج MATLAB/SIMULING.

أهمية البحث وأهدافه:

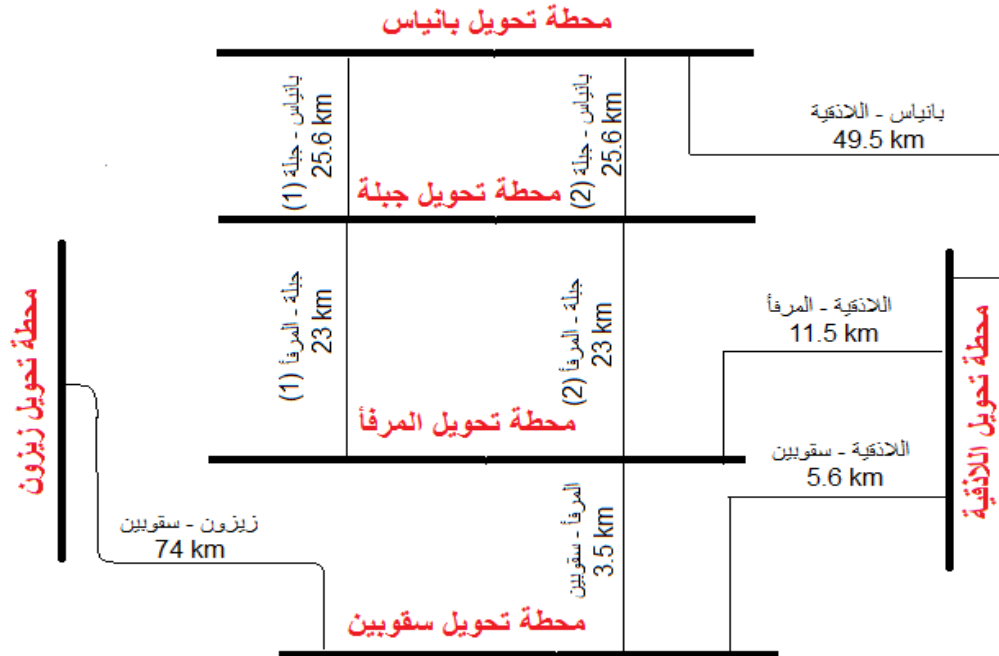
- **من الناحية البحثية العلمية:** تأتي أهمية البحث من الناحية العلمية من ضرورة ايجاد قيمة السماحية المناسبة لعمل نظام نقل الطاقة، وبالتالي سعة المكثفات اللازم تركيبها سواء باستخدام أجهزة FACTS أو بدونها، كما تعد نمذجة شبكة النقل الكهربائية من منابع التوليد الى مراكز التوزيع مهمة جداً من أجل التنبؤ بحجم واتجاه الاستطاعة، ولاستكمال بعض البيانات الضرورية لتحليل أداء الشبكة.
- **من الناحية العملية:** تأتي أهمية البحث من الناحية العملية كون شبكة نقل الـ 230kv الممتدة من بانياس الى محافظة اللاذقية تغذي كلاً من محطات تحويل بانياس، جبلة، اللاذقية، سقوبين، والمرفأ، حيث أدى خروج محطة زيزون الحرارية لتغيرات كبيرة في تحميل خطوط نقل الشبكة، ولا بد من تحديد هذه التغيرات وأثرها، وكيفية الحد من سلبيات آثارها انطلاقاً من عاملي السماحية والحمولة المناسبة.
- **من الناحية الفنية والاقتصادية:** تأتي أهمية البحث من الناحية الاقتصادية من خلال ايجاد السماحية المناسبة لخطوط النقل التي توفر أفضل شروط العمل، والحد من توليد منابع القدرة للاستطاعة الردية مما يؤدي الى الحد من الضياعات في خطوط النقل، وتوفير الوقود اللازم لعمل محطات التوليد اللازمة لتوليد المزيد من الاستطاعة الردية، كما أن تحسين سريان الاستطاعة له دور كبير في تامين متطلبات الحمولة المستقبلية دون اللجوء لبناء شبكات نقل جديدة مكلفة جداً وتحتاج الى أراضي ومحطات وخطوط نقل يمكن توفيرها.

هدف البحث:

يهدف البحث الى وضع نموذج محاكاة عبر برنامج MATLAB/SIMULINK يبين كلاً من الاستطاعة الظاهرية، الفعلية والردية المنقولة، سماحية خطوط النقل، الحمولة الاسمية المناسبة، كفاءة خطوط النقل، انحراف التوتر المثوي، وأثر تغيرات كل منها على أداء شبكة نقل القدرة الكهربائية، مع تحديد القيم الأفضل لكل من سماحية خطوط نقل الطاقة الكهربائية، والحمولة الاسمية المناسبة لتحسين سريان الاستطاعة من خلال الشبكة.

منطقة البحث

تم اختيار شبكة التوتر العالي 230kV في المنطقة الساحلية، وتحديدًا شبكة نقل الطاقة الكهربائية بين بانياس واللاذقية المبينة في الشكل(1)، وذلك للتغيرات التي طرأت على هذه الشبكة بعد خروج محطة زيزون الحرارية وما نتج عن ذلك من تغيرات في سريان الاستطاعة، حمولة الشبكة،



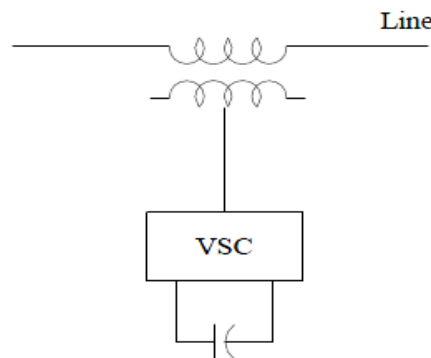
الشكل(1): مخطط شبكة 230kV بين بانياس واللاذقية

منهجية البحث: تم اعتماد المنهج الوصفي التحليلي.

طرائق البحث ومواده

1- استخدام مكثفات تعويض الاستطاعة العرضانية.

يبين الشكل(2) معوض استطاعة مؤلف من مكثفات عرضانية مربوطة الى خط النقل عبر مبدلة الكترونية متحكم بها، تعتمد سعة هذه المكثفة C على بارامترات خط النقل المراد تركيب هذه المعوضات عليه، وبالتالي قيمة سماحية خط النقل المناسبة لتحسين سريان الاستطاعة في خط النقل، وتأثير ذلك على بقية بارامترات خط النقل.



الشكل(2): تركيب معوضات الاستطاعة العرضانية مع خط النقل

إذا اعتبرنا خط نقل جهود بدايته ونهايته V_1, V_2 ومعاوقته الحثية (Inductive Reactance X_L)، والزاوية بين جهدي بدايته ونهايته هي δ_{12} والتي تعرف بالـ Power Angle، فإن الاستطاعة الفعلية المنقولة Transfer Power Capacity، والرديية تعطى بالعلاقة: [24]

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

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

2- تأثير قيمة معوضات الاستطاعة على سريان الاستطاعة في الشبكة

من العلاقتين (1) و (2) نلاحظ ارتباط قيم سريان الاستطاعة في خطوط النقل بكل من جهود الارسال V_S ، والاستقبال V_R ، ومفاعلة خط النقل X_L .

يعطى كل من جهد وتيار الارسال V_S, I_S بدلالة جهد وتيار الاستقبال V_R, I_R لخط النقل بالعلاقات: [25]

$$V_S = \cosh(\gamma \ell) \cdot V_R + Z_C \cdot \sinh(\gamma \ell) \cdot I_R \quad (3)$$

$$I_S = \frac{1}{Z_C} \cdot \sinh(\gamma \ell) \cdot V_R + \cosh(\gamma \ell) \cdot I_R \quad (4)$$

حيث يحسب كل من γ, Z_C من العلاقات:

$$\gamma = \alpha + j \cdot \beta = \sqrt{z \cdot y} \quad (5)$$

$$Z_C = \sqrt{\frac{z}{y}} \quad (6)$$

$$Z = z \cdot \ell = (r + j\omega L) \cdot \ell \quad (7)$$

$$Y = y \cdot \ell = (g + j\omega C) \cdot \ell \quad (8)$$

Z : الممانعة الكلية لخط النقل بالأوم، حيث r المقاومة الأومية الكيلومترية، و L تحريضية خط النقل الكيلومترية.
 γ : سماحية خط النقل. ℓ : طول خط النقل بالكيلومتر. γ : ثابت الانتشار. C : السعة الكهربية لخطوط النقل.
 ω : التردد الزاوي حيث $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ ، حيث f هي تردد التيار الكهربائي المتناوب ويقدر بالهرتز [HZ].
 Z_C : الممانعة المميزة لخط النقل.

كما هو مبين من العلاقة (8) أن قيمة سماحية خط النقل γ تتغير بناء على قيمة مكثفات التعويض المراد تركيبها، وهي بدورها تؤثر على كل من الممانعة المميزة Z_C المبينة في العلاقة (6)، وثابت الانتشار المبين في العلاقة (5)، وبالتالي التأثير على قيمة كل من جهد وتيار طرف الارسال المبين بالعلاقتين (3) و (4). التحكم في قيمة هذه السماحية سيؤثر على باقي البارامترات الأخرى وبالتالي لا بد من تحديد القيم المناسبة لها.

التغيرات الناتجة عن تغير قيم السماحية تؤدي الى تغيرات في سريان الاستطاعة الفعلية والرديية السارية في خطوط النقل المبينة في العلاقتين (1) و (2).

سنقوم بدراسة التأثيرات الناجمة عن التحكم في سماحية نظام النقل الكهربائي انطلاقاً من قيم هبوط الجهود المئوي المسموح والذي يعطى بالعلاقة: [25]

$$VR\% = \frac{V_{R(NL)} - V_{R(FL)}}{V_{R(FL)}} \cdot 100 \quad (9)$$

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

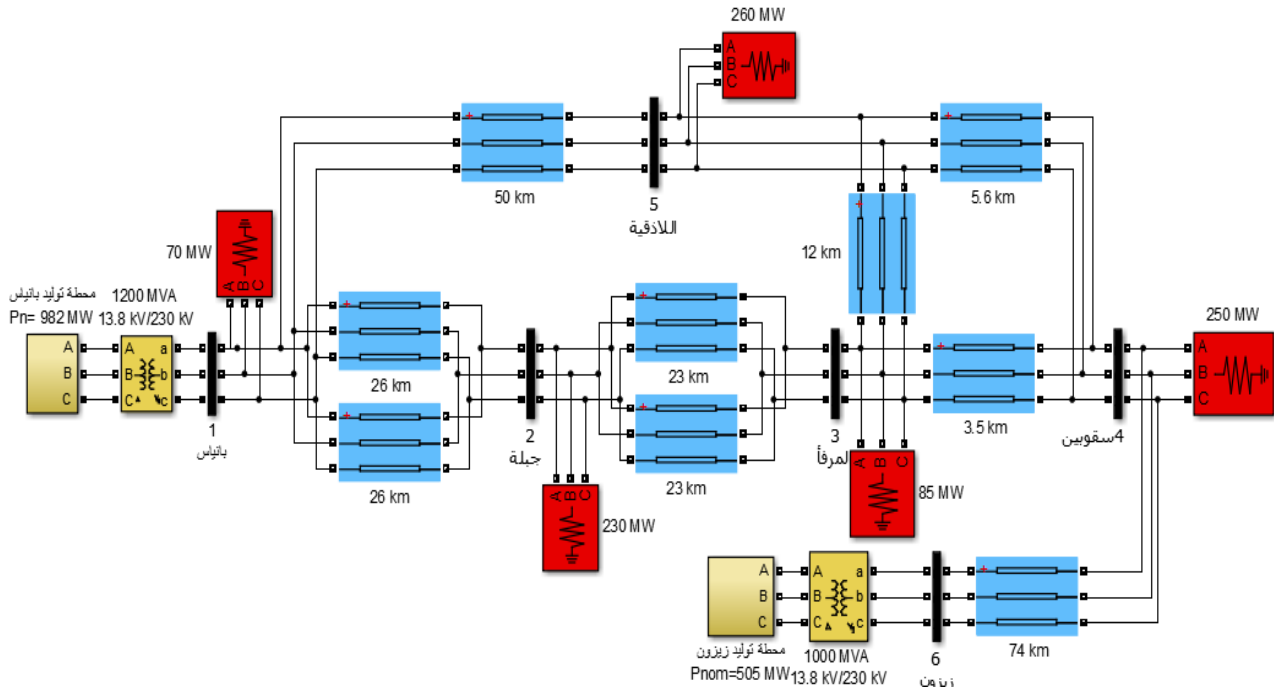
$$|V_{R(NL)}| = \frac{|V_S|}{|\cosh(\gamma \ell)|} \quad (10)$$

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

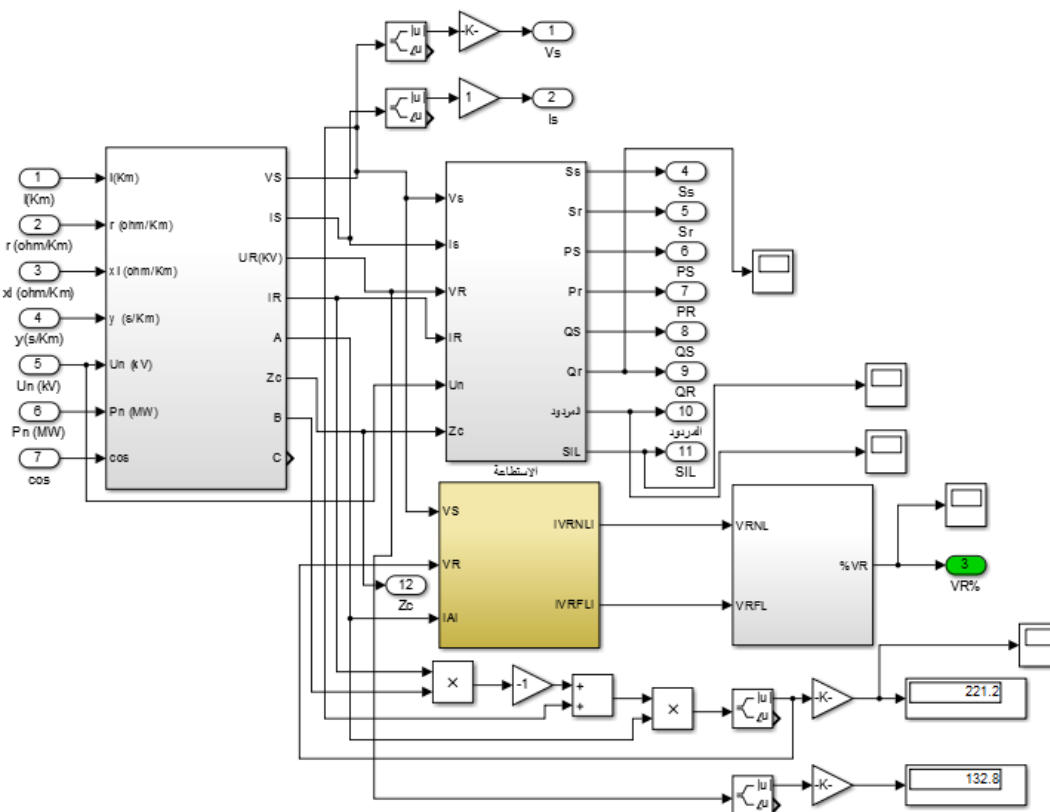
$$\eta = \frac{P_{R(3\phi)}}{P_{S(3\phi)}} \quad (11)$$

نمذجة الشبكة الكهربائية المدروسة

يتألف نظام الطاقة الكهربائي المدروس من محطتي توليد بانياس وزيزون ذات قدرات التوليد 982، 505[MW] على التوالي، ومحطات تحويل في كل من بانياس، جبلة، اللاذقية، سقويين، والمرفأ. يربط بينها خطوط نقل هوائية من نوع الألمنيوم فولاذ AC-450/50mm²، معلقة على أبراج توتر عالي بارتفاع وسطي 28[m] وأطوال مبينة على الشكل(3). تمت عملية نمذجة هذه الشبكة على برنامج MATLAB/SIMULIN ووضع نموذج لكافة المعادلات الرياضية التي تصف سلوك هذه الشبكة كما في الشكل(4)، الذي يمكن من خلاله اظهار نتائج النمذجة والمحاكاة للشبكة قيد البحث.



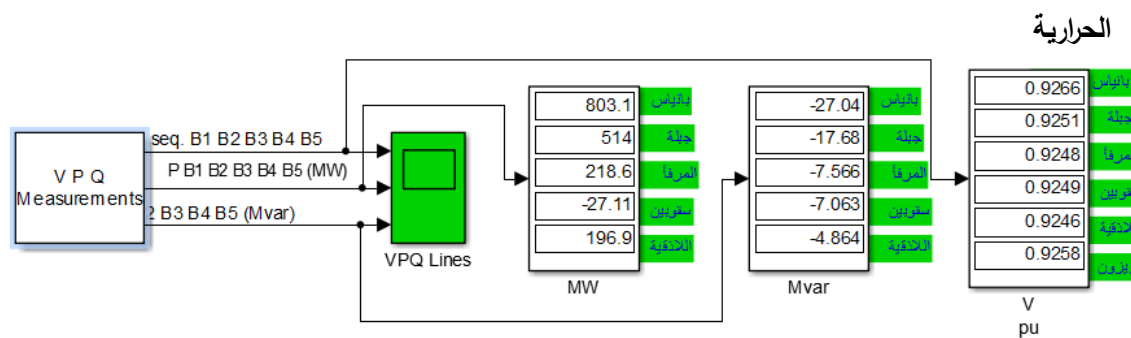
الشكل(3): نموذج شبكة 230kV من بانياس الى اللاذقية



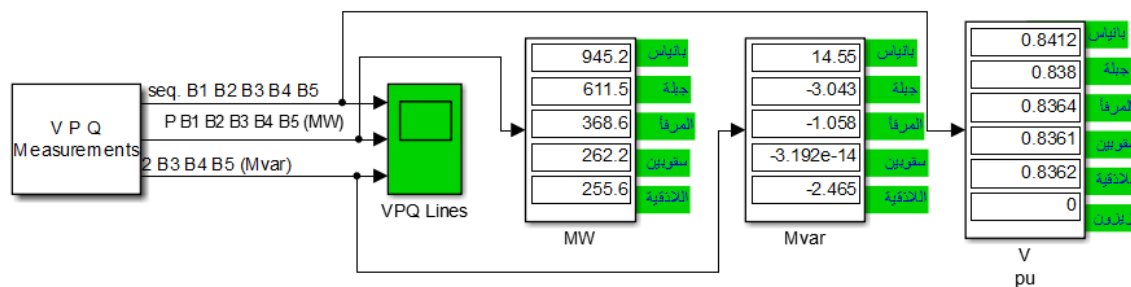
الشكل (4): النمذجة وحساب البارامترات وتغيراتها

النتائج والمناقشة

1- نتائج نمذجة الشبكة الكهربائية 230kV من بانياس باتجاه اللاذقية قبل وبعد محطة زيزون الحرارية



الشكل (5): سريان الاستطاعة الفعلية والردية وجهود بارات الشبكة قبل محطة زيزون

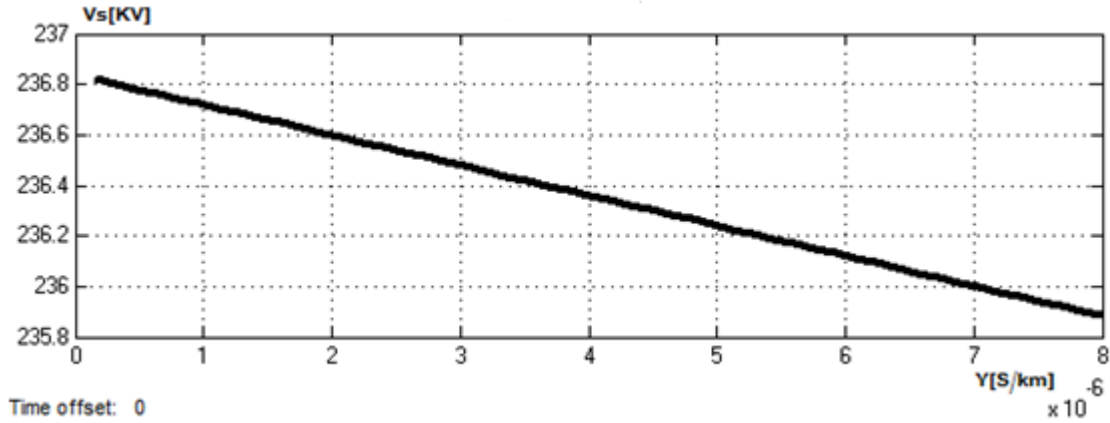


الشكل (6): سريان الاستطاعة الفعلية والردية وجهود بارات الشبكة بعد محطة زيزون

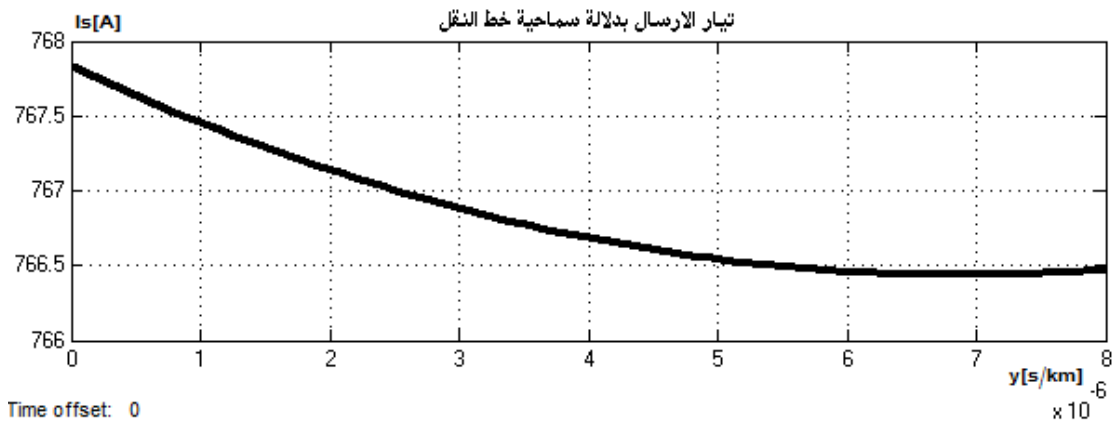
من الشكلين (5، 6) نلاحظ ارتفاع تحميل خطوط الشبكة المدروسة بنسب متفاوتة، حيث ارتفع تحميل البارات بالنسبة للاستطاعة الفعلية كالتالي: بانياس 17.7%، جبلة 19%، المرفأ 68.6%، اللاذقية 30%، بينما نلاحظ انعكاس اتجاه سريان الاستطاعة على بارات محطة تحويل سقوبين مع ازياذ كبير في تحميل الخطوط بلغ 262.2[MW] فيما كانت 27.11[MW].

وكذلك تغيّر سريان الاستطاعة الردية على كامل خطوط الشبكة كما هو ميّن، حيث أن بارات محطة تحويل بانياس باتت تستجر 14.55[Mvar]، وهذا ما يضيف نفقات كبيرة إضافية على محطة تحويل بانياس للتمكن من تغطية عمليات توليد هذا الكم الاضافي من الاستطاعة الردية التي يمكن تعويضها. كما يظهر من نتائج النمذجة أن جهود بارات الشبكة تغيّرت بشكل ملحوظ وياتت أقل من 0.9[pu] وذلك لأن المحطة الحرارية في بانياس أصبحت تغطي كامل الحمولة الاسمية.

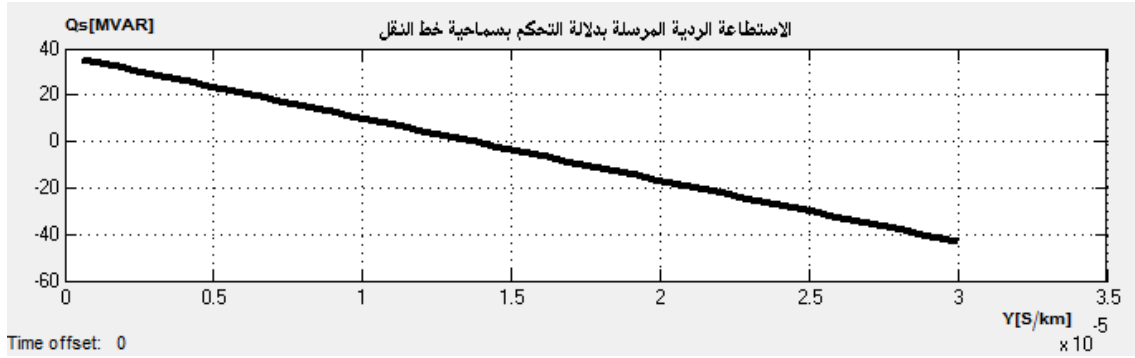
2- تأثير التحكم في سماحية خطوط النقل



الشكل(7): تأثير التحكم بسماحية خط النقل على جهد ارسال الشبكة

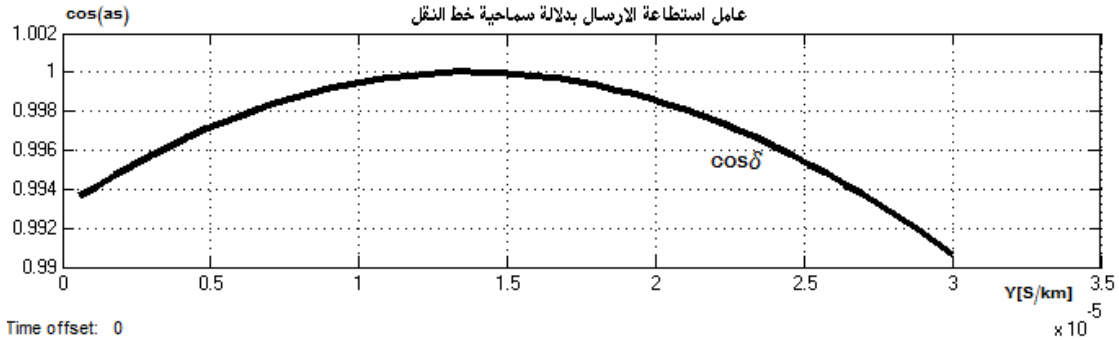


الشكل(8): تأثير التحكم بسماحية خط النقل على تيار ارسال الشبكة

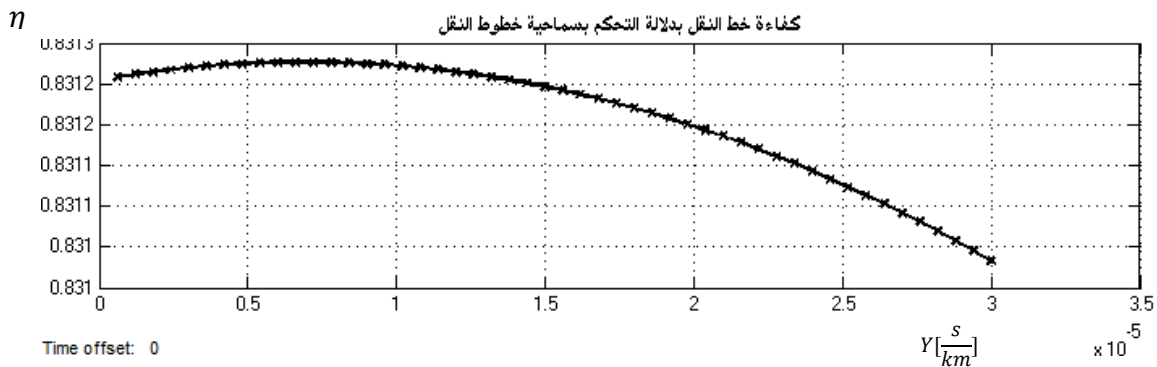


الشكل(9): تأثير التحكم بسماحية خط النقل على قيمة الاستطاعة الردية المولدة

يبين الشكل (7) أن جهد الارسال يتحسن كلما زادت سماحية خط النقل، ويظهر الشكل(8) أن تيار الارسال أيضاً يتحسن. وتؤدي زيادة السماحية السعوية لخطوط النقل الى انخفاض في قيمة الاستطاعة الردية المرسله، وهذا ما يوفر الكثير من الوقود اللازم في المحطات لتوليدتها، ويقال الضياعات الناجمة عن سريانها في خط النقل، حيث تنخفض الاستطاعة الردية اللازم توليدها عند القيمة $10.3 \times 10^{-6} [S/km]$ ، حيث تصبح هذه السماحية منبعاً للاستطاعة الردية، مما يخفض كلف توليدها ونقلها من محطة توليد بانياس وحتى اللاذقية، كما أن زيادة السماحية فوق هذه القيمة سيؤدي الى سريان الاستطاعة الردية بشكل معاكس (من الحمل باتجاه المنبع)، وهذا أيضاً غير مرغوب، لذلك ينبغي التحكم في سماحية خط النقل سواء عبر أجهزة FACTS، أو بالطرق التقليدية بحيث لا تقترب السماحية من هذه القيمة، حيث يبقى التحسين مقبولاً حتى بلوغ هذه القيمة، لأن القيم الأكبر ستؤدي لسريان الاستطاعة بالاتجاه المعاكس أي من الحمل باتجاه المنبع. ويؤكد ذلك الشكل(10) حيث نلاحظ أن عامل استطاعة طرف التوليد والارسال يبلغ الواحد عندما $Y=10.3 \times 10^{-6} [S/km]$.

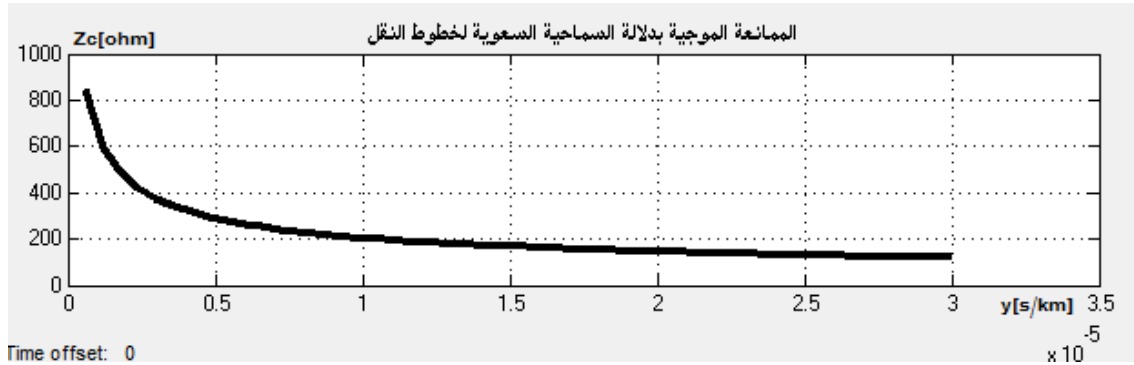


الشكل(10): تأثير التحكم بسماحية خط النقل على عامل الاستطاعة لطرف الارسال

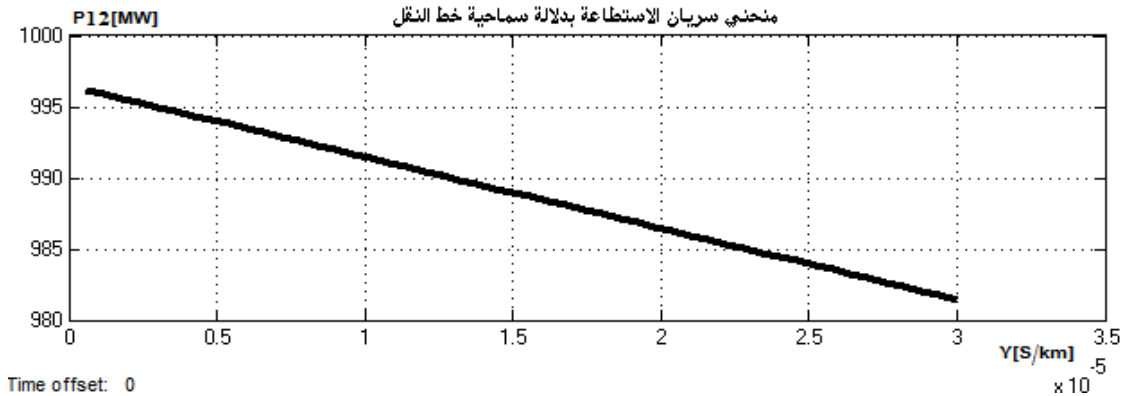


الشكل(11): تأثير التحكم بسماحية خط النقل على كفاءة خط النقل

يبين الشكل(11) أن كفاءة خط النقل تصل الى افضل قيمها الفنية عند سماحية سعوية $y=6*10^{-6}$ [s/km] حيث تنخفض بعد هذه القيمة. كما نلاحظ من الشكل(12) انخفاض الممانعة المميزة لخط النقل كلما ازدادت السماحية السعوية من 450 الى حدود 225 أوم عندما $y=6*10^{-6}$ [s/km]، بينما يظهر الشكل(13) أن قدرة خط النقل على نقل الاستطاعة تنخفض بازدياد السماحية السعوية من 996[MW] الى 992[MW] عند القيمة المناسبة لسماحية خط النقل، وبالتالي نعمل على تركيب FACTS متحكم بها تستطيع تأمين الوصل اللازم لبنوك المكثفات اعتمادا على زوايا قدح مناسبة للقالبات بما يضمن تحسين أداء خطوط النقل وعامل استطاعة المنبع، وكل من جهود الارسال وتيار الارسال الاعظمي المصمم على اساسه خط النقل، اذ لا ينبغي الوصول الى حدود هذه القيمة.



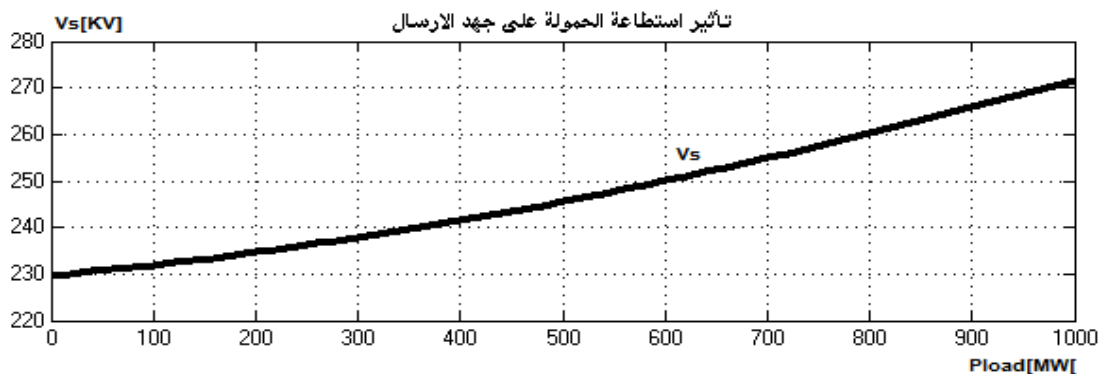
الشكل(12): تأثير التحكم بسماحية خط النقل على الممانعة المميزة لخطوط النقل



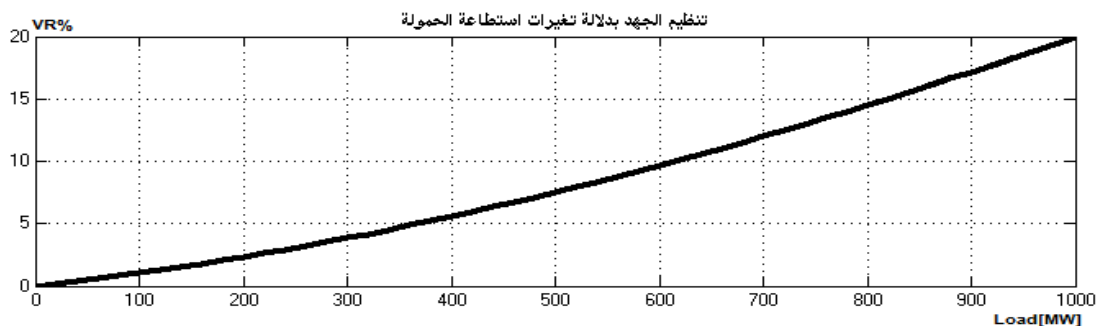
الشكل(13): تأثير التحكم بسماحية خط النقل على سريان الاستطاعة في خطوط النقل

3- تأثير تغيرات حمولة الشبكة على بارامترات الشبكة

الحمولة الاسمية لمدينة اللاذقية هي 260[MW] وهي توافق الاستطاعة الاسمية لمحولات محطة تحويل اللاذقية الاسمية، لكن على أرض الواقع فإن المدينة لم تبلغ بعد حمولتها الاسمية، وسندرس الآن أثر ازدياد حمولة المدينة على أداء شبكة النقل.

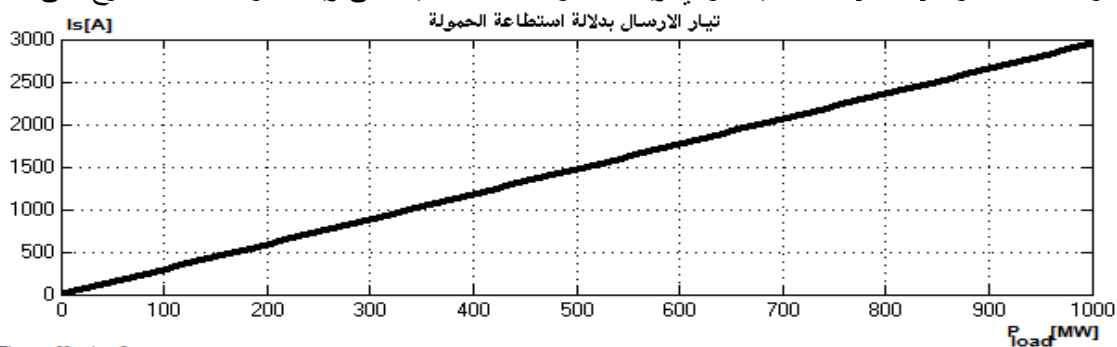


الشكل(14): تأثير نمو استنطاعة الحمولة على جهد بارات الارسال



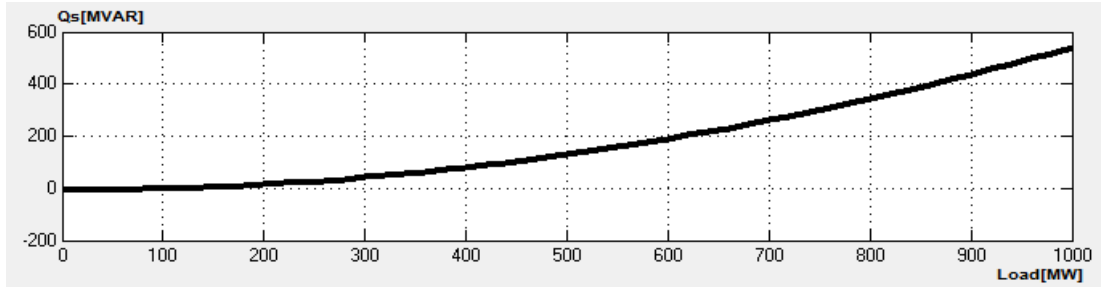
الشكل(15): تغيرات هبوط الجهد المئوي بدلالة نمو الحمولة

يبين الشكل (14) أن جهد بارات ارسال الاستنطاعة يرتفع كلما ارتفعت الاستنطاعة الحمل، وتساوي من أجل حالتنا 237[kV]، من أجل حمولة اسمية 260[MW]، وعند بلوغ الحمولة 350[MW] سيرتفع جهد الارسال الى حدود 244[kV]، مما يؤدي الى هبوط توتر مئوي يبلغ 6.1% كما هو مبين في الشكل(15) ولمعرفة اقصى استنطاعة تصميمية لارتفاع توتر بارات الارسال، ينبغي تحديد هبوط الجهد المسموح به عند 5%، الموافق لـ 240[kV]، واستنطاعة حمولة 320[MW]، حيث تؤدي زيادة الحمولة بعد هذه القيمة الى زيادة هبوط الجهد المسموح على 5%.



الشكل(16): تيار الارسال بدلالة نمو الحمل

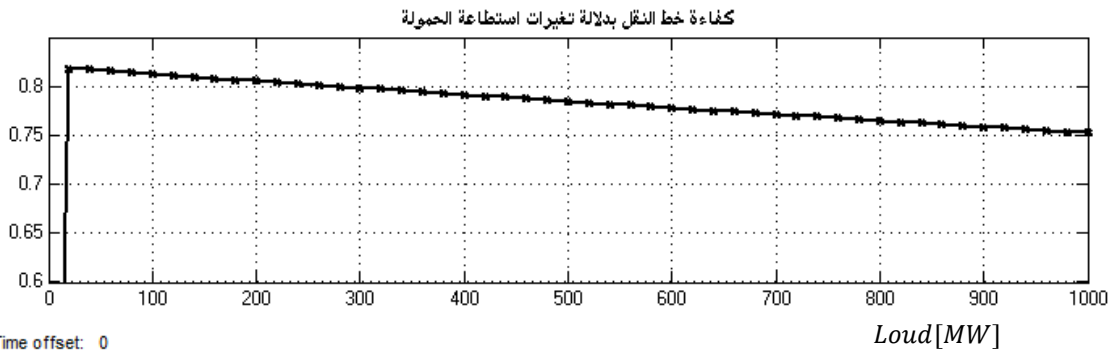
يبين الشكل(16) تزايد تيار الارسال طردا مع نمو الحمل، علماً أن الحد الحراري المسموح ضمن نواقل الألمنيوم فولاذ ذات المقطع AC-400/50 هو 825[A] الموافق لـ 270[MW].



الشكل(17): الاستطاعة الردية المولدة على بارات الارسال بدلالة نمو الحمولة

يبين الشكل(17) تزايد حاجة الشبكة المدروسة لتوليد استطاعة ردية، وهذا سيؤدي الى زيادة التكلفة الاقتصادية والضياعات الكهربائية، حيث تصل الى مستويات غير مرغوبة بعد [270[MW]، وتقترّب الاستطاعة الردية عند هذا الحد من [100[MVAR].

η



الشكل(16): تأثير نمو الحمولة على كفاءة خطوط نقل الطاقة الكهربائية

نستطيع من خلال الشكل(16) تحديد قيمة كفاءة خط النقل بدلالة نمو الحمولة، حيث تنخفض قيمة كفاءة خط النقل تحت 0.8 عند [260[MW]، وهذا ما يؤكد أن هذه الاستطاعة هي الملائمة، وقبل بلوغ حمل اللاذقية هذه القيمة ينبغي العمل على اجراء تحسينات في الشبكة الحالية لزيادة سعتها التمريرية، باستخدام تركيب أجهزة FACTS (مثلاً) المتطورة كبديل موثوق واقتصادي عن تركيب شبكة توتر عالي جديدة، حيث أن كافة بيانات الشبكة وحمولاتها المستقبلية وسلوكها العام تم التنبؤ به من خلال النتائج التي حصلنا عليها في هذا البحث، وعليه تبقى آلية التحكم واختيار القيم اللازمة لعمليات التحكم في سريانات الاستطاعة وفق قيم واقعية حقيقية معلومة مسبقاً.

4- تطبيق نتائج الدراسة على شبكة نقل التوتر العالي 230kV بين بانياس واللاذقية لخفض الزيادة الحاصلة في توليد الاستطاعة الردية.

سنقوم بتطبيق النتائج التي توصلنا عليها، وذلك بإضافة مكثفات تسلسلية الى الشبكة تجعل سماحية الشبكة عند القيمة التي خلصت اليها الدراسة، والتي تمثل النقطة الهدف التي ينبغي العمل عليها لتحسين أداء الشبكة. بتطبيق نتائج البحث بتغيير سماحية خطوط النقل من القيمة 4×10^{-6} الى القيمة 6×10^{-6} وهذا يعني ازدياد سعة مكثفات خطوط النقل من 12.74×10^{-9} [F] الى حدود 20×10^{-9} [F]. نجد أن سريان الاستطاعة الردية على بارات الشبكة سيتحسن، وستصبح الاستطاعة الردية على بار بانياس [-0.9754[Mvar]، وبالتالي عدم استجرار استطاعة ردية من المحطة الحرارية في بانياس.

الاستنتاجات والتوصيات

- ✓ قدم البحث نموذجاً لشبكة نقل التوتر العالي [kV]230 وأظهر نتائج التغيرات التي ستطرأ على بارامترات الشبكة عند إجراء تغييرات في سماحية خطوط النقل، ونمو الطلب المتزايد على الطاقة الكهربائية.
- ✓ قدم البحث نموذجاً تم تصميمه في بيئة MATLAB/SIMULIN يمكن من خلاله إجراء عمليات الحساب والتحكم في بارامتر أو أكثر من بارامترات الشبكة، وإظهار نتائج ذلك على كافة بارامترات الشبكة الأخرى.
- ✓ أظهرت نتائج البحث أن قيمة السماحية القصوى لخطوط نقل الشبكة يجب ألا تقترب من $10^{-6} \times 10.3$ [S/km]، وأن قيمة الممانعة المميزة تصل الى 225 أوم عند 6 ميكرو سيمنس بالكيلومتر بعد أن كانت 450 أوم قبل عملية التحسين في قيمة سماحية خطوط النقل
- ✓ أظهرت نتائج البحث أن هبوط التوتر المؤي يبقى ضمن الحدود المسموحة حتى تبلغ الحمولة 320MW، وأن ارتفاع توتر بارات الإرسال يصل حده الأعظمي المسموح عند القيمة [kV]240، بينما لا يسمح بأن تتجاوز الحمولة الحقيقية [MW]270، وأن كفاءة خط النقل تتخفف تحت الـ80%، عند ازدياد الطلب على الحمولة فوق الـ[MW]260.
- ✓ نوصي من خلال هذا البحث بدراسة أثر التحكم في قيمة مكثفات التعويض العرضانية والطولانية على الاستقرار الستاتيكي والديناميكي للشبكة، وأثر ذلك على باقي بارامترات الشبكة.

المراجع

- [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, December, 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, December, 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.J, *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] Anulekha.H, Priyanath.D, Ajoy.Ch. *Performance Analysis and Comparison of Various FACTS Devices in Power System*. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887). (2012).
- [11] Jakubčák.R, Beňa.L, Kmec.M. *Possibilities Of Using Facts Devices In Power System. Acta Electrotechnica Et Informatica. Acta Electrotechnica et Informatica*, Vol. 13, No. 3, 2013, 8–11. (2013).
- [12] Ullah.I, Gawlik.W, Palensky.P . *Analysis of Power Network for Line Reactance Variation to Improve Total Transmission Capacity*. MDPI. (2016).
- [13] Lee.C.K, Joseph.S.K, *Circuit-Level Comparison of STATCOM Technologies*. IEEE. VOL. 18, NO. 4. P1084-1092, (2003).
- [14] Joshi.D, Gandhi.A, Parmar.S, *Power Flow Control Using TCSC under Deregulated Environment*. IJEECS. ISSN 2348-117X. Volume 6, Issue 11, (2017).
- [15] Knockaert.J, Peuteman.J, Catrysse.J, Belmans.R. *General equations for the characteristic impedance matrix and termination network of multiconductor transmission lines*. IEEE. 978-1-4244-3507-4/09, (2009).
- [16] Lyazid.H, Khodir.H, Fatiha.Z, *Calcul des paramètres et caractéristiques des lignes électriques triphasées*. Université Abderrahmane mira – BEJAÏA, (2014).
- [17] Shaban.F, Shaheen.H, *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).
- [18] Grünbaum.R, Rasmussen.J, Li.CH, *Series Capacitors for Increased Power Transmission Capability of a 500 kV Grid Intertie*. IEEE, (2017).

- [19] Kshetrimayum.R.S. *Transmission line analysis*. Electromagnetic Field Theory, (2013).
- [20] Ullah.I, Gawlik.W, Palensky.P, (2016). *Analysis of Power Network for Line Reactance Variation to Improve Total Transmission Capacity*. MDPI.
- [21] 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).
- [22] Gaigowal.S.R, Renge.M.M, *DSSC, Distributed Power Flow Controller*. ELSEVIER.Science Direct. P745- P752. (2017).
- [23] 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).
- [24] Ananthavel. S, Badmanabad. S. I, SHanmugham. S, Blaabjerg. F, Fedak. V, *Analysis of enhancement in available power transfer capacity by STATCOM integrated SMES by numerical simulation studies*, Engineering Science and Technology, 671-675, an International Journal 19, (2016).
- [25] Rawa. M, *Characteristic and Surge Impedance Variation Impact on Transmission Line Performance*, International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE) Vol. 8, No. 4, pp. 2602~2607, August (2018).