

دراسة إمكانية تحسين القدرة التمريرية لشبكة 66 ك.ف في محافظة اللاذقية بطريقة الخطوط المدمجة .

سنان رزوق*

تاريخ الإيداع 13 / 7 / 2015 . قُبل للنشر في 25 / 2 / 2016

□ ملخص □

تناول البحث دراسة التأثير الحاصل على شبكة نقل الطاقة 66 كيلو فولت في محافظة اللاذقية فيما لو تم استبدال بعض خطوط النقل الهوائية التقليدية القائمة في هذه الشبكة بخطوط نقل هوائية جديدة من النوع المدمج **Compact Lines** وذلك من الناحية الفنية فقط ، أي من ناحية التأثير على الحساب الكهربائي و سريان الحمولة لخطوط نقل هذه الشبكة في نظام العمل المستقر (الطبيعي) ، ونظرا لاستحالة اجراء هذه الدراسة على أرض الواقع تم وضع برنامج يتيح للمستخدم نمذجة مختلف أنواع الشبكات الكهربائية الشعاعية و الحلقية البسيطة منها و المعقدة ثم تحليل أدائها الفني بحالات مختلفة من خطوط النقل (التقليدية و المدمجة) ومقارنة النتائج لكلا الحالتين عند نظام العمل الطبيعي .

الكلمات المفتاحية: خطوط نقل الطاقة - الخطوط المدمجة - تحليل الشبكات الكهربائية - الضياعات الكهربائية.

*قائم بالأعمال - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Study the possibility of improving the transfer of electric power capacity in 66 kV network in the province of Lattakia by using of compact lines.

Sinan Razouk*

(Received 13 / 7 / 2015. Accepted 25 / 2 / 2016)

□ ABSTRACT □

This research was prepared in order to study the effect on the 66 kV power network in Lattakia province as a result of replace some of the traditional transmission lines in this network of the type Compact Lines , from only technically, any of the terms of the impact on the load flow in transmission lines, in a stable working system (natural), due to the impossibility of conducting this study on the ground a program was created allows the user to simulate various types of electrical networks radial and simple or complex loop , and the analysis of the technical performance of different cases of transmission lines (traditional and compact) and compare the results for both cases in normal working system.

Key Words : compact power transmission lines, load flow problem, electrical network analysis, power lines losses, simulating transmission line.

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

مقدمة :

يفهم من قدرة التمرير لخط النقل بأنها قدرته على تمرير الاستطاعة الفعلية الأعظمية التي يسمح بنقلها من محطات التوليد إلى المستهلك بما يتفق والشروط الفنية والاقتصادية . لأجل هذا المفهوم يستخدم تعبير الاستطاعة الحدية المرسله إلى المستهلك وهي تتعلق بعدة عوامل منها [1] :

- 1 - العمل المستقر والمتوافق لمحطات توليد الطاقة الكهربائية .
- 2 - التيارات المسموح نقلها أو ما يعبر عنها بشروط التسخين .
- 3 - هبوط الجهد المسموح به أو تأرجح التوتر عند المستهلك عن القيمة الاسمية .

في الماضي لأجل رفع قدرة التمرير لخطوط نقل الطاقة الكهربائية فقد تم استخدام الطريقة الفعالة برفع سوية الجهد الكهربائي ، و زيادة عدد خطوط نقل الطاقة الكهربائية . في الآونة الأخيرة تم إعداد الكثير من وسائط يمكن بواسطتها زيادة قدرة التمرير و التحكم بنظم عملها ، و قد تم وضعها في الخدمة الفعلية . من هذه الوسائط التحكم الآلي في تهيج المولدات الكهربائية و وسائط تعويض الاستطاعة الردية الطولية و العرضية المربوطة مع خطوط نقل الطاقة الكهربائية ، إضافة لذلك فقد تم تقديم العديد من المقترحات والتي بمقتضاها يمكن تغيير تصميم الخطوط الهوائية ، و دارات نقل الطاقة الكهربائية ، و القدرة على استيعاب الطرق الحديثة المتعلقة بزيادة قدرة التمرير .

إن البحث في تطوير الشبكات الكهربائية يقودنا إلى إنشاء أعداد لا متناهية من خطوط نقل الطاقة الكهربائية على مساحة محددة من الأرض و هذا بالنتيجة يؤدي إلى مزيد من الضجيج في المدن ، و في القرى الزراعية إلى مزيد من الخسارة في الأراضي الزراعية و الغابات . مما قاد الباحثين في مختلف البلدان للبحث عن وسائل لنقل الطاقة الكهربائية تلبي الحاجة المتزايدة لها و بنفس الوقت تحل السلبيات المذكورة أعلاه ، ومن هذه الوسائل كان استخدام الخطوط المتقاربة أو المدمجة، وهي بالتعريف الخطوط الهوائية ذات التصاميم الجديدة (غير التقليدية) التي يتم تقريب نواقل الأطوار من بعضها البعض إلى الحد الذي تسمح به التوترات الزائدة والانفراج الكوروني.

إن صغر المقطع العرضي الذي تشغله هذه الخطوط في الفراغ مع القدرة التمريرية العالية للطاقة الكهربائية التي تتمتع بها كانا سببا لتسميتها بالخطوط المدمجة ، من هنا كان دور هذه الخطوط في دعم الجانب الاقتصادي عند تصميم و تخطيط الشبكات الكهربائية [2] . ولا بد من التنويه إلى ان هذا البحث يتناول التأثير الفني المتمثل بمسألة سريان الحمولة دون التطرق إلى الجانب الاقتصادي لاستخدام الخطوط المدمجة و الذي يحتاج إلى بحث مستقل تماما .

تم استخدام الخطوط المدمجة بشكل واسع النطاق في بلدان مختلفة مثل أمريكا و كندا و الصين و دول أوروبية عديدة في الشبكات العاملة بتوتر 400 ك.ف ، ومؤخرا بدأ تنفيذ هذه الخطوط على شبكات التوتر المتوسط وقدمت العديد من الأبحاث التي تدعم استخدام الخطوط المدمجة في شبكات 115 - 345 ك.ف [2] . وفي عام 2014 دراسة قدمت لصالح المعهد المركزي لبحوث الطاقة CPRI في الهند بعنوان " التقييم الهيكلي لأبراج نقل الطاقة بتوتر 66 ك.ف " [3] . بينت فيه جدوى استخدام التصاميم الجديدة لخطوط نقل الطاقة المدمجة العاملة بتوتر 66 ك.ف من الناحية الهيكلية لبناء الأبراج و توضع نواقل الأطوار .

أهمية البحث و أهدافه :

تكمن أهمية هذا البحث في وضع برنامج حاسوبي يسمح بمحاكاة الشبكات الكهربائية ذات التوترات العالية والمتوسطة ، ثم حل مسألة سريان الحمولة لها ، مع أو بدون الأنواع الجديدة من خطوط نقل الطاقة المدمجة ، و ذلك

نظرا لصعوبة تطبيق هذه المقارنة على أرض الواقع و المتمثلة باستبدال خطوط النقل العاملة بأخرى مدمجة . إضافة لإمكانية استخدام هذا البرنامج من قبل قسم الدراسات التابع لأمير مديرية كهرباء كونه برنامج يسمح بإجراء حساب كهربائي (سريان حمولة) لمختلف الشبكات (شعاعية ، حلقيية ، معقدة) و عند مختلف التوترات الاسمية ، بالتالي يختصر كثير من الزمن و الحسابات اللازم اجراءها لحل مسألة سريان الحمولة لهذه الشبكات و يقدم نموذجا يمكن اعتماده بدلا من البرامج التي يتم شراءها من الشركات العالمية بأسعار عالية لأجل نفس الغاية .

طرائق البحث و موادہ :

إن دراسات سريان الحمولة ضرورية لتخطيط تطور الشبكة أو النظام لأن التشغيل الجيد للنظام يعتمد على معرفة تأثير ارتباط النظام مع الأنظمة الأخرى ، مع أحمال جديدة ، محطات توليد جديدة ، وخطوط نقل جديدة قبل إنشائها ، ولكن الصعوبات تكمن في الاجراءات الواقعية أو العملية اللازمة من أجل دراسة سريان الحمولة لشبكة كهربائية قائمة على أرض الواقع فيما لو أردنا تبديل جزء أو كامل خطوط نقل الطاقة لهذه الشبكة بالأنواع المدمجة منها ، أو البحث عن التوضع الأفضل للخطوط المدمجة البديلة ، لذا كان لا بد من البحث عن الطرق الممكنة لحل هذه المسألة و قد اعتمدت طريقة البحث على :

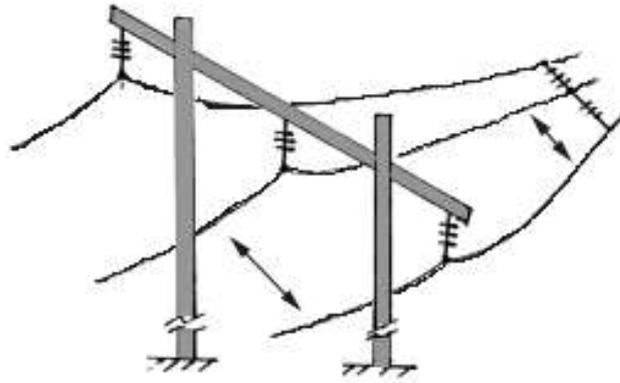
1- دراسة خطوط نقل الطاقة الكهربائية المدمجة و متطلبات تركيبها على أرض الواقع .
 إيجاد العلاقة بين العناصر الذاتية لخطوط النقل المدمجة و القدرة التمريرية لها .
 وضع الموديل الرياضي لخطوط نقل الطاقة المدمجة ، وبناء برنامج يتيح للمستخدم محاكاة أي شبكة كهربائية محلية و إجراء الحساب الكهربائي (سريان الحمولة) في حالة العمل الطبيعي مع أو بدون خطوط نقل الطاقة المدمجة ومقارنة النتائج لكلا الحالتين .

خطوط نقل الطاقة الكهربائية المدمجة و متطلبات تركيبها :

يتم تصنيف الخطوط المدمجة كما يلي :

1- خطوط هوائية مدمجة أحادية الدارة :

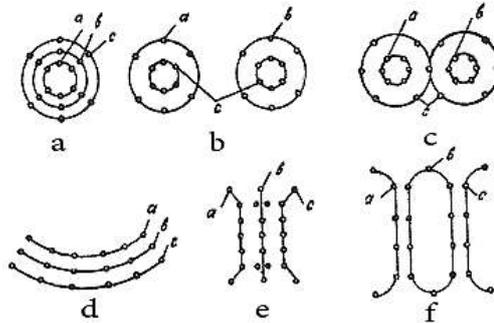
منها ما هو ذات أطوار متقاربة في فتحة التثبيت بما يتفق مع شروط انقراض الكورونا والتوترات الزائدة، ولتقريب نواقل الأطوار من بعضها يتم استخدام مشدات عازلة بين النواقل في فتحة التثبيت كما هو مبين على الشكل (1) . هذه الخطوط يتم تنفيذها على أبراج موجودة سابقاً ، أو في حالة إنشاء خطوط جديدة ، وتعطي زيادة في القدرة التمريرية بنسبة (10 - 15 %) بالمقارنة مع الخطوط الهوائية العادية . أما في الحالة التي يتم فيها تقريب النواقل في فتحة التثبيت وعلى الأبراج الحاملة فإن تلك النسبة ترتفع لتصل (15 - 20 %) [4] .



الشكل (1) خط مدمج أحادي الدارة فيه النواقل متقاربة في فتحة التثبيت .

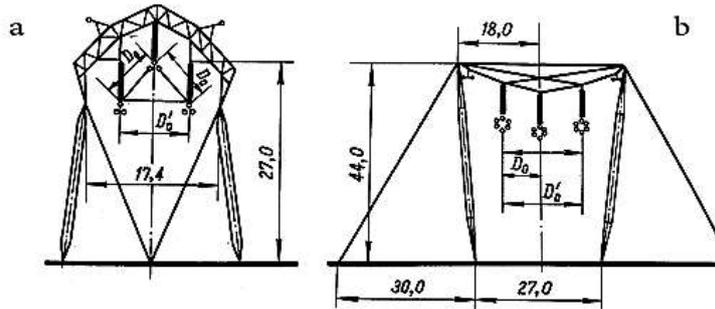
من الخطوط المدمجة الأحادية الدارة الخطوط ذات التوضع غير التقليدي لنواقل الأطوار المشطورة ، في مثل هذه الخطوط يتم رفع قدرة التمرير بواسطة زيادة عدد النواقل في الأطوار ، وزيادة خطوة الانشطار ، وكذلك استخدام أبراج جديدة تسمح بتوضع نواقل عدة في جهة واحدة .

والشكل (2) يبين بعض الحالات لتوضع نواقل أطوار خطوط النقل المدمجة أحادية الدارة . من مساوئ هذه الخطوط هو انعدام إمكانية التحكم بنظم عملها لاسيما تعويض الاستطاعة الردية الزائدة عند الحملات الأصغرية [5]



الشكل (2) نماذج مختلفة لتوضع نواقل أطوار خطوط النقل المدمجة أحادية الدارة .

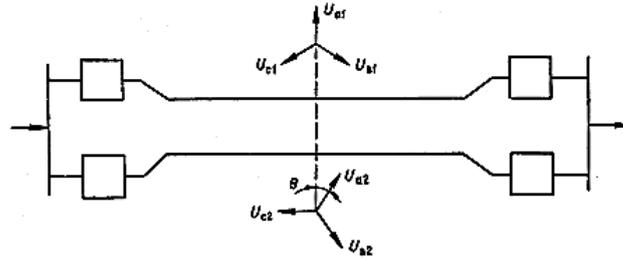
- الشكل (2) يبين لنا توضع نواقل الأطوار المشطورة (a , b , c) في خط نقل مدمج أحادي الدارة : a - نواقل الأطوار موزعة على دوائر متحدة المركز . b - النواقل موزعة على أربع دوائر ، كل اثنان منها متحدة المركز . c - نواقل الأطوار موزعة على دوائر غير متحدة المركز وتتميز عن سابقتها بأن الدوائر الخارجية تشترك بناقل من نفس الطور . d - على شكل قطع مكافئ . e - على شكل مستوي . f - على شكل إهليلجي ، والشكل (3) يبين لنا بعض نماذج الأبراج الحاملة لأطوار الخطوط المدمجة أحادية الدارة .



الشكل (3) نماذج لأبراج حاملة لنواقل أطوار خطوط مدمجة أحادية الدارة
a - خطوط تعمل بتوتر 500 ك ف ، b - بتوتر 750 ك ف

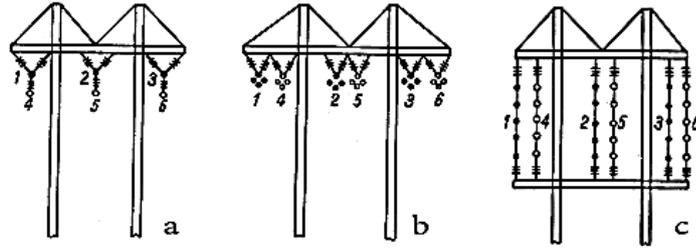
2- خطوط مدمجة ثنائية الدارة متحكم بها ذات التعويض الذاتي :

في المعهد التقني بمدينة موسكو وفي قسم التحكم الآلي في جمهورية مالديفيا تم اقتراح دارة مناسبة لنقل الطاقة الكهربائية بالتيار المتناوب ، وهي إلى حد كبير تحسن المميزات الفنية - الاقتصادية . الدارة المذكورة تمثل تصميمًا مختصرًا للخطوط المدمجة ذات التعويض الذاتي مع إمكانية التحكم بنظام عملها . الفرق الأساسي التي تمتاز به هذه الخطوط عن سابقتها هو أنها تحوي دارتين ثلاثية الطور فيها كل طورين متقاربين (واحد من كل دارة) إلى أقرب مسافة مسموحة . التوترات مزاحة عن بعضها البعض بزوايا تحدها وسائل الانزياح الطوري كما هو مبين على الشكل (4) .



الشكل (4) الدارة المبدئية لنظام نقل القدرة الكهربائية فيه خطوط النقل مدمجة والأطوار مزاحة بزوايا معينة .

بهذا الشكل وبنسبة تقريب الأطوار من بعضها البعض يزداد التأثير الكهرطيسي المتبادل وبالتالي تزداد قدرة تمرير الخطوط من الاستطاعة الفعلية ، وعن طريق تغيير زاوية الانزياح الطوري بين التوترات ينشأ تغيير في بارامترات الخط عنها يمكننا التحكم بنظام عمل هذه الخطوط . قدرة تمرير هذه الخطوط بالمقارنة مع الخطوط العادية تزيد بنسبة $40 \div 50\%$. في هذه الحالة تتضاءل شدة الحقل الكهربائي تحت الخطوط ، وتزداد كثافة تدفق الطاقة خلال واحدة المقطع . الجدير ذكره أن تلك الخطوط يمكن أن تعمل بتوترات كهربائية مختلفة أو بتوتر واحد في كلا الدارتين . الشكل (5) يبين لنا بعض التصميمات لأبراج الحاملة لنواقل أطوار خطوط المدمجة ذات التعويض الذاتي . [5] .



الشكل (5) تصاميم لأبراج حاملة لنواقل خطوط مدمجة ذات التعويض الذاتي .

العلاقة بين العناصر الذاتية لخطوط النقل المدمجة و القدرة التمريية لها :

الاستطاعة الفعلية الحدية الممكن نقلها في خط يتساوى فيه توتر البداية و توتر النهاية (المقاومة الفعلية

مهملة) بتحدد بالعلاقة التالية: [6] .

$$P = \frac{U_n^2}{X} = \frac{U_n^2}{Z_b \cdot \sin \lambda} = \frac{P_n}{\sin \lambda} \quad (1)$$

حيث إن :

U_n : التوتر الاسمي [kV] : Z_b : الممانعة الموجية [Ω] : X : ممانعة نظام نقل القدرة الكهربائية [Ω/km]

λ : الطول الموجي للخط و يحسب بالعلاقة التالية : $\lambda = \frac{\omega}{3 \cdot 10^6} \cdot l$.

P_n : الاستطاعة الطبيعية (تمثل نظام عمل يتساوى عنده الاستطاعة الردية المولدة و المستهلكة في الخط) .

من العلاقة (1) نستنتج أنه يمكن زيادة الاستطاعة الفعلية (P) المنقولة عبر الخطوط الهوائية عند ثبات

التوتر الاسمي من خلال إنقاص الممانعة الموجية للخطوط الهوائية وبالتالي زيادة قيمة التيار المسموح نقله . وتعطى

الممانعة الموجية للخطوط الهوائية عند إهمال المقاومة الفعلية بالعلاقة المعروفة التالية :

$$Z_B = \sqrt{\frac{L_o}{C_o}} \quad (2)$$

حيث إن : L_o, C_o السعة والتحريضية الواحدية للخط .

نلاحظ أن إنقاص الممانعة الموجية للخطوط يتطلب تخفيض التأثيرات التحريضية ، و بنفس الوقت زيادة

التأثيرات السعوية ، هنا، سنعالج العوامل التي تتعلق بها كل من المفاعلة التحريضية ، و الناقلية السعوية لنواقل خطوط

نقل الطاقة الكهربائية .

نفترض أنه في حيز ما يتوضع لدينا عدد من النواقل (n) ، و عادة تنسب إلى طور مشطور ، أو لأطوار

مختلفة في دائرة واحدة أو عدة دوائر كهربائية . عندئذ الممانعة التحريضية للنواقل المتوضعة في نظام مؤلف من (n)

ناقل يمكن حسابها بالعلاقة التالية: [7] .

$$\underline{x}_{o,i} = \omega \cdot \underline{L}_i = \omega \cdot \left[\sum_{j=1}^n M_{ij} \frac{I_j}{I_i} \right] = \omega \cdot \left[M_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n M_{ij} \frac{I_j}{I_i} \right] \quad (3)$$

$$\underline{x}_{o,i} = \omega \cdot \underline{L}_i = \omega \cdot \left[M_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n M_{ij} \frac{I_j}{I_i} e^{j\theta} \right]$$

حيث إن :

i, j : هي التيارات في النواقل M_{ij} ، j, i : التحريضية الذاتية للنواقل M_{ij} : التحريضية المتبادلة بين النواقل i, j : الانزياح الزاوي بين التيارات المارة في النواقل i, j .

عند تساوي التيارات في جميع النواقل أي ($I_i = I_j$) فإن القيمة الحقيقية للتحريضية المحددة بالعلاقة (3) تأخذ

الشكل التالي :

$$\text{Re } \underline{x}_{o,i} = \text{Re } \omega \cdot \underline{L}_i = \omega \cdot \left(M_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n M_{ij} \cos \theta_{ij} \right) \quad (4)$$

التحريضية الذاتية و المتبادلة تتحددان بالعلاقات التالية :

$$M_{ii} = \left(2 \ln \frac{1}{r_i} + 0.5 \mu \right) \cdot 10^{-4} \quad (5)$$

$$M_{ij} = 2 \ln \frac{1}{D_{ij}} \cdot 10^{-4}$$

حيث إن :

r_i : نصف قطر الناقل iD_{ij} : المسافة الفاصلة بين النواقل i و j : النفاذية المغناطيسية .

تحليل العلاقات السابقة يقودنا إلى نتيجة مفادها أن مسألة تخفيض المفاعلة التحريضية يتم من خلال زيادة نصف قطر الناقل r_i ، و هذه الطريقة تستخدم بشكل واسع في الحياة العملية من خلال تشعيب الطور الواحد إلى عدة نواقل ، حيث يزداد نصف القطر المكافئ . أما إذا حافظ نصف قطر الناقل (أو نصف القطر المكافئ) على قيمة ثابتة ، فإن تخفيض المفاعلة التحريضية للخطوط المحددة بالعلاقة (4) يمكن أن يعبر عنها بالشكل التالي :

$$\min \underline{x}_i \equiv \min \left(M_{ii} + 2 * 10^{-4} \sum_{j=1, j \neq i}^n \ln \frac{1}{D_{ij}} \cos \theta_{ij} \right) \quad (6)$$

من هذه العلاقة ، ينتج لدينا أنه عند تثبيت زوايا الانزياح بالمجال $90 > \theta_{ij}$ فإن تحريضية النواقل تتناقص عند إنقاص المسافة D_{ij} بين النواقل . هذا التأثير يمكن ملاحظته عند خطوط هوائية أحادية الدارة ، و ذلك عند تقريب نواقل الأطوار من بعضها البعض والسارية فيها تيارات مزاحة عن بعضها البعض بزواوية 120° . عملياً تقريب نواقل الأطوار من بعضها البعض تتم مع مراعاة شروط التوترات الزائدة و انقراغ الكورونا .

انطلاقاً مما ذكر أعلاه فإن الحصول على أقل قيمة للممانعة التحريضية للخطوط الهوائية يتم من خلال التأثير

في ثلاثة عوامل هي :

1. المسافة الفاصلة ما بين نواقل الأطوار المختلفة D_{ij}

2. زاوية الانزياح الطوري θ_{ij}

3. عدد النواقل في الطور الواحد n .

بعد معالجة العوامل المؤثرة في تحريضية الخطوط الهوائية ، و تبيان الوسائل الفعالة للتقليل منها ، سنعالج

العوامل المؤثرة في تغيير سعة الخطوط الهوائية لنظام مبسط مؤلف من ناقلين في الطور الواحد .

سعة الناقل تتحدد على أساس نظم معادلات ماكسويل للطاقة الكامنة : [8] .

$$\begin{aligned} \underline{U}_1 &= \alpha_{11} \underline{q}_1 + \alpha_{12} \underline{q}_2 \\ \underline{U}_2 &= \alpha_{21} \underline{q}_1 + \alpha_{22} \underline{q}_2 \end{aligned} \quad (7)$$

حيث إن :

U_1, U_2 : الجهود الكهربائية على الناقل 1 ، 2، α_{11}, α_{12} ثوابت .

q_1, q_2 : الشحن الكهربائية على الناقل 1 ، 2 .

من هنا يمكن الحصول على :

$$\underline{C}_1 = \frac{q_1}{U_1} = \beta_{11} + \beta_{12} \frac{U_2}{U_1} e^{j\theta_{12}} \quad (8)$$

هنا θ_{12} تمثل الزاوية بين توتر الناقل 1 و 2 أي U_1 و U_2 .

β_{11}, β_{12} - ثوابت التحريض الالكتروستاتيكي و تتحدد بالعلاقات التالية :

$$\begin{aligned} \beta_{11} &= \frac{\alpha_{22}}{\alpha_{11}\alpha_{22} - \alpha_{12}^2} \\ \beta_{12} &= -\frac{\alpha_{12}}{\alpha_{11}\alpha_{12} - \alpha_{12}^2} \end{aligned} \quad (9)$$

وبهذا الشكل فإن قيمة β_{12} أقل من الصفر . أما ثوابت الجهد (α) ثوابت الطاقة الكامنة تحدها العلاقات

التالية:

$$\begin{aligned} \alpha_{kk} &= \frac{1}{2\pi \xi_r \xi_o l} \text{Ln} \frac{2h_k}{r_k} \\ \alpha_{kp} &= \frac{1}{2\pi \xi_r \xi_o l} \text{Ln} \frac{R_{p'k}}{R_{pk}} \end{aligned} \quad (10)$$

حيث :

h_k : المسافة العمودية بين الناقل k والأرض، r_k : نصف قطر الناقل k ، p_k : المسافة ما بين الناقل k, p

$R_{p'k}$: المسافة بين الناقل النظير k' و الناقل $k-p$ طول الخط .

ξ_r : ثابت نفاذية العازلية، ξ_o : ثابت العازلية في الفراغ.

عند ثبات التوتر على الناقل ($U_1 = U_2$) ، فإن مسألة الحصول على سعة أعظمية تحدها العلاقة (8)

وتأخذ الشكل التالي : [9] .

$$(11) \max \underline{B}_1 \equiv \max (\beta_{11} + \beta_{12} \cos \theta_{12})$$

بتحليل هذه المتراحة ، نجد أن القيمة الأعظمية للناقلية السعوية تتعلق بالدرجة الأولى بقيمة ثابت التحريض

β ، و بزوايا الانزياح الطوري θ . من خلال العلاقات السابقة المحددة لقيمة السعة الواحدية نجد أن ثوابت التحريض β

تتعلق بثوابت الكمون الكهربائية α ، و التي تزداد عند تقريب ناقل الأطوار من بعضها البعض ، و هذا بدوره يؤدي

إلى زيادة β ، و بالتالي زيادة السعة الواحدية . الثابت β_{12} كقيمة مطلقة يزداد في حالة تقليص المسافة ما بين الناقل

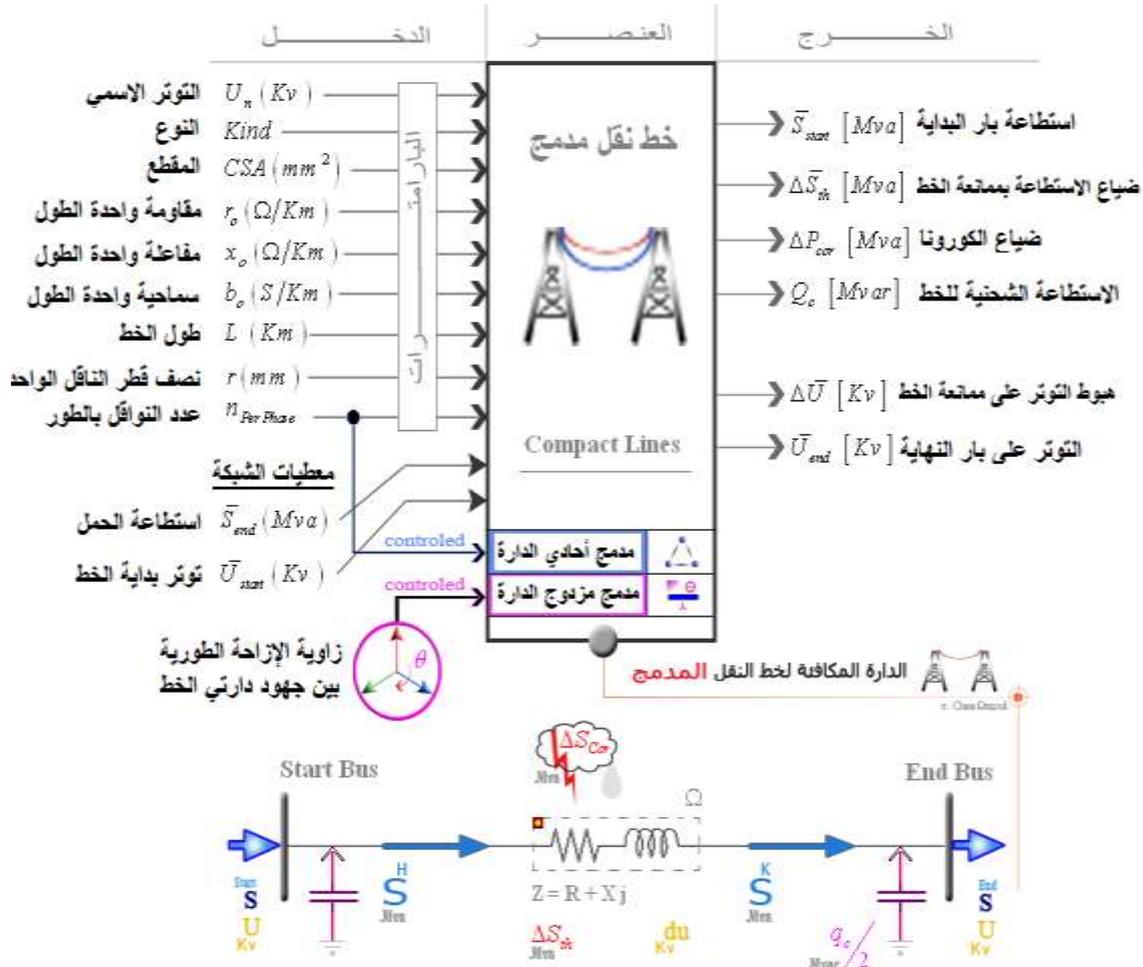
لسببين : زيادة العامل α_{12} في بسط الكسر الموجود بالعلاقة (9) ، و بالتالي نقصان مخرج الكسر .

بالنتيجة نجد أن الناقلية السعوية تزداد مع زيادة عدد النواقل ، و تقلص المسافة الفاصلة فيما بينها ، وعند زاوية انزياح للقيم الشعاعية للتوترات على النواقل بالمجال $\theta > 90$.

من هنا نجد أن العوامل التي تعمل على خفض الممانعة التحريضية هي نفسها التي تعمل على زيادة الناقلية السعوية ، و بالتالي تخفيض الممانعة الموجية ، و تحسين نظام الاستطاعة الطبيعية في خط النقل .

الموديل الرياضي لخطوط نقل الطاقة المدمجة :

يبين الشكل (6) الموديل الرياضي الذي تم وضعه لتمثيل خط النقل المدمج (أحادي و مزدوج الدارة) حيث تربط مجموعة من العلاقات الرياضية بين بارمترات دخل و خرج عنصر خط النقل المدمج الممثل بالدائرة المكافئة الموضحة بالشكل .



الشكل (6) : الموديل الرياضي لخطوط نقل الطاقة المدمجة الأحادية و مزدوجة الدارة .

الاستطاعة الشحنة المولدة في خط النقل المدمج :

$$q_c/2 = 0.5 \times U_n^2 \times b_o \times L \quad (12)$$

الممانعة المكافئة لخط النقل المدمج :

$$R_L = r_o \times L \quad (\Omega) \quad , \quad X_L = x_o \times L \quad (\Omega) \quad (13)$$

سريان الاستطاعة في خط النقل المدمج :

$$\begin{aligned} \bar{S}^K &= \bar{S}_{end} - j \frac{q_c}{2} \\ \bar{S}_{start} &= \bar{S}^K + \left(\frac{|\bar{S}^K|}{U_n} \right)^2 \times (R_L + X_L j) - j \frac{q_c}{2} \end{aligned} \quad (14)$$

هبوط التوتر في ممانعة خط النقل المدمج :

$$\begin{aligned} U_{end} &= U_{start} - \Delta \bar{U}_L \\ \Delta \bar{U}_L &= \frac{P^H \cdot R_L + Q^H \cdot X_L}{U_{start}} + \frac{P^H \cdot X_L - Q^H \cdot R_L}{U_{start}} j \end{aligned} \quad (15)$$

كما هو مبين بالشكل فإن بارامترات خط النقل المدمج أحادي الدارة يتم التحكم بها من خلال تشعيب نواقل الأطوار حسب الشروط المسموحة $(r_o, x_o, b_o) = f(n / Phase)$ ، أما في خط النقل المدمج ثنائي الدارة فإن دارات التحكم بزواوية الانزياح الطورية للأطوار تشكل المتحكم الرئيسي ببارامترات الخط $(x_o, b_o) = f(\theta)$.

برنامج لمحاكاة خطوط النقل المدمجة و أثر استخدامها

إن تقييم الأداء الفني للشبكة الكهربائية في حالة نظام العمل الطبيعي يتمثل بحل لمسألة سريان الحملية لهذه الشبكة Load flow problem . تهدف دراسة سريان الحملية إلى تحديد أداء المؤشرات الكهربائية في النقاط المختلفة من الشبكة تحت الشروط الموجودة والمتوقعة لحالة التشغيل الطبيعية ، [10] .

قمت بوضع برنامج حاسوبي مبرمج بلغة البرمجة Delphi ، يسمح بنمذجة شبكات التوتر العالي و المتوسط بحالات مختلفة من أنواع خطوط النقل (العادية و المدمجة) ، ويقوم بتحليل الأداء الكهربائي (حل مسألة سريان الحملية) في حالة نظام العمل الطبيعي فقط . و فيما يلي جدولاً برموز العناصر الكهربائية المتاحة بالبرنامج و التي تمكن المستخدم من خلال خاصية السحب و الإفلات من نمذجة الشبكة الكهربائية المراد تحليل عملها :

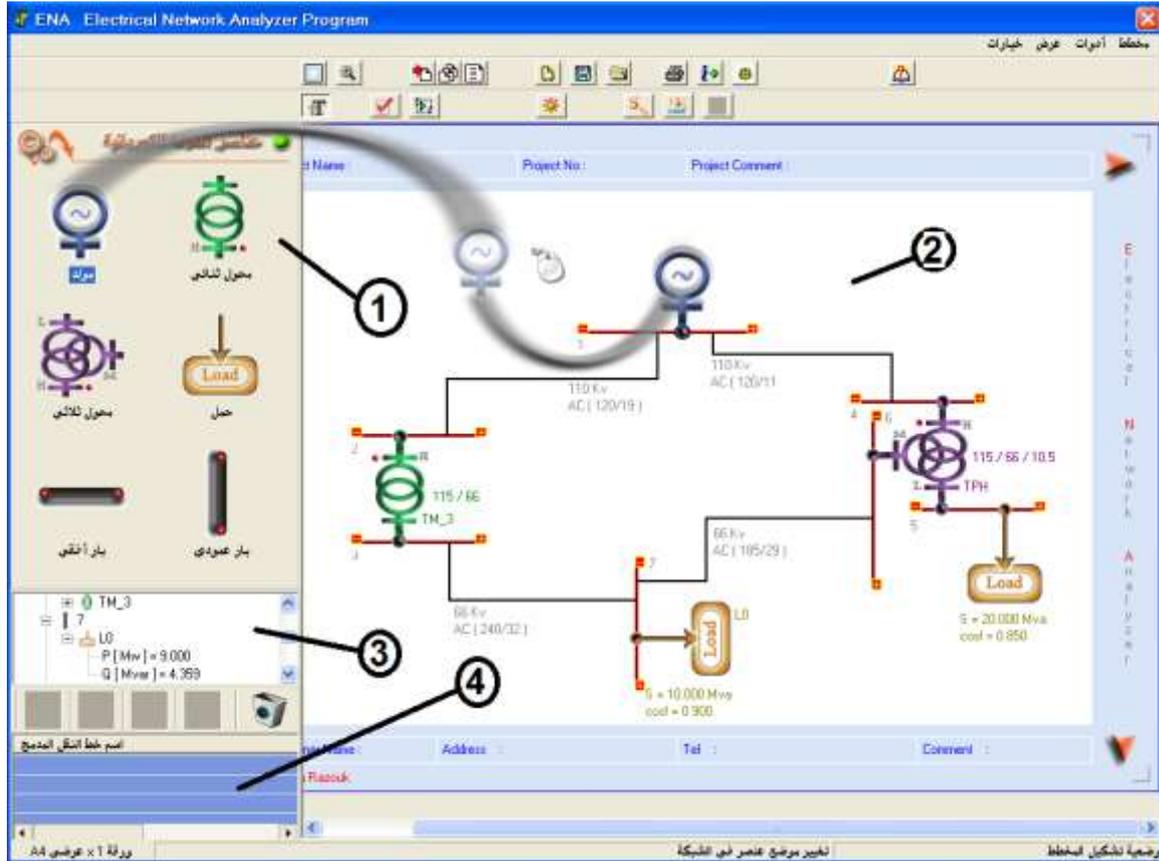
جدول (1) : العناصر الكهربائية التي يمكن استخدامها في البرنامج .

العنصر	الرمز	العنصر	الرمز
المولدات		الأحمال	
المحولات الثنائية		المحولات الثلاثية	
خطوط النقل العادية و المدمجة		البارت الأفقية و العمودية	

يتمتع هذا البرنامج بالميزات التالية :

1. إمكانية نمذجة شبكات التوتر العالي و المتوسط (الشعاعية أو المغلقة) أو كلاهما معا .
2. العدد الأقصى من العناصر الممكن استخدامها في تمثيل شبكة ما هو 100 للمولدات ، و 100 للمحولات الثنائية أو الثلاثية ، 1000 لخطوط النقل بنوعها العادي و المدمج ، 1500 للأحمال .

3. تم تزويد البرنامج بقاعدة بيانات مفتوحة (قابلة للتوسيع و التعديل) ، من أجل تلقي قيم البارامترات الأولية لعناصر الشبكة المدروسة .
 4. إمكانية استبدال خطوط نقل الطاقة (العادية) للشبكة المدروسة بخطوط نقل الطاقة (المدمجة) ، و التحكم ببارامترات هذه الأخيرة .
 5. إمكانيات برمجية واسعة ، أهمها إمكانية حفظ المشاريع المطبقة على هذا البرنامج و تحميله ، وإنشاء تقرير كامل قابل للطباعة ، يتضمن مخططات الشبكة و بارامترات العناصر المكونة لها مع نتائج تحليل النظام .
- يبين الشكل (7) الواجهة الرئيسية للبرنامج والمكونة من :



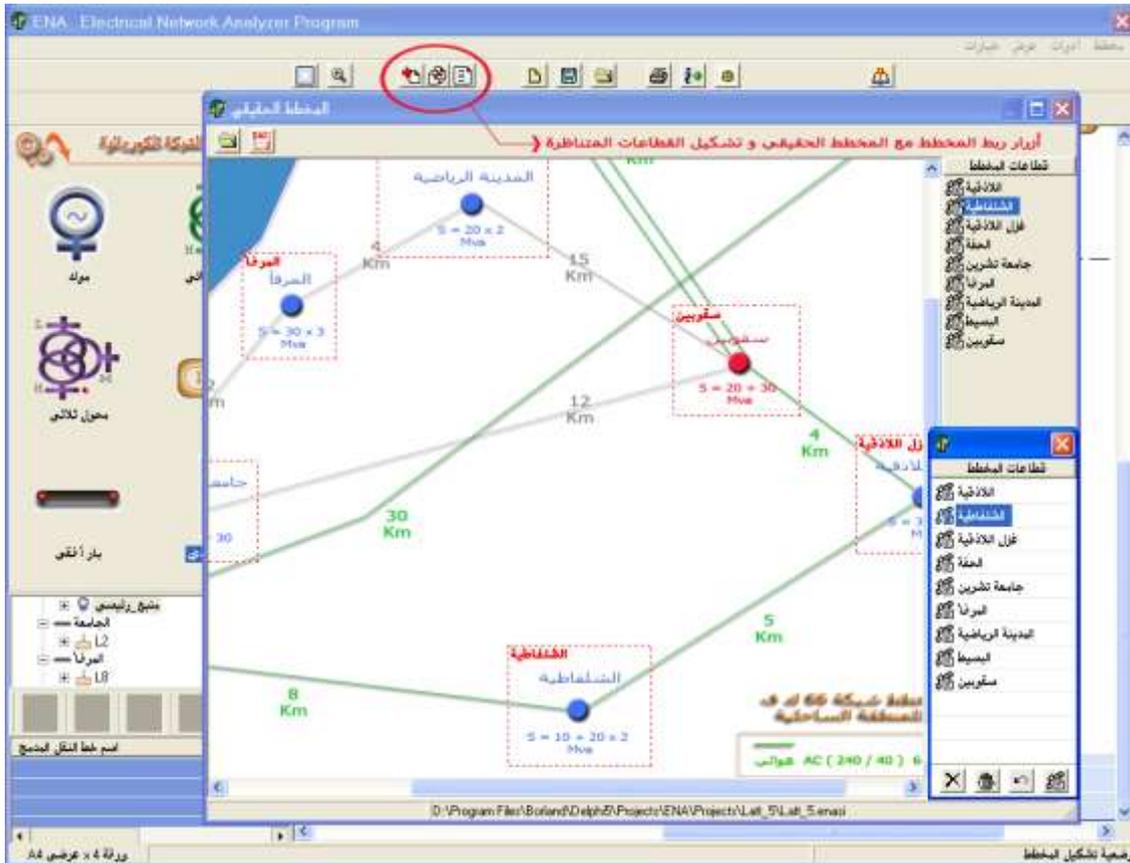
الشكل (7) : النافذة الرئيسية للبرنامج .

- 1 - قائمة العناصر الرئيسية : يمكن من خلال هذه القائمة إدراج العناصر الرئيسية المكونة للشبكات الكهربائية عن طريق السحب و الإفلات مع إمكانية تدوير العنصر .
- 2 - منطقة العمل : وهي المنطقة التي يمكن سحب العناصر الكهربائية إليها ، والربط فيما بينها عبر خطوط النقل لتشكيل مختلف أنواع الشبكات الشعاعية و المغلقة .
- 3 - شجرة المخطط : تتكون تلقائياً عند تشكيل الشبكة (سحب العناصر و إفلاتها) . تساعد هذه الشجرة في توضيح ارتباط مكونات الشبكة ، والوصول إلى بارامترات عناصرها المختلفة .
- 4 - قائمة خطوط النقل المدمجة : و تتضمن الخطوط المدمجة المدرجة بالشبكة مع عرض لنوع هذه الخطوط (أحادية أو مزدوجة) ، وطريقة التحكم ببارامتراتهما .

يتم تشكيل شبكة كهربائية على البرنامج من خلال سحب العناصر الكهربائية الموجودة في قائمة العناصر الرئيسية ، وإفلاتها فوق منطقة العمل . مع الإشارة إلى أنه يمكن تدوير العنصر المسحوب حسب الاتجاه المرغوب . ثم بالانتقال إلى وضعية خطوط النقل يمكن ربط هذه العناصر مع بعضها لتشكيل مختلف أنواع الشبكات الشعاعية ، والمغلقة ، مع العلم أن البرنامج يقوم برفض الحالات التي يتم فيها قصر أحد البارات ، لأن البرنامج يقوم بالنهاية بتحليل الأداء الفني للشبكة الكهربائية في حالة نظام العمل الطبيعي فقط . أما لتمثيل حالات القصر و الأعطال فلا بد من تحسين أداء هذا البرنامج وتطويره .

النتائج و المناقشة :

شبكة الـ 66 ك ف لمدينة اللاذقية ، هي شبكة تعمل بنظام نصف حلقي . أي يمكن أن تعمل كشبكة شعاعية، ولكن ولتأمين موثوقية التغذية تم تجهيزها لإمكانية الوصل الحلقي . خلال دراستي للأداء الفني لهذه الشبكة اعتبرت أنها شبكة حلقيه وفق مبدأ دراسة أصعب الحالات الممكنة من حيث إعداد الدراسة التحليلية للشبكة . يبين الشكل (8) نمذجة شبكة الـ 66 ك ف لمحافظة اللاذقية على هذا البرنامج



الشكل (8) : نمذجة شبكة الـ 66 ك ف على البرنامج .

المرحلة الاولى تتضمن تحليل الشبكة على وضعها الراهن (من دون خطوط مدمجة) ، يظهر البرنامج نتائج التحليل التي تبين الضياع الكلي للاستطاعة في أفرع الشبكة كما هو اوضح بالشكل (9) .

الفرع	الصف	dS (Thermal) Mva	dP (Corona) Mw	dU (Kv)
سقوبين <---> البسيط	Usual	0.763+2.581i	0	3.605+3.003i
اللاذقية <---> الجامعة	Usual	1.271+3.756i	0	2.005+1.66i
اللاذقية <---> المرفأ	Usual	0.926+2.732i	0	0.807+0.667i
اللاذقية <---> الشلفاطية	Usual	1.318+4.522i	0	2.598+2.238i
اللاذقية <---> الغزل	Usual	0.213+0.78i	0	0.971+0.8i
المرفأ <---> مدينة رياضية	Usual	0.473+1.397i	0	0.815+0.675i
سقوبين <---> مدينة رياضية	Usual	0.565+1.675i	0	-1.723-1.432i
سقوبين <---> الغزل	Usual	0.016+0.116i	0	0.224+0.264i
سقوبين <---> الجامعة	Usual	0.427+1.267i	0	-1.34-1.114i
اللاذقية <---> الحفة	Usual	0.739+2.494i	0	4.539+3.659i
		ضياح الاستطاعة الكلي في الشبكة (Mva)		6.711 + 21.320 j
		مجموع هبوطات التوتر في أفرع الشبكة (Kv)		12.501 + 10.420 j

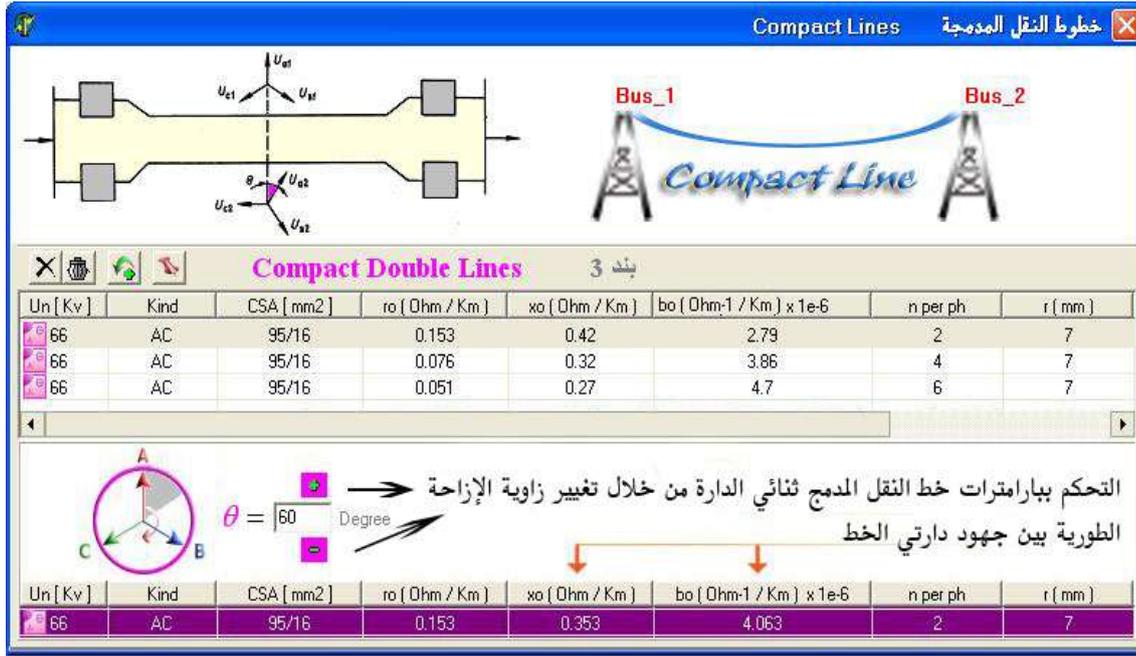
الشكل (9) الضياح الكهربائي و هبوط التوتر على أفرع الشبكة والمجموع الكلي للضياحات .

في المرحلة الثانية سوف نقوم باستبدال خط النقل العادي (اسقوبين - المدينة الرياضية) من الشبكة المدروسة بخط نقل مدمج مزدوج الدارة ذي البارامترات الموضحة بالجدول (2) .

جدول (2) : بارامترات خط النقل المدمج المستخدم .

U_n (Kv)	CSA (mm ²)	r_o (Ω/Km)	$x_o[\theta=0^\circ]$ (Ω/Km)	$b_o[\theta=0^\circ]$ (Ω^{-1}/Km)	$x_o[\theta=180^\circ]$ (Ω/Km)	$b_o[\theta=180^\circ]$ (Ω^{-1}/Km)	n PerPhase	r (mm)
66	AC 95 / 16	0.051	0.27	4.70×10^{-6}	0.05	24.2×10^{-6}	6	7

يمكن اختيار نوع خطوط نقل الطاقة (المدمجة) و بارامترات و توتراتها مباشرة في البرنامج من خلال قاعدة البيانات المبينة بالشكل (10) للخطوط المدمجة مزدوجة الدارة



الشكل (10) : نافذة قاعدة بيانات خطوط النقل المدمجة مزدوجة الدارة .

الجدول (3) يبين نتائج التحليل للمرحلة الثانية عند قيماً مختلفة لزاوية الإزاحة الطورية بين جهود دارتي خط النقل المدمج (اسقوبين - المدينة الرياضية) مزدوج الدارة الذي تم استبداله .

الجدول (3) : نتائج التحليل قبل و بعد استبدال الخط العادي (اسقوبين - المدينة الرياضية) بخط مدمج .

رقم المرحلة	الخط المدمج	النوع	وسيلة التحكم بالبارامترات	ضياح الاستطاعة الكلي في الشبكة Mva	نسبة مئوية لتقليل الضياح في الشبكة	
					ردي	فعلي
1	لا يوجد	----	----	6.711+j21.32	0 %	0 %
2	(اسقوبين - المدينة الرياضية)	مزدوج الدارة Ac (95 / 16) n=6		5.79 + j 19.76	13.72 %	7.32 %
				5.74 + j 19.11	14.47 %	10.37 %
				5.73 + j 16.7	14.62 %	21.67 %

في المرحلة الثانية بعد استبدال خط النقل (اسقوبين - المدينة الرياضية) من نوع العادي إلى المدمج و عند

زاوية $\theta = 0^\circ$

- قلَّت الضياحات الفعلية في الشبكة من القيمة (6.711 Mw) إلى القيمة (5.787 Mw) أي بنسبة (13.72 %) من قيمتها قبل الاستبدال .
- قلَّت الضياحات الرديّة في الشبكة من القيمة (21.32 Mvar) إلى القيمة (19.759 Mvar) أي بنسبة (7.32 %) من قيمتها قبل الاستبدال .

عند زاوية $\theta = 60^\circ$

- قلَّت الضياعات الفعلية في الشبكة من القيمة (6.711 Mw) إلى القيمة (5.743 Mw) أي بنسبة (14.47 %) من قيمتها قبل الاستبدال .
- قلَّت الضياعات الرديّة في الشبكة من القيمة (21.32 Mvar) إلى القيمة (19.109 Mvar) أي بنسبة (10.37 %) من قيمتها قبل الاستبدال .
عند زاوية $\theta = 180^\circ$
- قلَّت الضياعات الفعلية في الشبكة من القيمة (6.711 Mw) إلى القيمة (5.737 Mw) أي بنسبة (14.62 %) من قيمتها قبل الاستبدال .
- قلَّت الضياعات الرديّة في الشبكة من القيمة (21.32 Mvar) إلى القيمة (16.703 Mvar) أي بنسبة (21.67 %) من قيمتها قبل الاستبدال .

الاستنتاجات و التوصيات :

- عند استخدام خط نقل مدمج ثنائي الدارة يملك وسيلة تحكم بزوايا الإزاحة الطورية (θ) فإن تقليل الضياعات الكهربائية الكلية في الشبكة التي تحوي هذا الخط ، وكذلك تقليل هبوطات التوتر الكلية في أفرعها يتحقق عند زيادة زاوية الإزاحة الطورية بين جهود دارتي الخط من القيمة $\theta = 0^\circ$ إلى القيمة $\theta = 60^\circ$.
- إن تقليل الضياعات الكهربائية في خطوط النقل أثناء نقل الطاقة عند استبدال أحد الخطوط من النوع العادي إلى المدمج يثبت فعالية هذه التصاميم من حيث قدرتها التمريرية و العالية للاستطاعة الفعلية انطلاقاً من تحسين بارامترات خطوط النقل الأساسية و المتمثلة بالتحريضية الردية و السماحية السعوية . في هذا المجال تعتبر الخطوط الهوائية عنصراً سلبياً كون عناصرها لا تشارك في التأثير في نظم عمل الشبكات الكهربائية ، أثبتنا في هذا البحث إمكانية التأثير الفعال في التحكم بنظم عمل الخطوط نتيجة التأثير في عناصر الخط الأولية و ذلك باستخدام نماذج مختلفة للخطوط المدمجة ولا سيما الخطوط التي تحوي وسائل انزياح زوايا بين أطوار الدارات المختلفة ، و بالنتيجة و باستخدام تلك الخطوط ساعد على تحويل عناصر الخطوط الهوائية من عنصر سلبي إلى عنصر فعال يمكن التحكم به حسب الحاجة .
- ينصح بالتوجه إلى تحسين الأداء الفني للشبكات المناطقية و المحلية في القطر العربي السوري عن طريق تقليل الضياعات الكهربائية عبر استخدام خطوط النقل المدمجة مما يساهم في زيادة قدرة التمرير و تقليل سعة تجهيزات تعويض الاستطاعة الردية المزودة بها هذه الشبكات ، الأمر الذي يتماشى مع الحاجة إلى ترشيد استهلاك الطاقة و الحفاظ عليها .
- عادة ما يتم شراء برامج ذات تكلفة عالية جداً من قبل قسم الدراسات التابع لمديريات الكهرباء في محافظات القطر لغرض مراقبة عمل الشبكات الكهربائية المحلية و المناطقية و حل مسألة جريان الحمولة لها ، لذلك ينصح هذه الجهات بالاطلاع على البرنامج الذي قمت بتصميمه في هذا البحث لأنه يلبي نفس الغاية التي تعطيها تلك البرامج المستوردة من الشركات الأجنبية .

المراجع:

- 1 - د. اسير، جورج . تحليل الشبكات الكهربائية . الطبعة الثالثة ، منشورات جامعة تشرين، سوريا ، اللاذقية، 1993 ، 308 .
- 2- DOUGLASS, D.J.; STEWART, *Introduction to compact lines in EPRI Transmission Line Reference Book — 115-345kV Compact Line Design*. Electric Power Research Institute, USA,2008, 386.
- 3 MUNUSAMY,S.,2014,25Aug.2015.“http://www.iasem.org/publication_conf/ asem15/2.ICSCS15/2t/T3C.04.SC156_1701F.pdf”.
- 4- АЛЕКСАНДРОВ, Г.Н. *Новые средства передачи электроэнергии в энергосистемах*. Лениград, 1987, 106 .
- 5- ФЕДИН, В.Т. ; ГАЛАВАЧ, Ю.Л. *Электропередачи переменного тока повышенной мощности* . найка и техника , минск, 1993, 400 .
- 6- ВЕНИКОВ, В.А. ; РЫЖОВ, Ю.П. *Дальние электропередачи переменного и постоянного тока*. Москва, 1985,560 .
- 7- АСТАХОВ, Ю.Н. ; ВЕНИКОВ, В.А. *Основные принципы создания и технические характеристики управляемых самокомпенсирующихся электропередачи*. Электричество, 1977, 112 .
- 8-ПОСПЕЛОВ, Г.Э. ; ФЕДИН, В.Т. *Возможности компактных управляемых электропередачи*. Энергетика и транспорт, 1985,330 .
- 9-ПОСПЕЛОВ, Г.Э. ; ФЕДИН, В.Т. *Электрические системы и сети*. Вышэйшая, Минск, 1988 .
- 10 -GRAINGER, J.G. ; STEVENSON, W.D. ,*Power system analysis* . 2nd . ed.,Mcgraw& hill, London, 1994, 476 .