

## الطريقة الرياضية لتحسين بارامترات خطوط نقل الطاقة الكهربائية

الدكتور فيصل شعبان\*

الدكتور علاء الدين حسام الدين\*

( قبل للنشر في 2002/11/19 )

### □ الملخص □

بعد التطور الكبير الذي شهده قطرنا العربي السوري في مجال توليد الطاقة الكهربائية دعت الحاجة إلى التوسع بشبكات النقل بتوترات عالية لتواكب التوسع الكبير في المشاريع الخدمية والزراعية والصناعية والتجارية . لكن النقل بتوترات عالية يترتب عليه آثار سلبية عديدة على البيئة والوسط الخارجي .

في بحثنا تم معالجة إمكانية زيادة قدرة الشبكات الكهربائية في نقل الطاقة الكهربائية دون الحاجة لرفع سوية التوتر الاسمي ، وذلك من خلال زيادة قيمة التيار المسموح بنقله في خطوط النقل انطلاقاً من التأثير على بارامترات الخط الرئيسية و المتمثلة بالمانعة التحريضية و الناقلية السعوية بدون استخدام أية وسائل إضافية (وسائل تعويض الاستطاعة الردية ، وسائل تنظيم التوتر ) .

النتائج بينت إمكانية تقليل الممانعة الردية وزيادة الناقلية السعوية في خط أحادي الدارة من خلال زيادة عدد النواقل في الطور الواحد و تقليص المسافة الفاصلة بين نواقل الأطوار المختلفة إلى الحد الذي تسمح به شروط الكورونا والتوترات الزائدة ، أما في الخطوط ثنائية الدارة فقد تم بلوغ النتيجة السابقة من خلال تغيير زاوية الانزياح بين أطوار الدارات المختلفة بالإضافة للعوامل السابقة . وهذا يؤدي إلى تحسين قدرة الخط على نقل الاستطاعة الفعلية للمستهلك بدون الحاجة إلى رفع توتر النقل وبالتالي تقادي التكاليف المادية الكبيرة والأضرار الاجتماعية المتمثلة في ملكية الأراضي الزراعية الواقعة في حرم خطوط التوتر العالي .

\* مدرس في قسم هندسة الطاقة - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سوريا

## Mathematic Method To Improve The Parameters Of Electric Power Transmission Lines

Dr. Faisal Chaaban \*  
Dr. Ala Addin Husam Eldin \*

(Accepted 19/11/2002)

### □ ABSTRACT □

After the great development in Syrian Arab Republic in the field Electric of power generation there is a need to extend the high voltage transmission networks to suit the extended growing in service projects and industrial and commercial projects . But the transmission through high voltage networks have many negative effects on the environment .

In our research we developed the ability of increasing the capability of networks to transmit the power without the need to increase the nominal voltage through increasing the value of permissible current transmitted by the transmission lines . this arrangement can be done by the effect on the main line parameters which are represented by the inductive impedance and conductive capacitance without using any additional equipments ( reactive power compensation equipments , equipments of voltage control ) .

The results showed the ability of decreasing the inductive impedance and increasing the conductive capacitance through increasing the number of conductors in the phase and decreasing the distance between conductors of the different phases to level which is allowed by corona, in addition to the control of shifting angle between the radial values of phases voltages or current of the different circuits .This lead to improve the capability of the line to transmit the active power to customers , without need to increase transmission voltage , and then avoid the great cost and social damage represented by the own of agrarian lands in the area of high voltage lines path.

---

\* Lecturer at Electrical Engineering Department - Faculty of Mechanical & Electrical Engineering Tishreen University - Lattakia - Syria

## مقدمة :

الخطوط الهوائية هي أحد العناصر الأساسية في نظام نقل الطاقة الكهربائية من منابع الطاقة المختلفة إلى المستهلك. كما أنها تشكل حلقة اتصال أو شبكة ربط بين أنظمة كهربائية عالية الاستطاعة ، لهذا تركز جهد الباحثين في مختلف المعاهد و المراكز العلمية على تطوير آلية نقل الطاقة الكهربائية من خلال العمل على زيادة قدرتها التمريضية من الاستطاعة الفعلية و تحسين خصائصها الوظيفية . لأجل ذلك تم اعتماد مجموعة من التدابير منها : زيادة سوية التوتر الاسمي ؛ تعويض الاستطاعة الردية ؛ التوسع بشبكات الربط ؛ استخدام الأطوار المشطورة ( الطور الواحد مؤلف من ناقلين أو أكثر تبعاً لسوية التوتر الاسمي ) [1].

في التسعينات وبعد الاهتمام الكبير الذي أولاه القائد الخالد حافظ الأسد فإن قطاع الطاقة الكهربائية شهد تطوراً هاماً من خلال التوسع في بناء محطات التوليد الكهربائية و شبكات النقل بتوترات عالية لتواكب التوسع الكبير في المشاريع الخدمية والزراعية و الصناعية و التجارية . لكن هذا التوسع بشبكات النقل ذات التوترات العالية يترتب عليه آثار سلبية عديدة على البيئة و الوسط الخارجي . على سبيل المثال لا الحصر قطع الأشجار في حال مرور خط النقل ضمن الغابات ، كذلك نزع ملكية الأراضي الزراعية المروية و غير المروية ، بالإضافة إلى التأثير السلبي لشدة الحقل الكهرومغناطيسي المتشكل حول الناقل على الكائنات الحية لاسيما الصحة البشرية . فلقد دلت الدراسات على وجود علاقة بين التعرض للحقل الكهرومغناطيسي الناتج عن خطوط نقل الطاقة الكهربائية و بين بعض أنواع الأمراض السرطانية. لهذا فإن بعض الدول المتقدمة وضعت ضوابط لشدة التيار المسموح بنقله بين محطات التحويل [ 2 ] .

انطلاقاً مما ذكر فإن بحثنا يتركز حول إمكانية زيادة قدرة الخطوط الهوائية في نقل الاستطاعة الفعلية و ذلك من خلال زيادة التيار المسموح به مع ثبات قيمة التوتر الاسمي بالتأثير على بارامترات الخط الرئيسية و المتمثلة بالممانعة الردية و الناقلية السعوية بدون استخدام أية وسائل إضافية ( وسائل تعويض الاستطاعة الردية ، وسائل تنظيم التوتر ) .

## الغاية من البحث :

ينحصر هدف البحث في تحليل الوسائل و الطرق المؤدية لتحسين بارامترات الخطوط الهوائية و المتمثلة بالدرجة الأولى بالممانعة التحريضية و الناقلية السعوية و التي تؤدي دورها إلى إمكانية زيادة القدرة التمريضية لخطوط نقل الطاقة الكهربائية من خلال زيادة التيار المسموح به عند قيمة ثابتة للتوتر الاسمي .

### الدراسة التحليلية للبحث :

من المعلوم أن الاستطاعة المنقولة خلال واحدة السطح للناقل تتعلق بعاملين أساسيين هما شدة الحقل الكهربائي و المغناطيسي حول نواقل أطوار خط النقل، لهذا ينبغي رفع قيم شدة الحقل الكهربائي والمغناطيسي لأجل زيادة الاستطاعة المنقولة [ 3 ] .

يتم زيادة قيم شدة الحقل المغناطيسي عند ثبات المقطع من خلال زيادة تيار الحمل المار بالخط . غير أنه توجد محددات تقنية لزيادة تيار الحمل ( سخونة الناقل ) و محددات اقتصادية ( قيمة ضياع الاستطاعة ) ، لكن إلى حد ما يمكن تجاوز هذه المحددات باستخدام الناقلية الزائدة في الخطوط (طريقة تشعيب الأطوار إلى عدة نواقل ) [ 4 ] .

أما قيمة شدة الحقل الكهربائي فتتعلق بالتوتر المطبق على النواقل و بالعناصر الهندسية و الحسابية لخطوط نقل الطاقة الكهربائية . لكن العامل المحدد هنا هو شدة الحقل الكهربائي المسموح به ( Ed ) على سطح النواقل و المحدد بالضجيج الراديوي و بضياح الكورونا . عندئذ يجب أن نراعي أن يكون شدة الحقل الكهربائي ( E ) على سطح النواقل تساوي أو اصغر من قيمة شدة الحقل الكهربائي المسموح أي  $E \leq Ed$  .

في الخطوط الهوائية العادية ذات التوتر  $U_n \leq 20 \text{ KV}$  فإن شدة الحقل الكهربائي أقل من شدة الحقل المسموح به وبالتالي زيادة الاستطاعة المرسله يمكن بلوغها بزيادة القيم المطلقة للحقل E . أما عند توترات  $U_n \geq 220 \text{ KV}$  فإن قيم شدة الحقل تساوي تقريباً  $E_d$  و بالتالي فإن إمكانية زيادة E أقل بكثير . في هذه الحالة الزيادة الإضافية في الاستطاعة المرسله تتحقق بتعديل شدة الحقل الكهربائي في الفراغ الفاصل ما بين الأتوار . كما هو معلوم لدينا فإن الاستطاعة الفعلية الحدية الممكن نقلها في خط يتساوى فيه توتر البداية و توتر النهاية ( المقاومة الفعلية r مهملة ) تتحدد بالعلاقة التالية [ 1 ] :

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

حيث أن :

$U_n$  - التوتر الاسمي [kv] ؛  $Z_b$  - الممانعة الموجية [ W ] ؛ - طول الخط [km] ؛

X - ممانعة الخط بدون استخدام وسائل تعويض الاستطاعة الردية [W/km] ؛

l - الطول الموجي للخط و بحسب بالعلاقة التالية :  $l = \frac{W}{3 \times 10^6} \times l$  ؛

$P_n$  - الاستطاعة الطبيعية ( تمثل نظام عمل تتساوى عنده الاستطاعة الردية المولدة و المستهلكة في الخط ) [Mw].

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 . وتعطالممانعة الموجية للخطوط الهوائية عند إهمال المقاومة الفعلية بالعلاقة المعروفة التالية :

$$Z_B = \sqrt{\frac{L_o}{C_o}}$$

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 .

في هذا البحث 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 دارات كهربائية . عندئذ الممانعة التحريضية للنواقل المتوضعة في نظام مؤلف من (n) ناقل يمكن حسابها بالعلاقة التالية [4]:

$$\underline{x}_{o,i} = w \times \underline{L}_i = w \times \sum_{j=1}^n \frac{e}{e} a M_{ij} \frac{I_j}{I_i} \dot{u} = w \times \sum_{j=1}^n \frac{e}{e} M_{ii} + \sum_{j=1}^n a M_{ij} \frac{I_j}{I_i} \dot{u} \quad (2)$$

$$\underline{x}_{o,i} = w \times \underline{L}_i = w \times \sum_{j=1}^n \frac{e}{e} M_{ii} + \sum_{j=1}^n a M_{ij} \frac{I_j}{I_i} e^{jq} \dot{u}$$

حيث إن :  $I_i, I_j$  - هي التيارات في النواقل  $i, j$  ؛

$M_{ii}$  - التحريضية الذاتية للنواقل  $i$  ؛

$M_{ij}$  - التحريضية المتبادلة بين النواقل  $i, j$  ؛

$q_{ij}$  - 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 ( 2 ) تأخذ الشكل التالي :

$$\text{Re } \underline{x}_{o,i} = \text{Re } w \times \underline{L}_i = w \times \sum_{j=1}^n \frac{e}{e} M_{ii} + \sum_{j=1}^n a M_{ij} \cos q_{ij} \dot{u} \quad (3)$$

التحريضية الذاتية و المتبادلة تتحددان بالعلاقات التالية [4] :

$$M_{ii} = \sum_{j=1}^n \frac{e}{e} 2 \ln \frac{1}{r_i} + 0.5 m \frac{\dot{u}}{\dot{u}} \times 10^{-4}$$

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

حيث إن :

$r_i$  - نصف قطر الناقل  $i$  ؛  $D_{ij}$  - المسافة الفاصلة بين النواقل  $i$  و  $j$  ؛

$m$  - النفاذية المغناطيسية .

تحليل العلاقات السابقة يقودنا إلى نتيجة مفادها إن 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 ( 3 ) يمكن أن يعبر عنها بالشكل التالي :

$$\min \underline{x}_i \quad \min_{\substack{\mathcal{C} \\ \mathcal{E}}} \sum_{ii} M_{ii} + 2 * 10^{-4} \sum_{j=1, j \neq i}^n \ln \frac{1}{D_{ij}} \cos q_{ij} \quad \frac{\ddot{\theta}}{\theta}$$

من هذه العلاقة ينتج لدينا أنه عند تثبيت زوايا الإنزياح بالمجال  $90 > q_{ij}$  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  $120^\circ$ . عملياً تقريب نواقل الأطوار من بعضها البعض تتم مع مراعاة شروط التوترات الزائدة و انفراغ الكورونا . انطلاقاً مما ذكر أعلاه فإن الحصول على أقل قيمة للممانعة التحريضية للخطوط الهوائية يتم من خلال التأثير على ثلاثة عوامل هي :

1. المسافة الفاصلة ما بين نواقل الأطوار المختلفة  $D_{ij}$  ؛
2. زاوية الانزياح الطوري  $q_{ij}$  ؛
3. عدد النواقل في الطور الواحد  $n$  .

بعد معالجة العوامل المؤثرة على تحريضية الخطوط الهوائية و تبيان الوسائل الفعالة للتقليل منها ، سنعالج العوامل المؤثرة على تغير سعة الخطوط الهوائية لنظام مبسط مؤلف من ناقلين في الطور الواحد . سعة الناقل تتحدد على أساس نظم معادلات ماكسويل للطاقة الكامنة [ 3 ] :

$$\underline{U}_1 = a_{11} \underline{q}_1 + a_{12} \underline{q}_2$$

$$\underline{U}_2 = a_{21} \underline{q}_1 + a_{22} \underline{q}_2$$

حيث إن :

$U_1, U_2$  - الجهود الكهربائية على النواقل 1 , 2 ؛

$q_1, q_2$  - الشحن الكهربائية على النواقل 1, 2 ؛

$a_{11}, a_{12}$  - ثوابت .

من هنا يمكن الحصول على :

$$\underline{C}_1 = \frac{q_1}{U_1} = b_{11} + b_{12} \frac{U_2}{U_1} e^{jq_{12}} \quad (4)$$

هنا  $q_{12}$  تمثل الزاوية بين توتر الناقل 1 و 2 أي  $U_1$  و  $U_2$  ؛

$b_{11}, b_{12}$  - ثوابت التحريض الالكتروستاتيكي و تتحدد بالعلاقات التالية [ 5 ] :

$$b_{11} = \frac{a_{22}}{a_{11} a_{22} - a_{12}^2}$$

$$b_{12} = - \frac{a_{12}}{a_{11} a_{12} - a_{12}^2} \quad (5)$$

وبهذا الشكل فإن قيمة  $b_{12}$  أقل من الصفر . أما ثوابت الجهد  $a$  (ثوابت الطاقة الكامنة) تحدها العلاقات التالية [ 6,5 ] :

$$\begin{aligned} a_{kk} &= \frac{1}{2px_r x_o l} \ln \frac{2 h_K}{r_K} \\ a_{kp} &= \frac{1}{2px_r x_o l} \ln \frac{R_{pk}}{R_{pk}} \end{aligned} \quad (6)$$

هنا  $h_k$  - المسافة العمودية بين الناقل  $k$  والأرض ؛  
 $r_k$  - نصف قطر الناقل  $k$  ؛  $R_{pk}$  - المسافة ما بين الناقل  $p, k$  ؛  
 $R_{pk}$  - المسافة بين الناقل النظير  $k$  و الناقل  $p$  ؛  $l$  - طول الخط ؛  
 $x_o$  - ثابت نفاذية العازلية ؛ ثابت العازلية في الفراغ.  
 عند ثبات التوتر على الناقل ( $U_1=U_2$ ) فإن مسألة الحصول على سعة أعظمية تحدها العلاقة ( 4 ) و تأخذ الشكل التالي [ 6 ] :

$$\max \underline{B}_1 \circ \max (b_{11} + b_{12} \cos q_{12})$$

بتحليل هذه المتراجحة نجد أن القيمة الأعظمية للناقلية السعوية تتعلق بالدرجة الأولى بقيمة ثابت التحريض  $b$  و بزوايا الانزياح الطوري  $q$  . من خلال العلاقات السابقة المحددة لقيمة السعة الواحدية نجد أن ثوابت التحريض  $b$  تتعلق بثوابت الكمون الكهربائية  $a$  و التي تزداد عند تقرب ناقل الأطوار من بعضها البعض و هذا بدوره يؤدي إلى زيادة  $b$  و بالتالي زيادة السعة الواحدية . الثابت  $b_{12}$  كقيمة مطلقة يزداد في حالة تقليص المسافة ما بين الناقل لسببين : زيادة العامل  $a_{12}$  في بسط الكسر الموجود بالعلاقة ( 5 ) ، و بالتالي نقصان مخرج الكسر .  
 بالنسبة نجد أن الناقلية السعوية تزداد مع زيادة عدد الناقل و تقليص المسافة الفاصلة فيما بينها وعند زاوية انزياح للقيم الشعاعية للتوترات على الناقل بالمجال  $q > 90$  .  
 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 .

## نتائج البحث :

انطلاقاً من الطريقة الرياضية التحليلية للبارامترات الرئيسية للخط الهوائي فقد تم وضع برنامج مبسط بلغة الفورتران يسمح بحساب تلك البارامترات و ذلك عند سويات توتر مختلفة<sup>S</sup>.  
 في البداية يتم إدخال المعطيات الأولية والمتمثلة بالتوتر الاسمي  $U_n$  ، نصف قطر الناقل، عدد الناقل في الطور الواحد  $n$  ، المسافة الفاصلة بين الأطوار المختلفة  $D$  ، خطوة الانشطار ( المسافة الفاصلة بين ناقل الطور الواحد)  $d$  ، الارتفاع المسموح به للناقل عن سطح الأرض  $h$  ، شدة الحقل الكهربائي المسموح به  $E_d$  ، هذا بالنسبة للخط أحادي الدارة الذي يعتمد التصميمة المبينة على الشكل (1-a)، أما بالنسبة للخط المتشكل من دارتين ( التصميمة المبينة على الشكل ( 1-b )) بالإضافة للمعطيات السابقة يتم إدخال زاوية الانزياح  $q$  .  
 الحساب تم عند المعطيات الأولية التالية [ 7,6 ] :

<sup>S</sup> المسافات الدنيا الفاصلة بين ناقل الأطوار المختلفة تم اعتمادها من المرجع [7] .

المجال 1 ÷ 3 ، و q تتغير في المجال 0 ÷ 180<sup>0</sup> . نتائج حساب البارامترات الرئيسية لخط أحادي الدارة كتابع لتغير عدد النواقل في الطور الواحد n ، وتغير المسافة الفاصلة بين نواقل الأطوار المختلفة تم إدراجها في الجدول (1)، وفي الجدول ( 2 ) تم إدراج البارامترات الرئيسية لخط هوائي ثنائي الدارة كتابع لتغير عدد النواقل في الطور الواحد و تغير زاوية الانزياح q ( الزاوية الفاصلة بين المخطط الشعاعي الممثل للدارة الأولى والمخطط الشعاعي الممثل للدارة الثانية ) .

الجدول ( 1 ) : البارامترات الرئيسية لخط هوائي أحادي الدارة

D ,m	n	$b_o \times 10^{-6}$ W / km	$x_o$ W/km	$P_n$ Mw	$Z_b$ W
2.4	1	3.13	0.369	137	352
3		3.02	0.383	132	365
3.5		2.94	0.393	129	373
4		2.88	0.401	126	381
2.4	2	4.65	0.248	206	234
3		4.4	0.262	195	247
3.5		4.2	0.272	188	256
4		4.12	0.28	183	263
2.4	3	5.85	<b>0.198</b>	259	180
3		5.46	0.212	243	199
3.5		5.22	0.222	232	207
4		5.04	0.23	224	215

الجدول ( 2 ) : البارامترات الرئيسية لخط هوائي ثنائي الدارة .

درجة ، q	n	$b_o \cdot 10^{-6}$ W <sup>1</sup> /km	$x_o$ W/km	$P_n$ Mw	$Z_b$ W
0	1	2.53	0.468	110.7	437
120		2.82	<b>0.414</b>	125	387
180		2.91	0.395	128	376
0	2	3.4	0.353	149	324
120		3.97	0.295	171	272
180		4.15	0.275	185	260
0	3	3.918	0.308	171	281
120		4.6	0.25	207	233
180		4.87	0.23	219	220



من خلال معطيات الجدول ( 1 ) تم رسم الشكل ( 2-a ) الذي يبين تغير الممانعة التحريضية  $x_0$  والشكل ( 2-b ) يبين تغير الناقلية السعوية  $b_0$  بالنسبة لتتغير المسافة الفاصلة بين نواقل الأطوار المختلفة  $D$  وتغير عدد النواقل في الطور الواحد  $n$  . ومن خلال معطيات الجدول ( 2 ) تم رسم الشكل ( 3-a ) الذي يبين تغير الممانعة التحريضية  $x_0$  ، والشكل ( 3-b ) يبين تغير الناقلية السعوية  $b_0$  بالنسبة لتغير عدد النواقل في الطور الواحد  $n$  وتغير زاوية الانزياح  $q$  .

من الشكلين ( 2-a ) ، ( 2-b ) يظهر لنا أن المسافة الفاصلة بين نواقل الأطوار المختلفة للخط أحادي الدارة  $D$  تؤثر بشكل مباشر على قيمة الممانعة التحريضية  $x_0$  و الناقلية السعوية  $b_0$  ، حيث أنه عند قيمة ثابتة لعدد النواقل في الطور الواحد  $n$  فإن تخفيض قيمة  $D$  يرافق ذلك انخفاض في قيمة  $x_0$  و زيادة في قيمة  $b_0$  ، والعكس بالعكس صحيح . أما في الحالة التي نحافظ فيها على قيمة ثابتة لـ  $D$  فإن زيادة  $n$  يتبعه انخفاض في قيمة  $x_0$  وزيادة في قيمة  $b_0$  أي كما في الحالة السابقة ولكن بدرجة أكبر .

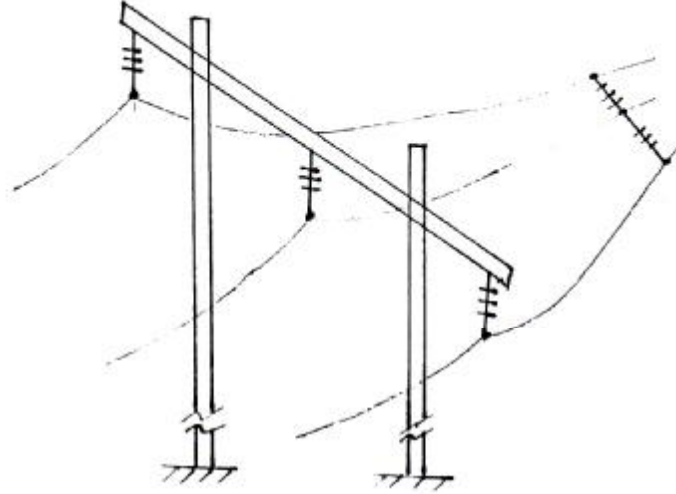
من الشكلين ( 3-a ) ، ( 3-b ) يتضح لنا تأثير زاوية الانزياح  $q$  ( الزاوية الفاصلة بين المخطط الشعاعي للدائرة الأولى والدائرة الثانية ) على بارامترات الخط الهوائي عند قيمة ثابتة لـ  $D$  و  $n$  . فعند تزايد قيمة الزاوية  $q$  فإن  $x_0$  تتناقص وبنفس الوقت تتراد قيمة  $b_0$  .

إن انخفاض قيمة الممانعة التحريضية (  $x_0$  ) وزيادة قيمة الناقلية السعوية (  $b_0$  ) في الخط الهوائي يؤدي بالنتيجة إلى تقليل قيمة الممانعة الموجية  $Z_0$  وبالتالي زيادة قيمة الاستطاعة الطبيعية للخط الهوائي  $P_n$  ( النظام الذي يوافق تساوي الاستطاعة الردية المولدة والمستهلكة في الخط الهوائي ) ، وهذا يحسن بدوره من إمكانية الخط لنقل الاستطاعة الفعلية.

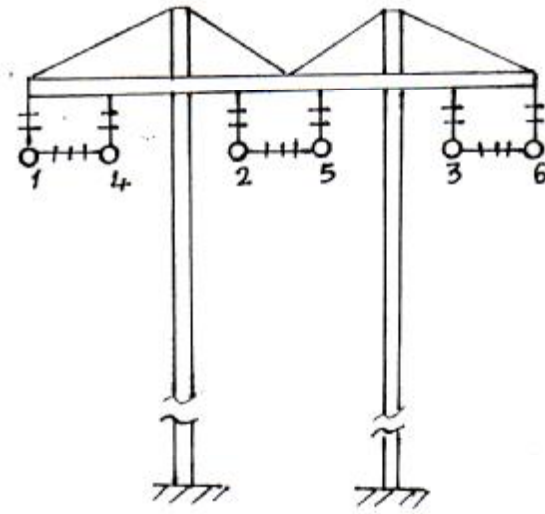
## الخلاصة :

من خلال البحث يمكن استخلاص ما يلي :

في الخطوط الهوائية أحادية الدارة فإن زيادة عدد النواقل في الطور الواحد واعتماد المسافة الدنيا الفاصلة ما بين نواقل الأطوار المختلفة بما ويتفق و شروط انقراغ الكورونا والتوترات الزائدة يؤدي إلى خفض في قيمة الممانعة التحريضية وبنفس الوقت زيادة في قيمة الناقلية السعوية للخط ، أما في الخطوط الهوائية ثنائية الدارة فيمكن بلوغ النتيجة السابقة من خلال تغيير زاوية الانزياح بالإضافة للعوامل السابقة . هذا بدوره يؤدي إلى التغيير في قيمة الممانعة الموجية و الاستطاعة الطبيعية للخط و بالتالي التحكم بقدرة الخط الهوائي على نقل الاستطاعة الفعلية للمستهلك بدون الحاجة لرفع سوية التوتر الاسمي وبالتالي تفادي الخسائر المادية الكبيرة والأضرار الاجتماعية المتمثلة باستملاك أراضي جديدة كان سيمر بها خط النقل .

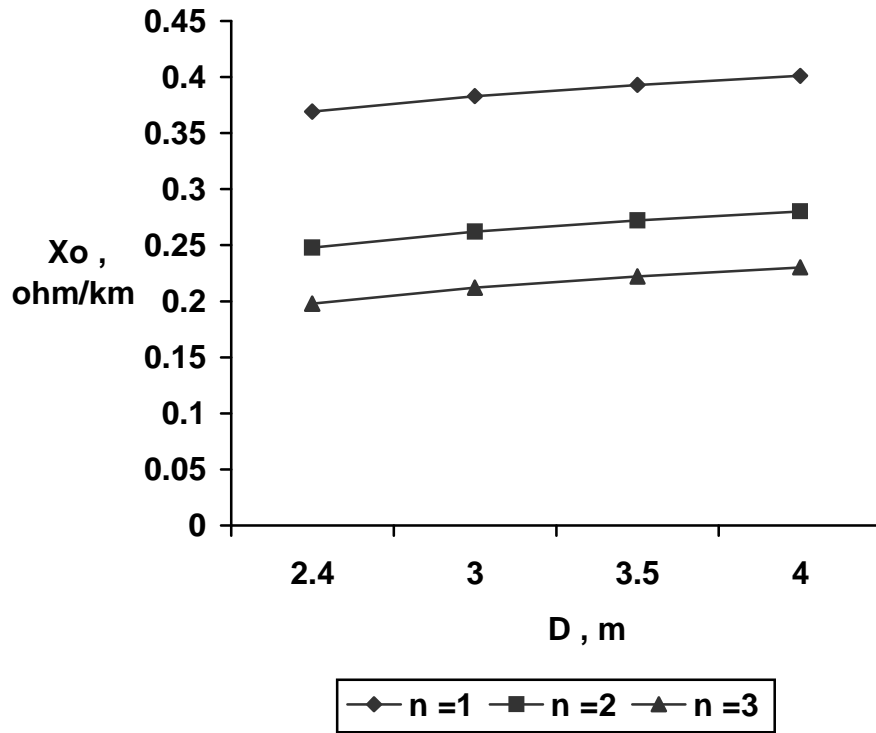


( a ) : خط هوائي أحادي الدارة .

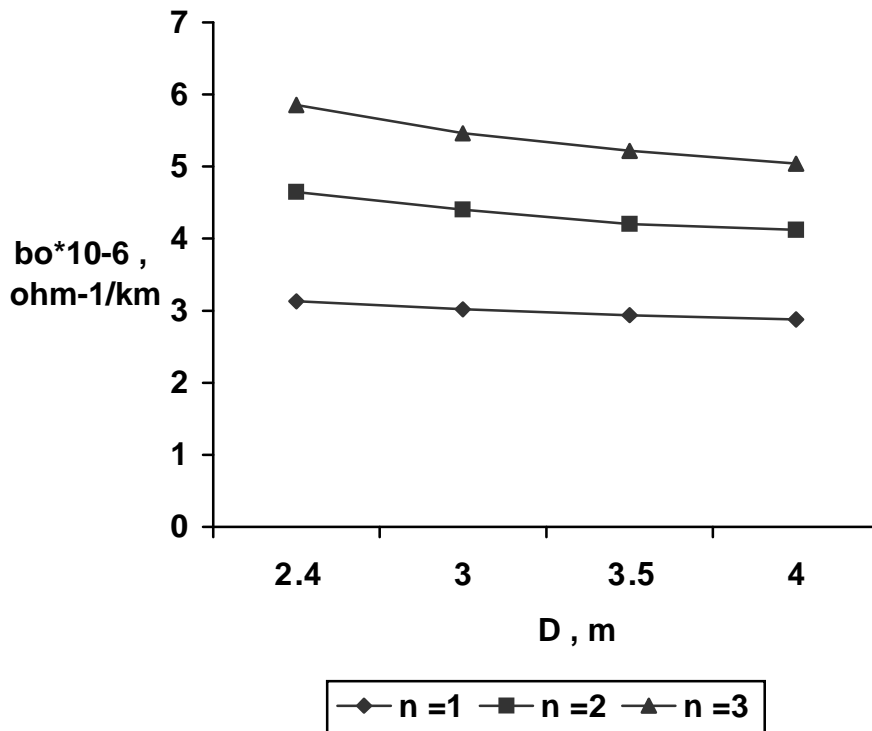


1، 2، 3 - تمثل الدارة الأولى ؛  
4، 5، 6 - تمثل الدارة الثانية .

الشكل ( 1 )

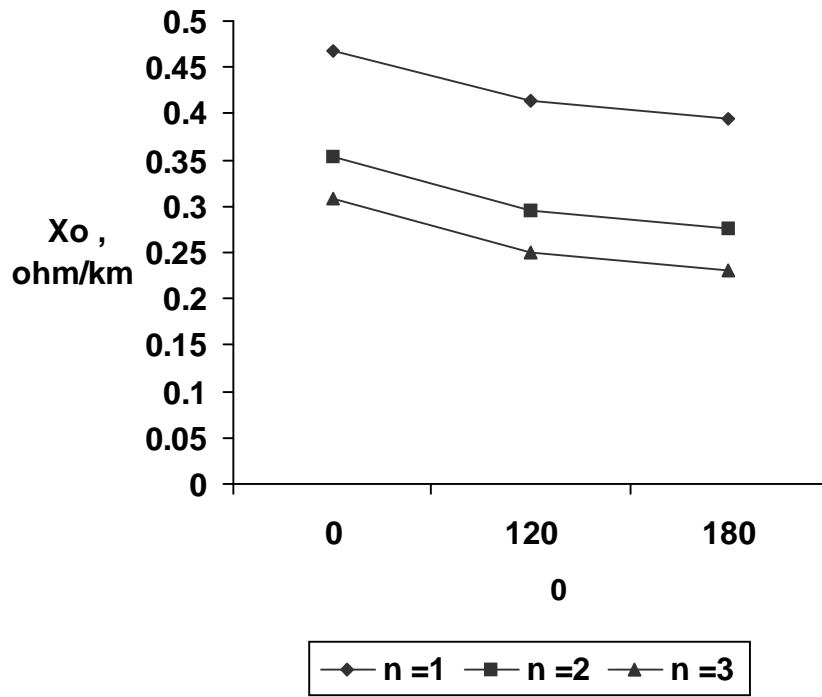


( a ) : تغير الممانعة الرديية لخط أحادي الدارة كتابع للمسافة  $D$  وعدد النواقل  $n$ .

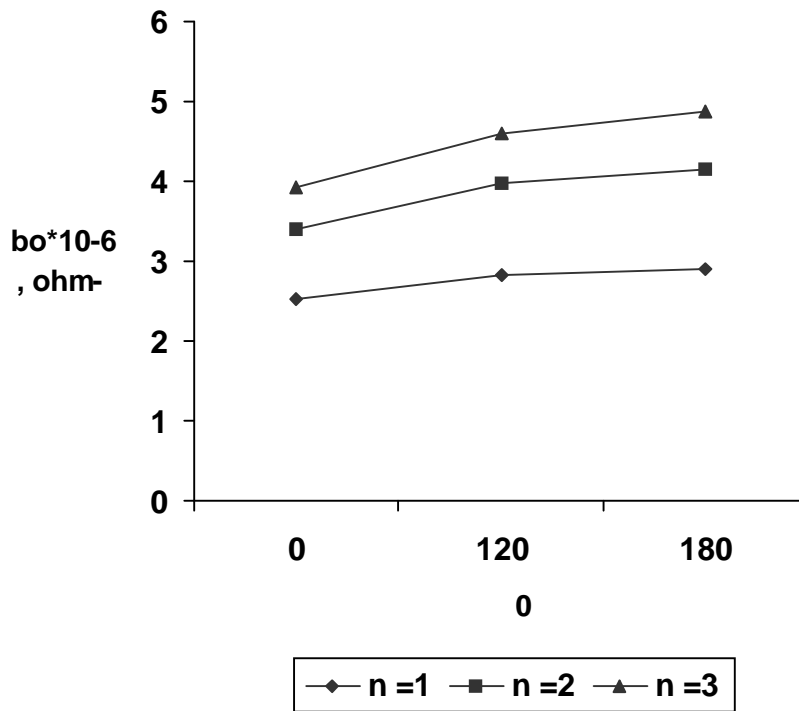


( b ) : تغير الناقلية السعوية لخط أحادي الدارة كتابع للمسافة  $D$  وعدد النواقل  $n$ .

الشكل ( 2 ) : تغير البارامترات الرئيسية لخط أحادي الدارة كتابع للمسافة  $D$  وعدد النواقل  $n$



( a ) : تغير الممانعة الرديئة لخط ثنائي الدارة كتابع للزاوية q وعدد النواقل n .



( b ) : تغير الناقلية السعوية لخط ثنائي الدارة كتابع للزاوية q وعدد النواقل n .

الشكل ( 3 ) : تغير البارامترات الرئيسية لخط ثنائي الدارة كتابع للزاوية q وعدد النواقل n .

## المراجع:

.....

1. فينيكوف. ف ، ريجوف. ي ، 1985- نقل الطاقة الكهربائية البعيدة بالتيار المتناوب والمستمر ، دار الطاقة للنشر ، موسكو - روسيا ، ( الكتاب باللغة الروسية ).
2. الكسندروف. غ ، 1989 - معدات التوتر العالي و حماية البيئة ، دار الطاقة للنشر ، لينينغراد - روسيا ، ( الكتاب باللغة الروسية ) .
3. حسان ريشة ، فاروق دريعي ، 1982 - نظرية الحقول . منشورات جامعة دمشق .
4. فينيكوف ف.أ. ، أستخوف ي.ن. وآخرين ، 1977 - المبادئ الأساسية لتشكيل الميزات التقنية لخطوط نقل الطاقة الكهربائية المعوضة ذاتياً والمتحكم بها .مجلة الطاقة . موسكو .العدد 12 ، ( باللغة الروسية)
5. باسيلوف غ.ي.، فيدين ف.ت، 1985 - إمكانيات الخطوط المتقاربة والمتحكم بها لنقل الطاقة الكهربائية . مينسك . مجلة الطاقة و النقل ، العدد 3 ، (باللغة الروسية) .
6. فيدين ف.ت ، 1993 - نقل الطاقة الكهربائية بالتيار المتناوب . مينسك ، ( الكتاب باللغة الروسية ) .
7. ألكسندروف غ. ن ، ايفكيدونين غ.آ وآخرين ، 1987 - الوسائط الحديثة في نقل الطاقة الكهربائية . منشورات جامعة لينينغراد ، ( كتاب باللغة الروسية ) .