

حساب تأثير القوى المتمركزة في سكنوية نواقل محطات التوزيع المكشوفة

الدكتور يوسف يوسف*

(تاريخ الإيداع 7 / 12 / 2011. قُبل للنشر في 15 / 1 / 2012)

□ ملخص □

تعتمد الطريقة التقليدية لحساب سكنوية نواقل محطات التوزيع المكشوفة على الحل المستوي، وهي طريقة تقريبية تحتوي على أخطاء يظهر تأثيرها مع تعقيد البنية التصميمية لهذه المحطات، واستخدام عوازل طويلة ووجود نوازل (نواقل نازلة) من قضبان التجميع إلى الأجهزة الكهربائية والتي تعدّ وفقاً لهذه الطريقة قوى شاقولية. في هذا البحث سنقوم بإعداد النموذج الرياضي لحساب تأثير القوى المتمركزة في سكنوية نواقل محطات التوزيع المكشوفة بالطريقة المتجهية، والتي يمكن عدّها خطوطاً مطلقة للدونة. يتم حل النموذج الرياضي بالطرق العددية مع تحسين التقارب بطريقة وطسطن. انطلاقاً من النموذج الرياضي المقدم تم إعداد برنامج بلغة (C++) يمكن استخدامه في التطبيقات الحسابية لحساب سكنوية محطات التوزيع المكشوفة والقوى المناخية والمتمركزة المؤثرة في نواقلها وعوازلها، وحساب الشروط الابتدائية لديناميكية المحطة. بينت الدراسة أن حساب القوى المتمركزة بالطريقة الجديدة يخفض الأخطاء ما بين الطريقة الجديدة والطريقة التقريبية (المستوية) بحوالي 10%.

الكلمات المفتاحية: نموذج رياضي، عوازل، نوازل، نواقل، محطات توزيع مكشوفة.

* أستاذ مساعد - قسم الطاقة - كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Calculation of the Central Power Effect on the Statistical Open Distribution Power Station Conductors

Dr. Youssef Youssef*

(Received 7 / 12 / 2011. Accepted 15 / 1 / 2012)

□ ABSTRACT □

The traditional method for the statistical calculation of the open distribution power station conductors, on the plane solution it is an approximate method which contains faults its effects appeared at the complicated infra-structural design, of that power station and long insulator using and descending carriers of the bus-bars to the electrical equipments, which could be considered as a perpendicular of (vertical) power.

We used at our present work a mathematical model to calculate the central force effect on the static transmission of the open power distribution station using the vector method as absolute plastic lines. Solving this mathematical model used the numerical method and the Whitiston-method.

According to the new model, we adopted a C++ programme, for the arithmetical application to calculate the statistical open power station and the climatic forces and central effect power on the power station conductors and insulators, and, as well calculate the elementary condition of that power station dynamics.

Our calculation of the central power with our new method will decrease the errors (or loss) between the new method and the approximate one by about 10%.

Keywords: Mathematical Model, Insulators, Central Power Effect, Open Distribution Power Station.

* Associate Professor, Department Electrical Energy Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, University of Tishreen, Lattakia, Syria.

مقدمة:

إن الطرق التقليدية [1، 2، 3، 4، 5] لحساب سكونية نواقل محطات التوزيع المكشوفة تستخدم الحل المستوي لإيجاد إحداثيات النواقل والجهود؛ لذلك يمكن أن تستخدم لحل مسائل بسيطة، وفي الحالة الريحية، وفي حالة الحاجة إلى الحل الفراغي فإنها تؤدي إلى صيغ معقدة وفي بعض الحالات تصبح مستحيلة الحل. كمثال على هذه المسائل تعرض النواقل قوى تأثير الريح المتجه بزاوية، وتأثير القوى المتمركزة؛ لذلك من الأفضل أن يتم حل هذه المسألة بالطريقة المتجهية التي تعطي حلاً فراغياً ويمكن عدّها الطريقة المثلى لحل هذه المسائل.

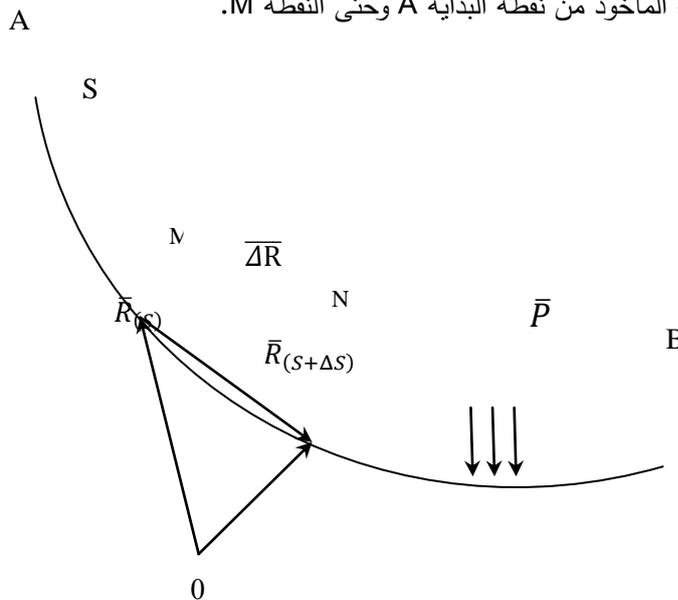
أهمية البحث وأهدافه:

وضع نموذج رياضي لحساب تأثير القوى المتمركزة في سكونية نواقل محطات التوزيع المكشوفة بالطريقة المتجهية والتي تعدّ النواقل خطوطاً مطلقاً للدونة، وبرمجة هذا النموذج على الحاسوب، وإجراء المقارنة بين الحسابات وفقاً لهذه الطريقة والطريقة التقريبية.

هذا النموذج الرياضي والبرنامج المبتكر على أساسه، يمكن استخدامهما لاحقاً لحساب الشروط الابتدائية والديناميكية لنواقل محطات التوزيع المكشوفة نظراً لدقتهما.

طرائق البحث ومواده:

سنقوم في هذا البحث بإعداد النموذج الرياضي لحساب سكونية نواقل محطات التوزيع المكشوفة بشكل مشابه لحساب سكونية خطوط نقل القدرة الكهربائية باستخدام الطريقة المتجهية [6]؛ لذلك سوف نفرض أنه على أحد نواقل محطات التوزيع المكشوفة أثرت قوى متجانسة \bar{P} . إحداثيات أي نقطة N من الناقل يمكن أن تحدد من خلال نصف قطر المتجه \bar{R} ، فإذا أخذنا بداية الإحداثيات في النقطة O شكل (1) فإنه، بوصفه محددًا، يحدد موضع النقطة على منحنى التعليق نأخذ القوس S المأخوذ من نقطة البداية A وحتى النقطة M .



شكل (1): التحديد المتجهي لأية نقطة من منحنى تعليق نواقل محطات التوزيع المكشوفة.

نصف قطر متجه النقطة M هو عبارة عن تابع اتجاهي ذي متحول عددي S؛ أي أن:

$$\bar{R} = \bar{R}(s)$$

للنقطة N التي تبعد عن النقطة M على المسافة Δs نصف قطر المتجه:

$$\bar{R}(s + \Delta s) = \bar{R}(s) + \Delta \bar{R}$$

نوجد نهاية نصف القطر عندما

$$\Delta s \rightarrow 0$$

$$\frac{d\bar{R}}{ds} = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta \bar{R}}{\Delta s} = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\bar{R}(s + \Delta s) - \bar{R}(s)}{\Delta s}$$

المتجه $\frac{d\bar{R}}{ds}$: متجه الواحدة المماس للمنحني [7] المتجه باتجاه تزايد S.

$$d\bar{R}/ds = 1 \quad (1)$$

للحصول على معادلة توازن الناقل بالشكل المتجهي من الأفضل أن نكتب القيم الابتدائية للفتحات والقوى المتوزعة بانتظام \bar{P} بالشكل المتجهي. إن إحدى مميزات الصيغ المتجهية للمعطيات الأولية والنهائية هي إمكانية الحصول على المساقط الفراغية للقيم المبحوث عنها ومن ثم فإن متجه التوتر الميكانيكي يمكن أن يعبر عنه من خلال طويلته ومتجه الواحدة للمماس:

$$\bar{T} = T \frac{d\bar{R}}{ds} \quad (2)$$

بما أن الناقل يعدّ لدينا فإن معادلة توازنه بالشكل المتجهي تحت تأثير القوى التي تؤثر فيه تأخذ الشكل التالي

[8, 9]:

$$dT + \bar{P}ds = 0 \quad (3)$$

المعادلات التفاضلية (2) و(3) تحدد توازن الناقل وحلّها؛ أي تحديد \bar{T} و \bar{R} يحقق الغاية من حساب الناقل.

وإذا كاملنا المعادلة (3):

$$\int d\bar{T} = -\bar{P} \int ds$$

من هنا:

$$\bar{T} = -\bar{P}s + \bar{a}_0 \quad (4)$$

حيث:

\bar{a}_0 : متجه الثابت التكامل الذي يحدد بالشروط الابتدائية من المعادلة (2) يمكننا أن نكتب:

$$\frac{d\bar{R}}{ds} = \frac{\bar{T}}{T} \quad (5)$$

نربّع العلاقة (4) ونوجد:

$$\bar{T}^2 = \bar{a}_0^2 - 2\bar{a}_0\bar{P}s + \bar{P}^2s^2 \quad (6)$$

$$T = \sqrt{\bar{a}_0^2 - 2\bar{a}_0\bar{P}s + \bar{P}^2s^2} \quad (7)$$

باستبدال قيم T التي تم الحصول عليها من المعادلتين (4) و(7) في (5) نحصل على:

$$\frac{d\bar{R}}{ds} = \frac{\bar{T}}{T} = \frac{\bar{a}_0 - \bar{P}s}{\sqrt{\bar{a}_0^2 - 2\bar{a}_0\bar{P}s + \bar{P}^2s^2}} \quad (8)$$

من المعادلة (8) ينتج أن المتجه $\frac{d\bar{R}}{ds}$ مماس لأية نقطة من الخيط ويقع في مستوي المتجهين \bar{P} و \bar{a}_0 ، ونتيجة

لذلك فإن كل خيط هو مستوي، ويتوضع في مستوي هذين المتجهين، فإذا كاملنا العبارة (8) نحصل على:

$$\bar{R} = \bar{a}_1 + \frac{1}{P} \left[\bar{a}_0 - \frac{\bar{a}_0 \bar{P}}{P^2} \bar{P} \right] \text{arcsh} \frac{|\bar{P}|^2 S - \bar{a}_0 \bar{P}}{\sqrt{\bar{a}_0^2 \bar{P}^2 - (\bar{a}_0 \bar{P})^2}} - \frac{\bar{P}}{P^2} |(\bar{a}_0 - \bar{P} S)| \quad (9)$$

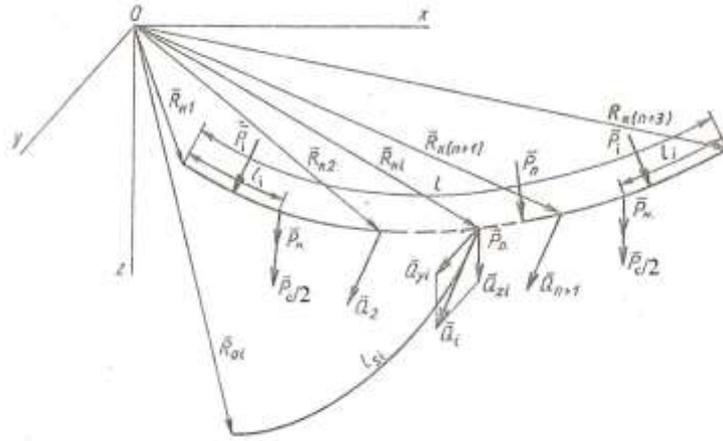
المعادلات (4) و (9) هي عبارة عن الحل المشترك في الشكل المتجهي لمسألة تحديد التوتر والتوضع الفراغي لخطوط محطات التوزيع المكشوفة في الشروط الساكنة لتوزع قوة اتجاه الريح بشكل متجانس، وباتجاه واحد على كل عنصر من عناصر الناقل بغض النظر عن انزياحه عن المستوي الشاقولي، وهكذا فإن متجه الوزن وقوى تأثير الريح تؤثر في كل عنصر ثابت من الناقل، ويرمز له بالرمز \bar{P} .

الحل الخاص لهذه المسائل يمكن الحصول عليه عن طريق إيجاد قيم محددة لثوابت التكامل بالشروط الحدية:

(1) طولية التوتر الميكانيكي الأصغري والثوابت التكاملية شكل (2).

في [6] تم الحصول على حل خاص لهذه المسألة للحالة الأولى عن طريق إعطاء الشروط الحدية التي تتوافق مع شروط التركيب، ولكن هذه الصيغ لا تصلح للحل الفراغي للنواقل في مختلف الشروط المناخية، والتي يكون بها التوتر الميكانيكي تابعاً للقوى المتوزعة عليه ما عدا ذلك فإنها لا تأخذ بالحسبان تأثير العناصر التصميمية. ونظراً لذلك كان لا بد من إيجاد حل هذه المسألة بشكل عام، وهو اعتماد النموذج الحسابي على أساس خيط متجانس غير متمدّد وإيجاد خوارزمية وبرنامج لحل هذه المسألة بشكل عام.

النموذج المعتمد يقوم على أساس أن النوازل (القوى المتمركزة) على الأجهزة الكهربائية والعوازل تقسم النواقل للجنة لمحطات التوزيع المكشوفة إلى أقسام متجانسة مع قوى متوزعة مختلفة الكثافة. في مناطق الاتصال تتوضع القوى المتمركزة (شكل 2).



الشكل (2): المخطط الحسابي للنواقل للجنة لمحطات التوزيع المكشوفة مع تفرعات للأجهزة الكهربائية (نوازل) $(\bar{P}_i$ و \bar{P}_n - الحمولات النوعية على العوازل والنواقل، l_i - طول العازل، مركبات القوى Q_{zi} و Q_{yi} في المستويات الأفقية والشاقولية، \bar{R}_{H1} - متجه نقطة تثبيت بداية الناقل على محطة التوزيع، $\bar{R}_{K(n+3)}$ - متجه نقطة تثبيت نهاية الناقل على محطة التوزيع، \bar{R}_{ai} - متجه نقطة تثبيت نهاية الناقل على الجهاز الكهربائي، \bar{P}_c - متجه القوى الناتجة عن وصلة الاستمرار، L - طول قضيب التجميع، \bar{R}_{ki} - متجه نقطة تثبيت الناقل على قضيب التجميع، \bar{P}_H - متجه القوة الناتجة عن المشدات، L_{si} - طول الناقل).

في [6] تم الحصول على حل خاص لهذه المسألة للحالة الأولى عن طريق إعطاء الشروط الحدية، التي تتوافق مع شروط التركيب، ولكن هذه الصيغ لا تصلح للحل الفراغي للنواقل في مختلف الشروط المناخية التي يكون بها التوتر الميكانيكي تابعاً للقوى المتوزعة، ما عدا ذلك فإنها لا تأخذ بالاعتبار تأثير العناصر التصميمية، ونظراً لذلك كان لا بد من إيجاد حل هذه المسألة بشكل عام وهو اعتماد النموذج الحسابي على أساس خيط متجانس غير متمد وإيجاد خوارزمية وبرنامج لحل هذه المسألة بشكل عام. النموذج المعتمد يقوم على أساس أن النوازل (القوى المتمركزة) على الأجهزة الكهربائية والعوازل تقسم النواقل للجنة لمحطات التوزيع المكشوفة على أقسام متجانسة مع قوى متوزعة مختلفة الكثافة في مناطق الاتصال تتوضع القوى المتمركزة (شكل 2).

يوصف كل قسم من هذه الأقسام بالمعادلات (4) و(9)

$$\bar{R}_i = \bar{a}_{0i} + \bar{A}_i \operatorname{arcsch} \frac{P_i^2 S_i - \bar{a}_{0i} \bar{P}_i}{A_{2i}} - \frac{\bar{P}_i}{P_i^2} |\bar{a}_{0i} - \bar{P}_i S_i|; \quad (10)$$

$$\bar{T}_i = \bar{a}_{0i} - \bar{P}_i S_i, \quad i = 1, 2, \dots, (n+3)$$

حيث:

$$\bar{A}_i = \frac{1}{P_i} \left(\bar{a}_{0i} - \frac{\bar{a}_{0i} \bar{P}_i}{P_i^2} \bar{P} \right);$$

$$\bar{A}_i = \sqrt{a_{0i}^2 P_i^2 - (\bar{a}_{0i} \cdot \bar{P}_i)^2}; \quad 0 \leq S_i \leq l_i$$

حيث:

l_i : طول القسم (i) من ناقل محطة التوزيع.

n : عدد التفريعات.

تتم المعادلة (10) بمعادلات توازن الوصلات ما بين النواقل والعوازل وكذلك ما بين العوازل ووصلات الاستمرار والنوازل والنواقل.

يمكن تصور نواقل التفريعات إلى الأجهزة الكهربائية (النوازل) ووصلات الاستمرار كما هو الحال بالنسبة إلى نواقل محطات التوزيع خطوط لدنة؛ لذلك فإن القوى \bar{Q}_i تساوي توتر النوازل في نقاط تثبيتها إلى قضبان التجميع. المحدد الرئيس للنازل هو طوله وكذلك إحداثيات تثبيته في نهاية الجهاز.

نجد من المعادلة (10) أن قيمة متجه التوتر في بداية التفريعة يساوي متجه ثابت التكامل \bar{a}_0 ($S = 0$) فإذا عوّضنا على التوالي في (10) عن الشروط الحدية بنهاية التفريعات وبعد سلسلة من التحولات فإننا نحصل على صيغة لتحديد القوى المتمركزة \bar{Q}_i والتي تساوي الثابت التكامل \bar{a}_{0i} .

$$\bar{Q}_i = \frac{\bar{Q}_i \bar{P}_S}{P_S^2} \bar{P}_S + \frac{P_S \left[\bar{R}_{ai} - \bar{R}_{ki} - \frac{\bar{P}_S}{P_S^2} \left(|\bar{Q}_i| - \sqrt{Q_i^2 - 2(\bar{Q}_i \bar{P}_S) l_{Si} + P_S^2 l_S^2} \right) \right]}{\operatorname{arcsch} \frac{P_S^2 l_{Si} - (\bar{Q}_i \bar{P}_S)}{A_{2i}} + \operatorname{arcsch} \frac{\bar{Q}_i \bar{P}_S}{A_{2i}}} \quad (11)$$

حيث:

\bar{P}_S : متجه الحمولة الإجمالية المتوزعة على وحدة طول النازل (التفريعة).

\bar{R}_{ai} : نصف قطر المتجه الذي يصف التوضع الفراغي لنقاط تثبيت النوازل إلى الأجهزة الكهربائية (شكل 2).

\bar{R}_{ki} : نصف القطر الذي يصف نقاط توضع النوازل إلى قضبان تجميع محطات التوزيع المكشوفة.

إن المعادلة (11) هي معادلة جبرية لا خطية وبمعرفة \bar{R}_{ki} تحل بالطريقة التقريبية مع تحسين التقارب بطريقة واطسن [10، 11].

وفقاً لطريقة واطسن فإن التقريب الثاني وما يليه يحسب بالعلاقة التالية:

$$\bar{Q}'_i(n+1) = q\bar{Q}'_i(n) + (1-q)\bar{Q}_i(n+1) \quad (12)$$

والشرط الأساسي لحدوث التقارب هو:

$$|\bar{Q}'_i(n+1) - \bar{Q}'_i(n)| \leq \varepsilon \quad (13)$$

حيث:

n: رقم التقريب.

$\bar{Q}'_i(n), \bar{Q}'_i(n-1)$: القيمة المدققة للجذر التي تم الحصول عليها بالصيغة (12) بالتقريبات السابقة.

القيمة q تتعلق بمجرى العملية التقريبية وتحسب بالصيغة التالية:

$$q = \frac{\bar{Q}_i(n+1) - \bar{Q}_i(n)}{\bar{Q}_i(n+1) - \bar{Q}_{in} - \bar{Q}'_{in} - \bar{Q}_i(n-1)} \quad (14)$$

عند وجود نظام من المعادلات الجبرية اللاخطية فإن الصيغة (12) يمكن أن تكتب بالشكل التالي:

$$\bar{Q}'_{ij}(n+1) = \bar{Q}_{ij}(n+1) - \frac{(\bar{Q}_{ij}(n+1) - \bar{Q}_{ij}(n))(\bar{Q}_{ij}(n+1) - \bar{Q}'_{ij}(n))}{\bar{Q}_{ij}(n+1) - \bar{Q}_{ij}(n) - \bar{Q}'_{ij}(n) + \bar{Q}'_{ij}(n-1)} \quad (15)$$

$$(j = 1, 2, \dots, n)$$

عند حل مجموعة المعادلات غير الخطية فإن المقام في العبارة (15) يمكن أن يأخذ قيمة صفرية مع الإخلال بسريان العملية التقريبية، وللتخلص من هذا فإنه من الأفضل في أثناء سريان العملية الحسابية التحكم بقيمة المقام وعند:

$$\bar{Q}_{iK(n+1)} - \bar{Q}_{iK(n)} - \bar{Q}'_{iK(n)} - \bar{Q}_{iK(n+1)} = 0$$

نفترض أن:

$$\bar{Q}'_{iK(n+1)} = \bar{Q}_{iK(n+1)}$$

وكما أثبتت التجربة فإنه من خلال العمليات التقريبية المتتالية نحصل على قيمة تقريبية تضمن تقارب العملية التقريبية.

قيمة المتجه \bar{R}_{Ki} يمكن أن تحدد فقط عن طريق حساب سكونية نواقل محطات التوزيع.

سنعد أن طول أقسام قضبان التجميع والمتجهات الحدية \bar{R}_{H1} و $\bar{R}_{K(n+3)}$ معروفة شكل (1) ونكتب المعادلة (11) للنقاط الحدية لكل قسم من أقسام قضبان التجميع، وبالنتيجة نحصل على نظام مكون من $2(n+3)$ معادلة متجهية بالنسبة إلى $2(n+3)$ من القيم المجهولة للثوابت المتجهية للتكامل \bar{a}_{0i} و \bar{a}_{1i} و $(n+2)$ متجه \bar{R}_{Ki} (شكل 2).

فإذا أخذنا بالاعتبار أن متجهات التوتر الميكانيكي ببداية الأقسام ونهايتها تساوي:

$$\bar{T}_{Hi} = \bar{a}_{0i} ; \bar{T}_{Ki} = \bar{a}_{0i} - \bar{P}_i l_i$$

وعوضنا عن هذه القيم بمعادلات توازن الوصلات فإننا سنحصل على نظام المعادلات الأنسب لحل معادلة

وطسطن.

من السهل الحصول على قيمة المتجه \bar{a}_{1i} عند معرفة \bar{a}_{0i} من المعادلة (10).
المتجه \bar{a}_{0i} يساوي متجه التوتر في نقاط تثبيت النازل إلى قضبان التجميع أي القوة \bar{Q}_i والمتجه \bar{T}_K متجه
توتر النازل في نقطة تثبيته إلى الجهاز الكهربائي \bar{Q}_a . كقيمة تقريبية ابتدائية لـ \bar{a}_0 تأخذ قيمته التي تم الحصول
عليها بالعلاقة التالية:

$$\bar{a}_{0i(1)} = \bar{P}_n l_{si}$$

l_{si} : طول النازل.

إذا عوضنا في المعادلة (10) للنظام المكوّن من عدة أقسام عن قيمة المتجهات \bar{a}_{1i} و \bar{a}_{0i} ، وغيرنا S_i من
0 وحتى l_i مع خطوة محددة فإننا نحصل للإحداثيات والتوتر بوصفه تابعاً للتوتر والقوى المناخية والمتجهات الحديثة
وطول قضبان تجميع محطات التوزيع.

يحدد طول النواقل المرنة لمحطات التوزيع من شروط التركيب بالتوتر أو بالقوى المناخية، ويبدل في نظام
المعادلات التي حصلنا عليها بهذه الشروط ويحل بالنسبة إلى طول الأجزاء l_i . ولهذا نعبر عن متجه الثابت التكاملية
من خلال التوتر الميكانيكي عند التركيب. ومن هنا فإن المتجه لقسم الناقل الذي يحتوي على النقطة ذات التوتر
الأصغري يساوي:

$$\bar{a}_{0i} = T_0 \bar{t}' + \bar{P}_i S'_0$$

حيث:

\bar{t}' : متجه الواحدة المتجه بشكل مماسي في نقطة التوتر الأصغري.

S'_0 : الإحداثيات القوسية من بداية الإحداثيات حتى النقطة ذات التوتر الأصغري.

يتم اختيار القسم ذي التوتر الميكانيكي الأصغري بشكل تقريبي؛ إذ يعدّ الناقل عارضة تكتب لها معادلات
العزوم المتوزعة بالنسبة إلى نواقل محطات التوزيع المكشوفة بالنسبة إلى نقاط تثبيتها على الأبراج. من هذه
المعادلات نحدد القوى العرضية المؤثرة بنهاية كل قسم في الناقل. القسم الذي تغير به هذه القوى إشارتها هو القسم
المطلوب.

النتائج والمناقشة:

على أساس النموذج الرياضي الموصوف سابقاً تم تكوين برنامج بلغة ++C. المخطط الصندوقي لخوارزمية
حساب سكونية محطات التوزيع المكشوفة في مختلف الحالات المناخية موضح على الشكل (3). كمعطيات أولية
(الصندوق 1) تأخذ الأبعاد الهندسية والخواص الفيزيائية-الميكانيكية لنواقل محطات التوزيع المكشوفة المعروفة من
الوثائق التصميمية، وكذلك مجموعة الشروط المناخية المحددة في قواعد التجهيزات الكهربائية والمعايير التصميمية
(سماكة طبقة الجليد، سرعة الرياح، حرارة الهواء). في الصندوق 2 تحدد الشروط الحديثة وثوابت أخرى.
تُحسب الحملات الريحية المتوزعة والجليدية في البرنامج الفرعي "حساب القوى المناخية" (الصندوق 3) بالسرعة
المعطاة وسماكة طبقة الجليد لكل مجموعة شروط (حالة مناخية). وهنا عند تحديد الحملات نأخذ بالاعتبار كتلة القطع
المباعدة والجليد المتوضع عليها. الصناديق 4، 6، 8، في الشكل (3) متشابهة بالبنية، وهي عبارة عن برنامج فرعي
منفصل يستخدم لحساب سكونية نواقل محطات التوزيع المكشوفة في حالة مناخية واحدة. المخطط الصندوقي
لهذا البرنامج الفرعي موضح في الشكل (4). الصندوق (4) يستخدم لحساب الحالة الابتدائية للتصميم.

بالتوتر المعطى T_1 يحدد الطول l_0 وهذا الطول يعدّ المحدد الأساسي لتحديد التوتر الميكانيكي وتوضع النواقل اللدنة في حالات أخرى الصناديق (9, 10).

لمحطات التوزيع لا تحدد مجموعة الشروط المناخية التي يحدث بها الإجهاد الميكانيكي الأعظمي في النواقل؛ لذلك تُختار الحالة الابتدائية للتصميم من حالتين مفترضتين (الصناديق 5-8). بالتوتر الميكانيكي المعطى في إحدى الحالات المناخية يحدد التوتر الميكانيكي في الحالة الثانية (الصندوق 6) إذا كان $T_2 > T_1$ (الصندوق 7). فإن الحالة الثانية تُستخدم بوصفها حالة ابتدائية للحساب (الصندوق 8).

يسمح البرنامج بالقيام بحساب نواقل محطات التوزيع المكشوفة في 12 حالة مناخية ويمكن أن تستخدم لبناء منحنيات التركيب كما ذكرنا سابقاً فإن المخطط الصندوقي للبرنامج الذي يقوم بحساب نواقل محطات التوزيع في إحدى الحالات المناخية يوضح في الشكل (4).

يتم الحساب بهذه الخوارزمية على النحو التالي: في البداية تحسب القوى المتوزعة على الناقل مع الأخذ بالحسبان الريح والجليد، وكذلك التقريبات الأولية للقوى المتوزعة في النوازل ووصلات الاستمرار (صندوق 1)، وبعد ذلك يحسب التقريب الأولي للإحداثيات والتوتر الميكانيكي (صناديق 2-4). تحسب القوة الناتجة من تأثير النوازل في محطة التوزيع (الصندوق 5) بالبرنامج الفرعي الموضح على الشكل (6). وبعد ذلك تدقق القوى من النوازل على نواقل محطة التوزيع. يتم حساب الطول والإحداثيات والتوتر الميكانيكي (صندوق 7) ببرنامج فرعي منفصل شكل (5). وبعد ذلك تدقق إحداثيات نقاط تثبيت النوازل على قضبان التجميع (الصندوق 8) فإذا كانت قريبة بالإحداثيات المحسوبة على الخطوة الأولى (الصندوق 9) فإن قيم حساب سهم التللي، والانزياحات الأفقية والقوى على الأجهزة الكهربائية من النوازل تتم في الصندوق 10. ونتائج الحساب تطبع بالصندوق 11.

يتم في البرنامج الفرعي شكل (5) في الصندوق (2) حساب القيمة التقريبية الأولية لطول النواقل مع العوازل. وفي الصندوق (3) يتم حساب التقريب الأولي لـ \bar{a}_0 . أما في الصندوق (4) فيتم إيجاد جزء الناقل الذي يكون به التوتر الميكانيكي أصغرياً بشكل تقريبي. وفي الصندوق (5) يتم حساب متجهات ثوابت التكامل \bar{a}_0 و \bar{a}_1 . وفي الصندوق (6) اختبار الشرط هل تحققت الدقة بالتوتر؟. في الصندوق (7) تستخدم طريقة وطسطن لتحسين التقارب وفي الصندوق (9) يتم حساب إحداثيات وطول الناقل بمعادلة الخيط اللدن.

البرنامج الفرعي لحساب القوى المتمركزة والناتجة عن تأثير النوازل (تفريعات النواقل الواصلة ما بين قضبان تجميع محطات التوزيع المكشوفة والأجهزة الكهربائية) موضح في الشكل 6؛ إذ يتم التأكد من وجود النازل بطوله l_{cn} (الصندوق 1) الذي يعطى في المعطيات الأولية. عند الطول الصفري للنازل فإن القوى على قضبان التجميع من النوازل تأخذ مساوية $Q_{cn} = 0$ (الصندوق 10)، وعند وجود النازل، تُحدد بالمسافة بين نقاط تعليقه (الصندوق 2)، ولكن عند إجراء الحسابات يجب أن يكون طول النازل $L_{cn} < l_{cn}$ ، وهنا لا يمكن حساب النازل بمعادلة الخيط اللدن وللحل الناجح للمسألة فإنه يجب أن يصبح الطول (صندوق 4):

$$L_{cn} = K l_{cn}$$

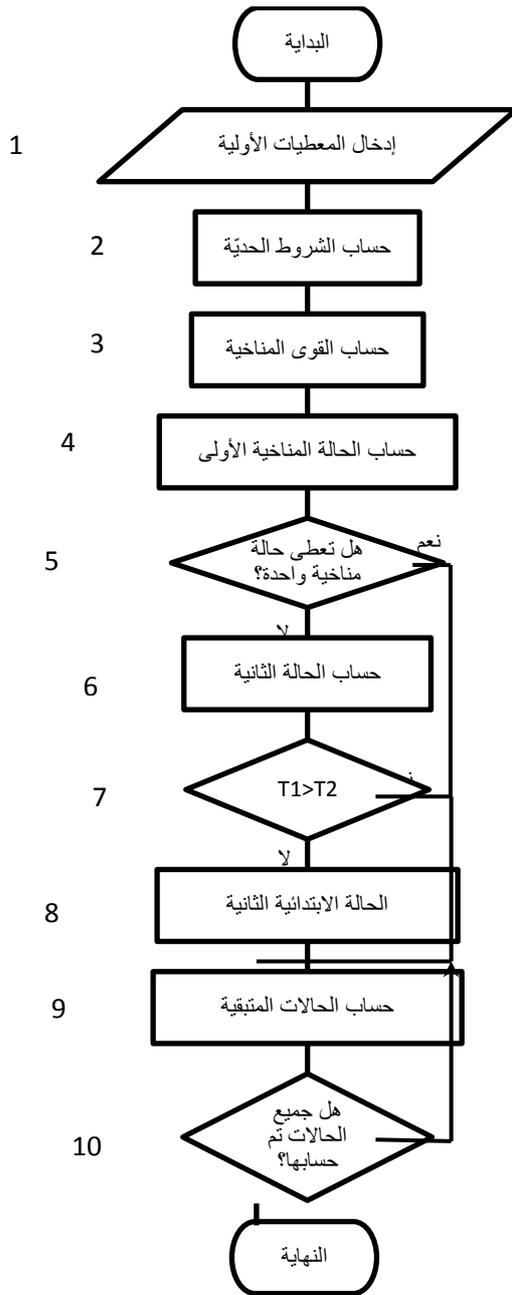
إذ إنَّ المعامل K يؤخذ من المراجع التصميمية لمحطات التوزيع المكشوفة. في الخطوة التالية للحساب بمعادلة الخيط اللدن تُحسب متجهات ثوابت التكامل \bar{a}_0 و \bar{a}_1 (الصندوق 5). ولتحسين تقارب العملية التقريبية لحل المعادلات الجبرية اللاخطية تستخدم طريقة وطسطن (6).

وعند بلوغ الدقة المعطاة في تحديد \bar{a}_0 و \bar{a}_1 (الصندوق 7) يتم حساب الإحداثيات والتوتر (8) وقوة تأثير النوازل في قضبان التجميع (9). لا تعطى أكثر من ثلاثة تقريعات إلى الأجهزة الكهربائية في فتحات محطات التوزيع ؛ لذلك فإن عدد النوازل في البرنامج تحدد بثلاثة.

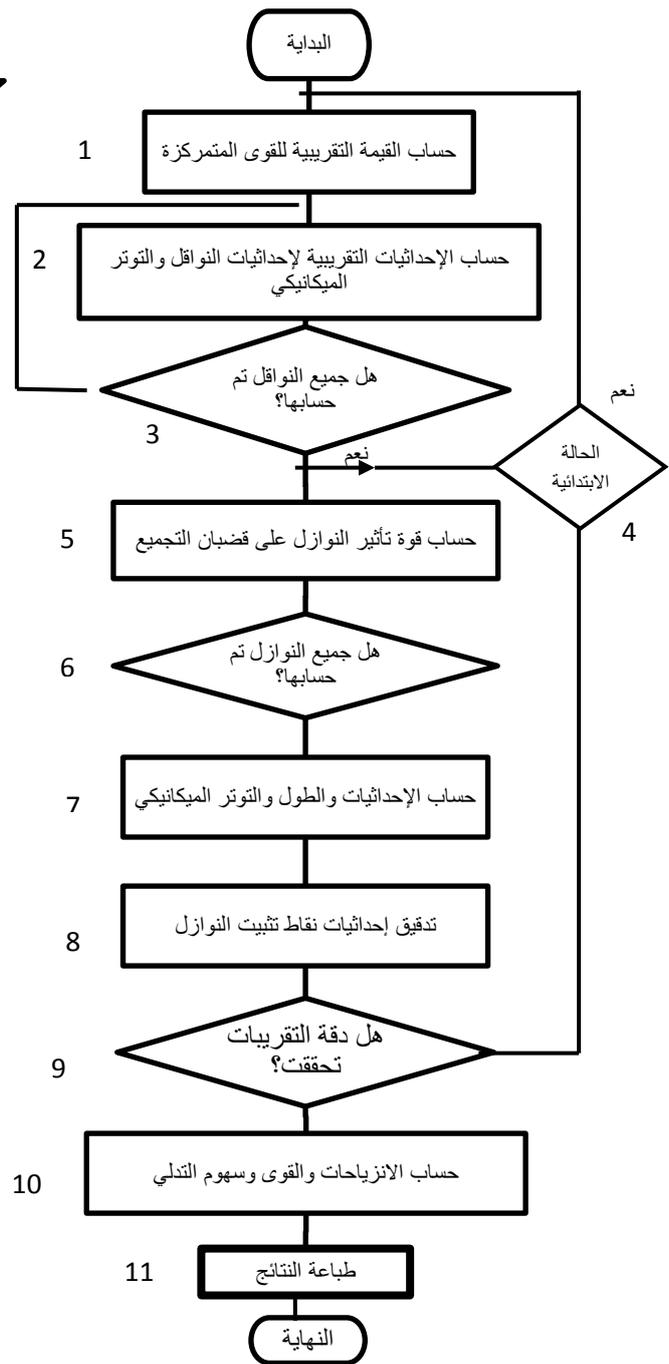
أجريت بالبرنامج المبتكر حسابات تمت مقارنتها بالحسابات التي أجريت بالطريقة التقريبية، وتمّ إيضاح نتائج الحساب على شكل منحنيات باستخدام برنامج الماتلاب. المحدد الثابت في عملية الحساب هو طول الفتحة (48 m) ماركة الناقل 2×AC-600/72 حيث يعتمد هذا الناقل في محطات التوزيع عالية التوتر 400kv وكتلة 1 m من العازل هي 48 kg، طول العازل 5 m. مقارنة النتائج أظهرت أن الخطأ الناتج عن عدم الأخذ بالحسبان التوضع الحقيقي للنوازل وعوازل الاستناد يتعلق بعدد النوازل الأشكال (7, 8, 9) ويشكل في تحديد سهم التدلي 8-15% كما هو مبين في الشكل (7) والانزياح الأفقي (9-20)% كما هو مبين على الشكل (8). الحسابات اللاحقة أظهرت أن الاختلاف يعود بشكل أساسي لحساب القوى الناتجة عن تأثير النوازل في قضبان تجميع محطات التوزيع. تأثير التوضع الحقيقي للنوازل في محطات التوزيع على دقة الحساب يتضح في الأشكال (7-8-9). عند استخدام قيمة القوى المؤثرة المحسوبة بالبرنامج وفق الطريقة المبتكرة فإن الخطأ في الطريقة التقريبية في حساب سهم التدلي يتناقص حتى (3-1)% (شكل 7) والانزياحات الأفقية حتى (4-1)% (شكل 8) ولطول النواقل مع العوازل حتى (0.1÷0.33) شكل (9).

الاستنتاجات والتوصيات:

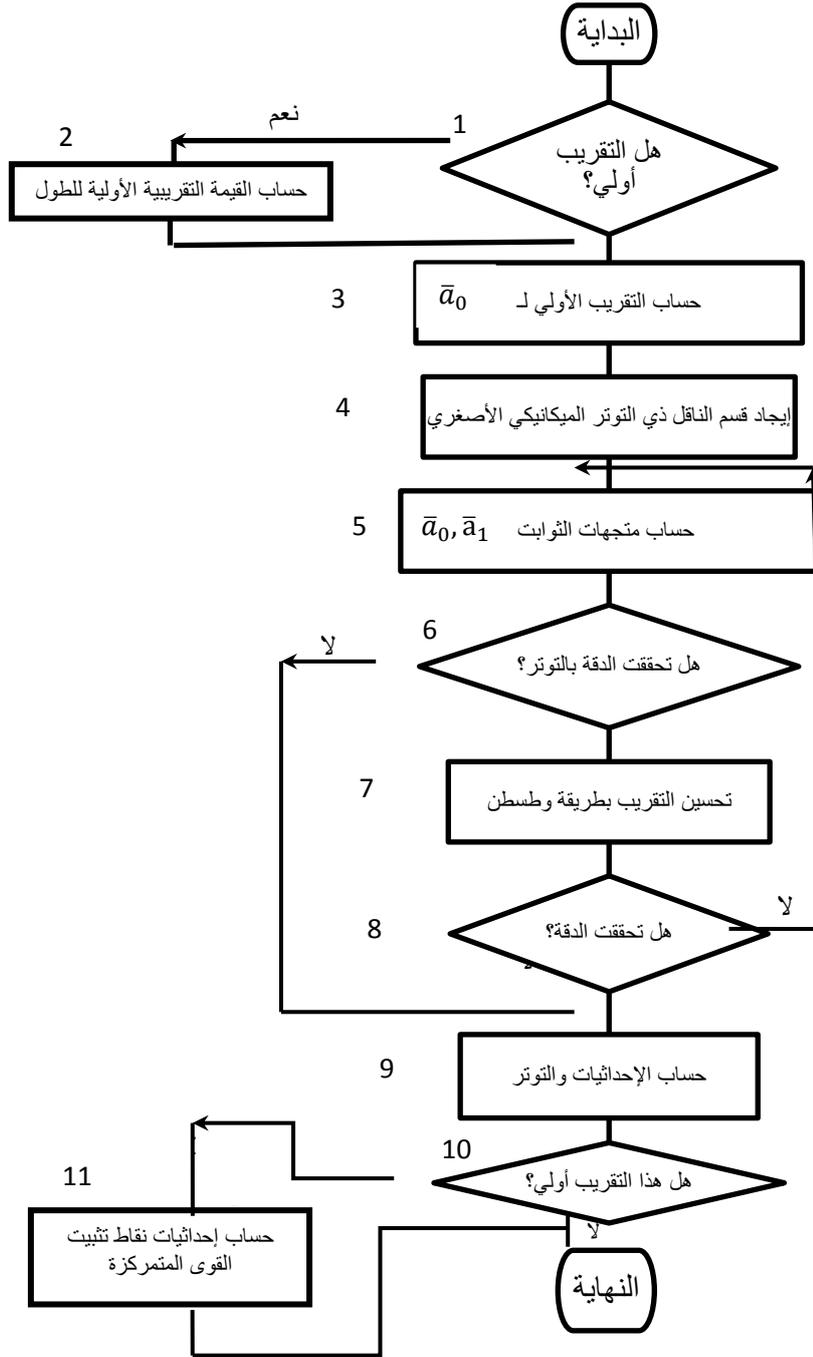
- 1- تم إعداد نموذج رياضي لحساب سكنية النواقل اللدنة لمحطات التوزيع المكشوفة اعتماداً على الطريقة المتجهية والقوى المناخية المؤثرة فيها بما فيها الرياح المتجه بزواوية إلى الفتحة والقوى المتمركزة.
- 2- على أساس النموذج الرياضي تم وضع برنامج بلغة ++C يتيح لنا القيام بحساب سكنية النواقل اللدنة لمحطات التوزيع المكشوفة والقوى المناخية المؤثرة في نواقلها وعوازلها، وحساب القوى المتمركزة المؤثرة فيها.
- 3- اختلاف الحسابات ما بين الطريقة التقريبية والطريقة المبتكرة يعود إلى أن الطريقة التقريبية لا تأخذ بالحسبان التوضع الحقيقي للنوازل ويزداد الاختلاف بازدياد عدد النوازل.
- 4- حساب القوى المتمركزة بالطريقة الجديدة يسمح بتخفيض الأخطاء الحسابية بالطريقة التقليدية (الطريقة المستوية) عند حساب سكنية محطات التوزيع المكشوفة بحوالي 10%.



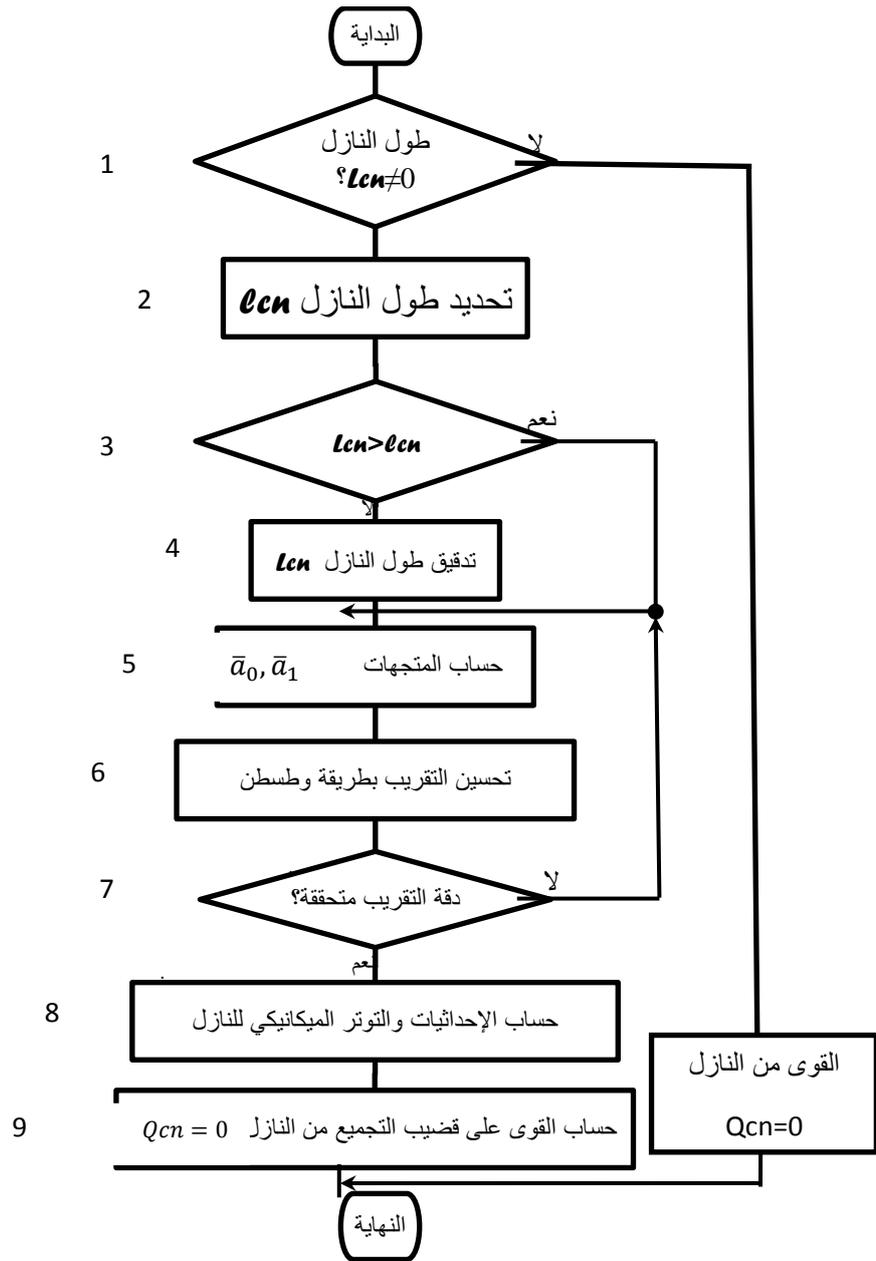
الشكل (3): المخطط الصندوقي لخوارزمية حساب
سكونية محطات التوزيع المكشوفة في مختلف الحالات
المناخية.



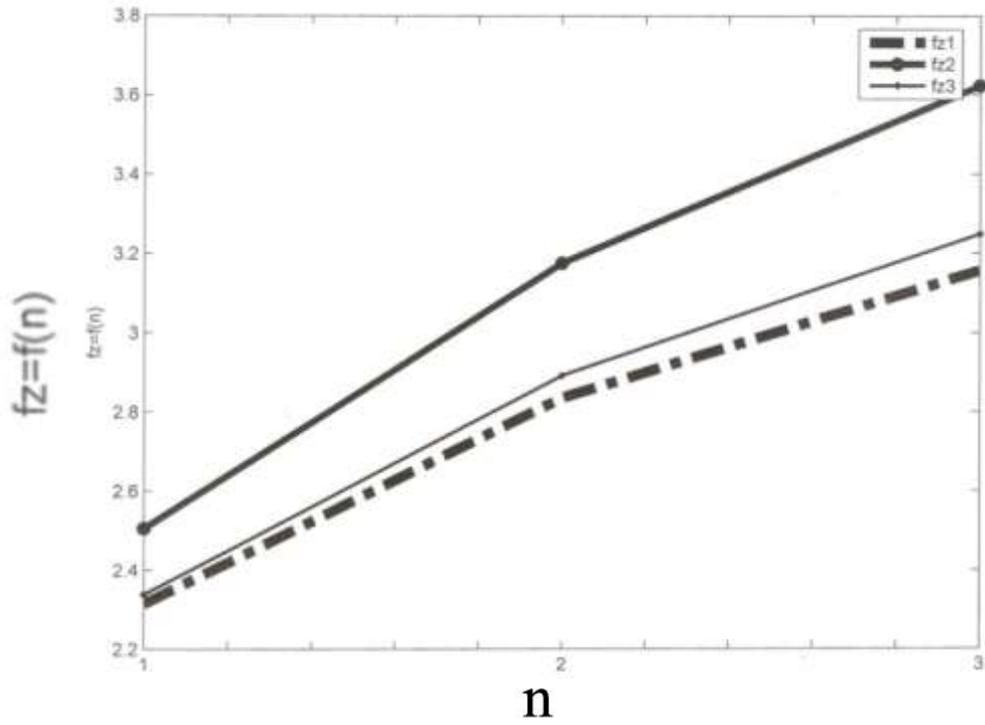
الشكل (4): المخطط الصندوقي لخوارزمية حساب سكونية
محطات التوزيع المكشوفة في حالة مناخية واحدة.



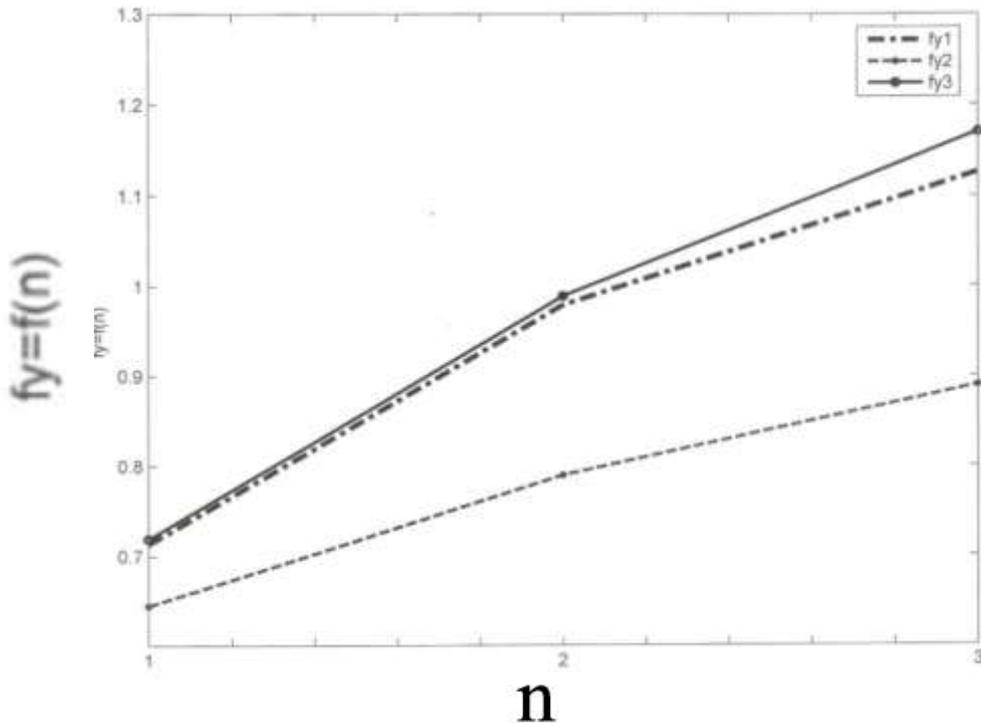
شكل (5): المخطط الصندوقي لخوارزمية حساب إحداثيات وتوتر نواقل محطات التوزيع المكشوفة لمعادلة الخيط اللدن (غير المرن).



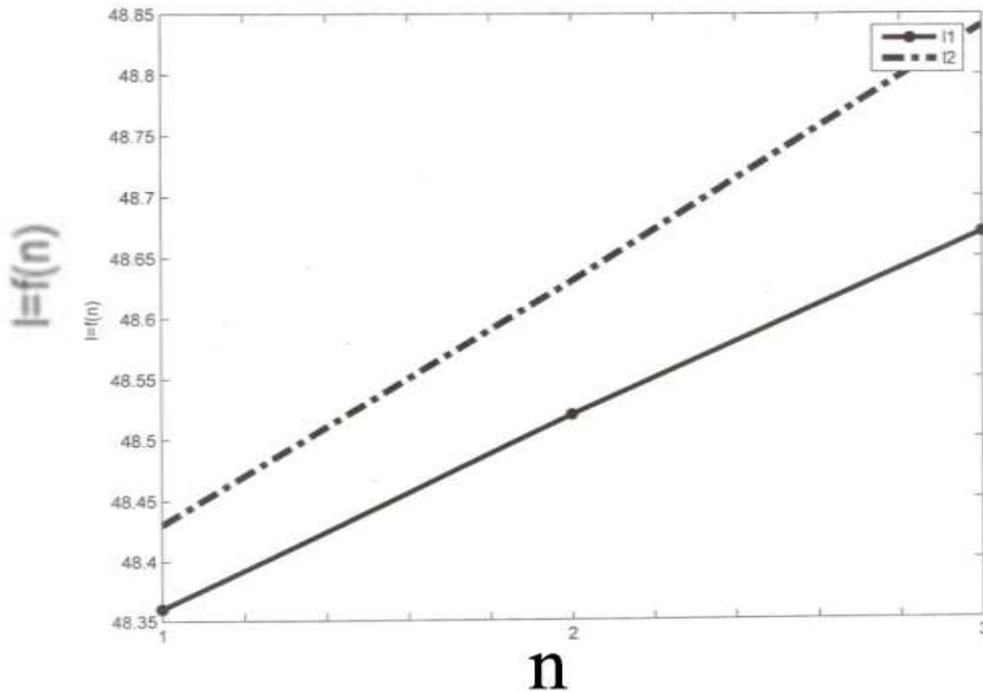
الشكل (6) المخطط الصندوقي لخوارزمية حساب الإحداثيات والتوتر الميكانيكي والقوى الناتجة عن النوازل على نواقل محطات التوزيع المكشوفة بالطريقة المتجهية.



الشكل (7): العلاقة ما بين سهم التدلي وعدد النوازل (f_{z1} - سهم التدلي المحسوب بالبرنامج، f_{z2} - سهم التدلي المحسوب بالطريقة التقريبية، f_{z3} - سهم التدلي المحسوب بالطريقة التقريبية ولكن القوى محسوبة بالبرنامج).



الشكل (8): العلاقة ما بين الانزياح والأفقي وعدد النوازل (f_{y1} - الانزياح الأفقي المحسوب بالطريقة التقريبية، f_{y2} - الانزياح الأفقي المحسوب بالطريقة التقريبية ولكن القوى بالبرنامج، f_{y3} - الانزياح الأفقي المحسوب بالطريقة التقريبية ولكن القوى بالبرنامج).



الشكل (9): العلاقة ما بين طول نواقل محطات التوزيع المكشوفة وعدد النوازل (L_1 -طول نواقل محطات التوزيع المكشوفة محسوباً بالبرنامج وفق الطريقة المبتكرة، L_2 -طول نواقل محطات التوزيع المكشوفة محسوباً بالطريقة التقريبية).

- 5- تم إعداد نموذج رياضي لحساب سكونية النواقل اللدنة لمحطات التوزيع المكشوفة اعتماداً على الطريقة المنهجية، و لحساب القوى المناخية المؤثرة فيها بما فيها الريح المنحج بزواوية إلى الفتحة والقوى المتمركزة.
- 6- على أساس النموذج الرياضي تم تكوين برنامج بلغة $C++$ يتيح لنا القيام بحساب سكونية النواقل اللدنة لمحطات التوزيع المكشوفة كما يتيح حساب القوى المناخية المؤثرة في نواقل محطات التوزيع المكشوفة وعوازلها، والقوى المتمركزة المؤثرة في نواقلها.
- 7- يتيح البرنامج المبتكر القيام بالحسابات الميكانيكية لمحطات التوزيع المكشوفة وخطوط نقل القدرة الكهربائية، وحساب القوى المناخية والقوى المتمركزة المؤثرة فيها، كما يمكن استخدامه بوصفه جزءاً في البرامج المعتمدة للحسابات الديناميكية لمحطات التوزيع المكشوفة، وخطوط نقل القدرة الكهربائية وحساب القوى الميكانيكية المؤثرة في الأبراج، وكذلك يمكن أن يستخدم لهذه الغاية في التطبيقات العملية.
- 8- يعود اختلاف الحسابات ما بين الطريقة التقريبية والطريقة المبتكرة إلى أن الطريقة التقريبية لا تأخذ بالاعتبار التوضع الحقيقي للنوازل، والذي تأخذه بالاعتبار هذه الطريقة ويزداد الاختلاف بازدياد عدد النوازل.
- 9- حساب القوى المتمركزة بالطريقة الجديدة يسمح بتخفيض الأخطاء عند حساب سكونية محطات التوزيع المكشوفة بحوالي 10%.

المراجع:

- 1- GRIGSBY, L.L. *Electric power generation, Transmission, and Distribution*. CRC Press, USA, 2007, 600.
- 2- HUSAIN, A. *Electrical Power Systems*. Delhi, India, 2004, 270.
- 3- LEI, H.; LIMCING, W.; GUANZHICHENG. *Design of interphase composite spacer for 500 kv compute Transmission line*. international symposium on high voltage engineering Tsinghua University, XIXth ed, Beijing, China, 2005.
- 4- BCHINAKOVICH, A. D. *Open-distribution power station statical calculation and high cross-electrical power transmission lines*. Industrial press , USSR, 1990, 284.
- 5- Sch. LABBACH, S.; ROFALSILI, K. H. *Power System Engineering*. WILGY-VCH Verlag G mbh & COKGTA, FRG, 2008, 350.
- 6- KISSLMAN, L. M. *Electric Power Conductors Calculation Methods in The Mountains Zones*. Power press, Moscow, USSR, 1990, 184.
- 7- COLDVEIN, E. *The vectorial analysis and the field theory*. The Sciences, Linengrad, Moscow, USSR, 1988, 180.
- 8- CHEDROUVE, F. S. *Mechanical basic of plastic lines*. Industrial press, Moscow, USSR, 1991, 172.
- 9- BOTINEN, N.S.; LOVICH, E.L.; MARKIN, D.B. *The Theoretical Mech*. Sciences Press, 1st ed, Moscow, USSR, 1984, 240.
- 10- NAKAMURA. *Applied Numerical Methods in shoichiro*. Ohio state university, USA, 2000, 604.

11- الميرمي، سعيد. *مبادئ التحليل العددي*. الدار العربية للكتاب، ليبيا، 1994، 288.