

## دراسة موثوقية شبكات التوزيع الكهربائية باستخدام التمثيل المباشر والعكسي

الدكتور نديم مخول

قسم هندسة الطاقة الكهربائية

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

جامعة دمشق

### الملخص

إن الهدف الرئيسي في هذه الدراسة هو التقدير الكمي لبارا مترات موثوقية التغذية للأحمال في شبكات التوزيع الكهربائية لما لها من أهمية خاصة عند اختيار الحل الأمثل في مرحلة التصميم، وذلك انطلاقاً من حساب التكاليف بشكل رئيسي في مرحلة الاستثمار، والاستفادة من هذا التقدير عند مناقشة خطط التطوير المستقبلية، ولتحقيق هذا الهدف تم تشكيل نموذج رياضي وبناء خوارزمية تشمل المراحل التالية:

- تشكيل قواعد البيانات المتعلقة بعناصر الشبكة الكهربائية ( عقد، خطوط، محولات، قواطع ...).
- تحديد بارا مترات الموثوقية لكل عنصر من العناصر المكونة للشبكة الكهربائية.
- تمثيل الشبكة الكهربائية وفق الصيغتين المباشرة والعكسية.
- تحديد مسارات التغذية الكهربائية لكل حمل من أحمال الشبكة.
- تحديد بارا مترات الموثوقية لكل حمل من الأحمال وفق مساره الخاص.
- تمثيل الأعطال الكهربائية التي يمكن أن تحدث على الخطوط .
- تحديد المسارات الجديدة، بعد عملية إعادة وصل القواطع ونزع الخط الذي حصل عليه العطل، لكل حمل.
- تحديد بارا مترات الموثوقية لكل حمل من الأحمال بعد العطل المفروض.
- وتم أيضاً إعداد البرنامج الحسابي على الحاسوب لدراسة أي نظام كهربائي، وتطبيق هذا البرنامج على جزء من الشبكة العامة.

### مقدمة : INTRODUCTION

إن الطاقة الكهربائية كانت وما تزال الشغل الشاغل لهذا العالم، حيث تعدُّ عصب الحياة و الوقود الذي يسير عجلة الحضارة، لذلك فإن الحاجة إليها تتنامى باستمرار حيث غدت مقياساً لتطور الأمم ورفقيها. ونظراً لأنَّ هناك بعض المستهلكين الذين لا يتحملون أي انقطاع في التيار الكهربائي لذا يجب تأمين الطاقة بشكل مستمر وبدرجة موثوقية عالية لهؤلاء المستهلكين.

يُقصد بتعبير الموثوقية Reliability [6] في الهندسة الكهربائية بأنه مقدرة النظام الكهربائي على ضمان العمل المستمر، وتنفيذ الغاية المرجوة منه مع المحافظة على المؤشرات الاستثمارية ضمن الشروط المحددة .

ومن الطبيعي القول: إن موثوقية التغذية الكهربائية مرتبطة بنوع المستهلك وبطبيعة الشروط المحلية وغيرها، فبالنسبة للمستهلكين ذوي الأهمية من الدرجة الثانية يُسمح بانقطاع التغذية عنهم لفترات قصيرة على ألا تتكرر هذه الانقطاعات بشكل مستمر، أما مستهلكو الدرجة الأولى والتي يشكل الانقطاع فيها مصدر خطورة على حياة الناس فإنه لا يُسمح بانقطاع التغذية على الإطلاق، وللحيلولة دون ذلك يتم عند تصميم الشبكات الكهربائية اتخاذ الإجراءات المناسبة واللائمة لتحسين عمل جميع العناصر الكهربائية ورفع درجة موثوقية التغذية، ومن الواضح أن هذه الإجراءات والسبل تتطلب تجميد رأس مال كبير لشراء العناصر الاحتياطية وإلى وضع تجهيزات القيادة الآلية الخاصة. أما مستهلكو الدرجات الأخرى فإن تحديد درجة الموثوقية يكون استناداً إلى تحليل فني واقتصادي حيث تقدّر النفقات الإضافية المصروفة لرفع درجة موثوقية التغذية والضرر، الذي يمكن أن يحدث للاقتصاد عند عدم وجود هذه التجهيزات الإضافية .

ولكن قبل أن ندخل في تفاصيل دراسة محددات Parameters موثوقية التغذية في الشبكات الكهربائية لا بد أن نجد طريقة نستطيع من خلالها أن نمثل الشبكة الكهربائية بكامل عناصرها ( مولدات، خطوط، محولات، حمولات ...).

إن أغلب الطرائق التي كانت مستخدمة في دراسة شبكات التوزيع الكهربائية لم تأخذ بالحسبان المتطلبات التي تعتمد على الحاسوب، وبناءً على ذلك وعلى التطورات السريعة في التقانات الحاسوبية والاستخدامات الكثيرة لها في الحسابات التصميمية والاستثمارية في شبكات التوزيع، كان لا بد من البحث عن طرائق حديثة لتمثيل الشبكات الكهربائية، ومن أهم هذه الطرائق كانت تلك التي تعتمد على نظرية الهياكل Graph Theory [5] لما لها من أهمية في تمثيل الشبكات وفق نماذج تمثيلية ورقمية تساعد في توصيف الشبكة الكهربائية بكامل معطياتها، مما يسهّل التعامل معها وإدخالها إلى ذاكرة الحاسوب وفق أبسط أشكال قواعد البيانات Database .

إن الهدف الرئيس في هذه الدراسة هو تحديد درجة موثوقية التغذية في شبكات التوزيع الكهربائية، ولتحقيق هذا الهدف سوف نتطرق إلى المراحل التالية:

- تشكيل قواعد البيانات المتعلقة بعناصر الشبكة الكهربائية ( عقد، خطوط، محولات، قواطع ...).
- تحديد بارامترات الموثوقية لكل عنصر من العناصر المكوّنة للشبكة الكهربائية.
- تمثيل الشبكة الكهربائية وفق الصيغتين المباشرة والعكسية.
- تحديد مسارات التغذية الكهربائية لكل حمل من أحمال الشبكة.
- تحديد بارامترات الموثوقية لكل حمل من الأحمال وفق مساره الخاص.
- تمثيل الأعطال الكهربائية التي يمكن أن تحدث على الخطوط .

- تحديد المسارات الجديدة، بعد عملية إعادة وصل القواطع ونزع الخط الذي حصل فيه العطل، لكل حمل.
- تحديد بارا مترات الموثوقية لكل حمل من الأحمال بعد العطل المفروض.

إن المراحل المذكورة سابقاً هي عبارة عن الخوارزمية Algorithm التي سوف نتطرق إليها في هذه الدراسة، والتي يمكن أن نصيغها بشكل نموذج رياضي Mathematical Model يسهل علينا عملية إعداد البرنامج الحسابي على الحاسوب لدراسة أي نظام كهربائي، وتطبيق هذا البرنامج على جزء من الشبكة العامة.

## 2- النموذج الرياضي اللازم لتحديد بارا مترات الموثوقية Mathematical Model

إن تأمين التغذية ذات الموثوقية العالية يعتمد إلى حد كبير على مخطط توصيل الخطوط مع مراكز التحويل، وتستعمل في الشبكات الكهربائية أشكال مختلفة لارتباط الخطوط مع مراكز التحويل، ويعتمد اختيار هذه أو تلك على الشكل الإنشائي للخطوط ومراكز التحويل، وكذلك على طول الخط والاستطاعة المنقولة وغيرها، وهناك نوعان رئيسان للتغذية وهي: النظم المفتوحة والنظم المغلقة.

- **النظام المفتوح Opened System** [4,8] يتلقى التغذية من جهة واحدة وتنتمي إليه: النظم الشعاعية، النظم التسلسلية، والنظم الحلقية المفتوحة.

- **النظام المغلق Closed System** [4,8] ويتلقى التغذية من جهتين على الأقل وتنتمي إليه: النظم الحلقية، النظم ذات التغذية الثنائية، والنظم العقدية (الشبكية).

في النظام الشعاعي تُغذى كل محطة بواسطة خط مستقل، ويمكن أن تكون التغذية أحادية أو متعددة المراحل، وتتصف هذه النظم بالوضوح والسهولة في عمليات الفصل والوصل، إلا أن السهولة الأساسية لهذا النظام درجة الموثوقية المنخفضة حيث إنَّ عطل أحد الخطوط يؤدي إلى انقطاع طويل في تغذية مجموعة من الأحمال، ولهذا السبب لا يمكن للنظم الشعاعية أن تقتصر للاحتياطي الإضافي كما أنها لا يمكن أن تُستخدم لتغذية أحمال الصنف الأول والثاني.

في النظام التسلسلي يخرج أحد الخطوط من المحطة ويغذي عدة محطات فرعية أو وسيطية، وتتميز هذه النظم بأن عدد خلايا الخروج في المحطات المغذية قليل إجمالاً، وسهولة هذا النظام هي الموثوقية غير الكبيرة حيث إنَّ عطل أحد الخطوط أيضاً يؤدي إلى الانقطاع في تغذية بضعة محطات في الوقت نفسه.

أما النظم الحلقية فتتصف بالموثوقية العالية للتغذية، ففي حالة انقطاع أحد الخطوط فإنه لا يحدث انقطاع في تغذية الأحمال، وكذلك في حالة تعطل المحطة من جهة التوتر العالي فإن أحمال الصنف الأول والثاني يمكن أن تتغذى بواسطة خطوط التوتر المتوسط التابعة للمحطة المجاورة نظراً لكثرة القواطع الموجودة في هذه النظم. من سببات هذا النوع من النظم الكلفة العالية والصعوبة في الاستثمار كما أنه يتطلب نظاماً معقداً للحماية من التيارات الزائدة.

إن النظم الأكثر تعقيداً للشبكات هي النظم العقدية (الشبكية) ذات جهات التغذية المتعددة وتتميز بأنها ذات درجة موثوقية عالية جداً، إلا أنها غير منتشرة بشكل واسع في الشبكات الصناعية.

إن الشبكات الكهربائية يمكن بناؤها بدرجة موثوقية عالية إلا أن رأس المال الموظف للبناء والحفاظ عليها يكون أكبر كلما كانت درجة الموثوقية أكبر، إن العلاقة بين التكاليف ودرجة الموثوقية غير محددة بشكل رياضي حتى الآن إلا أنه معروف بشكل منحني بياني قريب للخطية عند درجات الموثوقية المنخفضة ويرتفع بشدة عندما تصل درجة الموثوقية إلى 55% [6, 9].

من أهم العوامل المؤثرة في درجة الموثوقية هي:

- نوعية المواد المستعملة ونوعية التركيبات والاستثمار.

- بساطة الحلول الشبكية تسهل عملية البناء والصيانة وتسمح بتوظيف أقل عدد ممكن من عمال الصيانة.

- الاختيار الصحيح للأجهزة والمواد، إذ إنه من غير المسموح اختيار الأجهزة المصممة للعمل في شروط معينة أن تعمل في شروط أفسى من الشروط المطلوبة.

- درجة استخدام المواد والأجهزة، من الضروري المحاولة في الاستخدام التام لتحميل قضبان التجميع و النواقل واستطاعة المحولات واستطاعة القصر للقواطع واختيار العازلية المناسبة. إلا أن هذا سوف يتعارض مع موثوقية العمل، ومما لا جدل فيه أن الاستخدام غير الكامل للأجهزة يطيل من عمر الجهاز ويقلل من احتمال وقوع الأعطال وبناءً عليه نتجت توصيات عدم الاستخدام الكامل للإمكانات الاسمية للأجهزة الكهربائية.

إن الهدف الأساسي من تحليل موثوقية التغذية بالقدرة الكهربائية هو التقدير الكمي لبارامترات الموثوقية، بحيث تتمكن في مرحلة التصميم من اختيار الحل الأمثل وذلك انطلاقاً من حساب التكاليف بشكل رئيسي في مرحلة الاستثمار، ومن ثمّ نستفيد من هذا التقدير عند مناقشة خطط التطوير والتحديث.

لتقدير درجة الموثوقية لا بد في البداية من أن نتطرق إلى المفاهيم والعوامل التالية:

1- كثافة الأعطال Frequency Of Faults (d): وهي عبارة عن العدد الواسطي لأعطال النظام خلال واحدة الزمن [1,2,3].

2- احتمال العمل دون انقطاع P(t) Probability Of Aptitude: وهو يعبر عن صلاحية النظام للعمل خلال الزمن t [3] ويعطى بالعلاقة التالية:

$$P(t) = e^{-d.t} \dots\dots\dots(1)$$

3- الزمن الواسطي لعمل النظام دون انقطاع (t<sub>d</sub>) [3] ويعطى بالعلاقة التالية:

$$t_d = \int_0^{\infty} e^{-d.t} .dt = \frac{1}{d} \dots\dots\dots(2)$$

4- الزمن الواسطي لإصلاح العطل (t<sub>a</sub>): ويُحدّد كزمن وسطي للانقطاع وهو عملياً يمثل زمن الانقطاع نتيجة العطل وزمن إزالته.

5- عامل الموثوقية (P) Reliability Factor: وهو يمثل احتمال صلاحية النظام [3,4] ويعطى بالعلاقة التالية:

$$P = \frac{t_d}{t_d + t_a} = \frac{t_d}{T} \dots \dots \dots (3)$$

6- عامل اللاموثوقية (q) Non reliability Factor : وهو يمثل احتمال تعطل النظام [3,4] ويعطى

$$q = \frac{t_a}{t_d + t_a} = \frac{t_a}{T} \dots \dots \dots (4) \quad \text{بالعلاقة}$$

ومن ثم نلاحظ من المعادلتين (3) و (4) أن:

$$p + q = 1 \dots \dots \dots (5)$$

7- عامل الاستفادة التقانية من نظام التغذية (K<sub>t</sub>) : [6] وهو يحدّد احتمال سلامة النظام في لحظة مختارة بشكل حر ويعطى بالعلاقة التالية:

$$k_t = 1 - (q + k_{rp}) \dots \dots \dots (6)$$

حيث: K<sub>rp</sub> يسمّى بعامل الصيانة الدورية الذي يعبر عنه بالعلاقة التالية:

$$k_{rp} = \frac{\mu_r \cdot T_r}{8760} \dots \dots \dots (7)$$

حيث: T<sub>r</sub> الفترة الوسطية للصيانة m<sub>r</sub> تردد الصيانة.

يمكن لتوصيلات العناصر أن تكون تسلسلية (عندها انقطاع أحد الخطوط يؤدي إلى انقطاع التغذية) أو تفرعية (عندها تعطل عنصر واحد أو بضعة عناصر لا يسبب انقطاع التغذية عموماً ولكنه يمكن أن يكون سبباً في تقليل الاستطاعة والقدرة المنقولة)، ونصادف أيضاً في أغلب الحالات توصيلات مختلفة (تسلسلية و تفرعية) والتي يمكن نقلها في النهاية مهما كانت معقدة إلى الشكل التسلسلي البحت أو التفرعي البحت .

## 1-2: النظام التسلسلي Series system :

في هذا النظام نلاحظ أن عطل أحد العناصر يؤدي إلى انقطاع التغذية كاملة (الشكل رقم 1/1) [4,6]، ومن ثم فإن احتمال صلاحية النظام (عامل الموثوقية) يساوي إلى جداء احتمالات صلاحية العناصر المكوّنة له.

$$P = P_1 \cdot P_2 \dots \dots \dots P_N = \prod_{i=1}^N P_i \dots \dots \dots (8)$$

واحتمال تعطل النظام (عامل اللاموثوقية) يعطى بالعلاقة التالية:

$$q = 1 - p = 1 - \prod_{i=1}^N P_i = \sum_{i=1}^N q_i \dots \dots \dots (9)$$

في حين كثافة الأعطال للنظام التسلسلي هي:

$$d = \sum_{i=1}^N d_i \dots \dots \dots (10)$$

وزمن العطل الكلي للنظام التسلسلي هو:

$$t_a = \frac{\sum_{i=1}^N d_i \cdot t_{ai}}{d} \dots \dots \dots (11)$$

وتردد الصيانة الدورية أيضاً يعطى بالعلاقة التالية:

$$\mu_r = \sum_{i=1}^N \mu_{ri} \dots \dots \dots (12)$$

الزمن الوسطي للصيانات الدورية  $T_r$  نعبر عنه بالعلاقة التالية:

$$t_r = \sum_{i=1}^N \frac{\mu_{ri} \cdot t_{ri}}{\mu_r} \dots \dots \dots (13)$$

الاستطاعة المنقولة بالنظام التسلسلي تكون مساوية لاستطاعة أضعف عنصر فيه، وهذه تعدّ إحدى أهم سيئات النظم التسلسلية.

## 2-2: النظام التفرعي Parallel System :

نصادف هذا النظام عند العمل المتوازي للمولدات والمحولات والخطوط وغيرها (الشكل رقم 2/4,6). في هذه الحالة توجد إمكانية لحدوث العديد من الحوادث المستقلة.

إن احتمال تعطل النظام التفرعي يساوي جداء احتمالات تعطل العناصر المكونة له

$$q = q_1 q_2 \dots \dots \dots q_n = \prod_{i=1}^N q_i \dots \dots \dots (14)$$

ومن ثمّ احتمال صلاحية النظام

$$p = 1 - \prod_{i=1}^N q_i = \sum_{i=1}^N p_i \dots \dots \dots (15)$$

من هذه العلاقة يتضح أن النظم التفرعية ذات درجة عالية من الموثوقية ولكنها في الواقع تعدُّ من الأمور النادرة.

$$p = \sum_{k=0}^r \binom{N}{K} \cdot q^k \cdot p^{N-k} \dots \dots \dots (16)$$

إن الخروج المتواقت لـ  $K$  عنصراً من العناصر المربوطة على التوازي يُعدُّ من القضايا المثيرة عند تحديد احتمال صلاحية النظام ويعطى بالعلاقة التالية:

حيث:  $N$  - عدد العناصر الكلي ،  $K$  - عدد العناصر المعطلة ،  $r$  - عدد العناصر السليمة.

$$\left(\frac{N}{K}\right) = \frac{N^I}{(N-K)^I \cdot K^I} \dots \dots \dots (17)$$

ومن ثمَّ فإن احتمال التعطل المتواقت بسبب خروج  $K$  عنصراً من العناصر المكوِّنة للنظام التفرعي:

$$q = 1 - \sum_{k=0}^r \binom{N}{K} \cdot q^k \cdot p^{N-k} \dots \dots \dots (18)$$

### 3-2: النظام المختلط Hybrid System :

لإجراء البحوث المتعلقة بالموثوقية على النظم المعقدة (الشكل رقم 3/ ) [4,6] يتم تحويل العناصر المربوطة على التسلسل وعلى التفرع إلى عناصر مكافئة من وجهة نظر الموثوقية فنحصل بهذا الشكل على نظام تسلسلي مكافئ للنظام المختلط.

إن استمرارية التغذية تعتمد بشكل عام على عوامل الموثوقية للعناصر المكوِّنة للشبكة الكهربائية، ونظراً لأنَّ نظم التغذية في معظم الأحيان معقدة فإن حساب عوامل الموثوقية للشبكة بالاعتماد على عوامل الموثوقية للعناصر المكوِّنة لها يؤدي إلى علاقات معقدة وطويلة ، لذلك من الأفضل أن نستخدم مفهوم العناصر المكافئة [6,10] .

العنصر المكافئ عبارة عن جهاز أو مجموعة من الأجهزة التي إذا حصل فيها عطل ما فإن كامل العنصر سوف يخرج من الخدمة (أي أن جميع العناصر الداخلة في تعداد العنصر المكافئ تشكل بنية تسلسلية عند حساب عامل الموثوقية)، ويمكن أن نميز نوعين منها:

- **العقدة Node** : وهي جزء من الشبكة الذي يحوي قضبان التجميع التي تعمل بشكل منفصل بالإضافة إلى التجهيزات المتعلقة فيها كالقواطع اليدوية.

- **القوس Branch** : وهو جزء من الشبكة الذي يحوي مجموعة الخطوط والمحولات بالإضافة إلى التجهيزات المتعلقة بها كالقواطع اليدوية والآلية والحمايات.

يمكن تحديد بارامترات الموثوقية للعناصر المكافئة [6] كما يلي:

## 4-2: تحديد بارامترات الموثوقية للعقد:

إن الانقطاعات في تغذية العقد تنتج عن الأعطال الذاتية ( التي تتضمن الأعطال على قضبان التجميع وأعطال القواطع السكنينية)، وكذلك الأعطال المنقولة الناتجة عن عمليات الفصل الفاشلة للعناصر الأخرى للخطوط والمحولات.

ونظراً لأن بارامترات الموثوقية للعقد يتم حسابها من وجهة استمرارية التغذية لواحد من المخارج فإنه لتحديد عدد الأعطال المنقولة الناتجة عن حالات الفصل الفاشلة نأخذ بالحسبان الأعطال الناتجة عن المخارج البقية.

عدد الانقطاعات السنوي الوسطي في التغذية لمخرج واحد:

$$d_{ws} = d_s \cdot n_s + d_o \cdot n_o + b_z \cdot \sum_{i=1}^{N_i-1} d_{li} \dots \dots \dots (19)$$

حيث إن زمن الانقطاع في عمل العقدة المؤلفة من قضيب تجميع أحادي يساوي مجموع زمن الإصلاح وزمن تبديل الأجهزة المعطلة، ومنه فإن عامل اللاموثوقية للعقدة يعطى بالعلاقة التالية:

$$q_{ws} = \frac{d_s \cdot n_s \cdot t_s}{T} + \frac{d_o \cdot n_o \cdot t_o}{T} + \frac{b_z \cdot t_p}{T} \cdot \sum_{i=1}^{N_i-1} d_{li} \dots \dots \dots (20)$$

ومن ثم فإن الزمن الوسطي لدوام انقطاع واحد في عمل العقدة:

$$t_{ws} = \frac{q_{ws} \cdot T}{d_{ws}} \dots \dots \dots (21)$$

أما إذا كانت العقدة مجهزة بنظام مضاعف لقضبان التجميع فإنه يجب أن نأخذ بالحسبان الأعطال المشتركة (الاشتراك في العطل الناتج عن الأسباب التصميمية يحصل في الأجهزة التي يكون فيها مساران للخطوط المضاعفة أو التي تحوي نظامين لقضبان التجميع في محطات التوزيع أو في النظم التي تحوي محولتين بجانب بعضهما وتعملان على قضبان تجميع مشتركة).

إن عملية اشتراك الأعطال يمكن أن نميزها بواسطة عامل يسمى عامل الاشتراك  $K_s$  والذي يُحدّد كجزء من عطل آخر يسبب انقطاعاً في التغذية بسبب التصميم المشترك للعناصر. العلاقات السابقة تصبح على الشكل التالي:

$$d_{ws} = d_s \cdot n_s + d_o \cdot n_o \cdot (1 + k_s) + b_z \cdot \sum_{i=1}^{N_i-1} d_{li} \dots \dots \dots (22)$$

$$q_{ws} = \frac{d_s \cdot n_s \cdot (t_s + k_s \cdot t_p)}{T} + \frac{d_o \cdot n_o \cdot (t_o + k_s \cdot t_p)}{T} + \frac{b_z \cdot t_p}{T} \cdot \sum_{i=1}^{N_i-1} d_{li} \dots \dots \dots (23)$$

**5-2: تحديد بارامترات الموثوقية للأقواس :**

إن الانقطاعات في تغذية العناصر المكافئة الممثلة للخطوط والمحولات تنتج عن الأعطال الذاتية للعناصر، وكذلك عن الأعطال المنقولة من العناصر الأخرى.

زمن الانقطاعات الناتجة عن الأعطال الذاتية يساوي زمن الإصلاح أو زمن تبديل الأجهزة المعطلة، في حين زمن الانقطاعات الناتجة عن الأعطال المنقولة يساوي زمن إعادة التوصيل، ومن ثم فإن العدد الوسطي السنوي للانقطاع في عمل القوس وعامل اللاموثوقية تُحسب وفق العلاقات التالية:

$$d_{II} = d_t + d_{w1} + d_{w2} \dots \dots \dots (24)$$

$$q_{II} = \frac{d_t \cdot t_t}{T} + \frac{d_{w1} \cdot t_{w1}}{T} + \frac{d_{w2} \cdot t_{w2}}{T} \dots \dots \dots (25)$$

هذا في حالة محول أحادي، أما في حالة محول يعمل بشكل مشترك مع محول آخر:

$$d_{II} = d_t \cdot (1 + k_t) + d_{w1} + d_{w2} \dots \dots \dots (26)$$

$$q_{II} = \frac{d_t \cdot (t_t + k_t \cdot t_p)}{T} + \frac{d_{w1} \cdot t_{w1}}{T} + \frac{d_{w2} \cdot t_{w2}}{T} \dots \dots \dots (27)$$

أما بالنسبة للخطوط الكابلية الأحادية فإن العلاقات هي التالية:

$$d_{II} = d_t \cdot l + d_o \cdot n_{ol} + d_w \cdot n_{wl} \dots \dots \dots (28)$$

$$q_{II} = \frac{d_t \cdot l \cdot t_t}{T} + \frac{d_o \cdot n_{ol} \cdot t_o}{T} + \frac{d_w \cdot n_{wl} \cdot t_w}{T} \dots \dots \dots (29)$$

وفي حالة الخطوط الكابلية المضاعفة يكون:

$$d_{II} = d_t \cdot l \cdot (1 + k_t) + d_o \cdot n_{ol} + d_w \cdot n_{wl} \dots \dots \dots (30)$$

$$q_{II} = \frac{d_t \cdot l \cdot (t_t + k_t \cdot t_p)}{T} + \frac{d_o \cdot n_{ol} \cdot t_o}{T} + \frac{d_w \cdot n_{wl} \cdot t_w}{T} \dots \dots \dots (31)$$

إن الشبكات الكهربائية عادةً تكون مصممة بحيث تؤمن احتياطياً قدره 100% على الأقل لمستهلكي الدرجة الأولى الذين يتطلبون درجة موثوقية عالية والتي يشكل فيها الانقطاع مصدر خطورة على حياة الناس، وفي هذه الحالة يجب أن تكون مسارات التغذية (الرئيسي والاحتياط) مصممة ومختارة بحيث إن كل مسار يمكن أن يؤمن التغذية بالكامل لجميع الأحمال المذكورة، في حين بقية الأحمال في حالة الأعطال الحاصلة على أحد المسارين يجب أن تكون مفصولة.

إن مسار التغذية للحمل P المبين على الشكل رقم 5/ هو مجموعة الأجهزة الموصلة مع بعضها بشكل تسلسلي بحيث تؤمن جريان القدرة الكهربائية من عقدة التغذية .

في المثال المبين على الشكل رقم 5/ [6] فإن العقدة B يمكن أن تكون مغذاة من كلا المسارين في الوقت نفسه وهذا ما يسمّى بحالة الاحتياط الخفي Latent Reserve ، ويمكن أيضاً أن تكون مغذاة من مسار واحد على سبيل المثال (G<sub>1</sub>-T<sub>1</sub>- A<sub>1</sub>-L<sub>1</sub>-B) في هذه الحالة يكون المسار الثاني (G<sub>2</sub>-T<sub>2</sub>- A<sub>2</sub>-L<sub>2</sub>-B) بمنزلة احتياط وهذا ما يسمّى بحالة الاحتياط الظاهر manifested Reserve ، ونظراً لأن شبكات التوزيع الكهربائية تعمل فقط بشكل شعاعي فإننا نكتفي في هذا البحث بدراسة حالة الاحتياط الظاهر، حيث إن أحد المسارين سوف يمثل المغذي الرئيسي في حين المسار الآخر يمثل المغذي الاحتياط، وهذه النظم في هذه الحالة سوف تكون مجهزة بقاطع آلي تلقائي التوصيل لتأمين استمرارية التغذية في حالة حدوث عطل على المغذي الرئيسي وذلك بالنسبة للأحمال التي تتطلب درجة موثوقية عالية. أما بالنسبة للأحمال التي لا تتطلب درجة عالية فإنه يمكن الاستغناء عن القاطع الآلي التلقائي التوصيل بقاطع يدوي يتم توصيله عند حدوث عطل ما. الانقطاع في التغذية في هذا النوع من النظم سوف ينتج عن الظواهر التالية:

- الانقطاع الذي يظهر على كلا المسارين في الوقت نفسه بسبب الأعطال المستقلة أو بسبب الأعطال المشتركة.
- الأعطال الناتجة على المغذي الرئيسي وفي الوقت نفسه مع عدم تجاوب آلية القاطع الآلي على الرغم من أن المغذي الاحتياط غير معطل.
- الأعطال الناتجة على أحد المغذيين عندما يكون الآخر في حالة صيانة.
- الأعطال الناتجة على الموزع B .

ومن ثم فإن بارامترات الموثوقية المتعلقة بتغذية الحمل P يمكن تحديدها وفق العلاقات التالية:

$$D_p = [D_{12} + (D_1 - D_{12})b_{sa}] \left( 1 - \frac{\tau_1 + \tau_2}{T} \right) + D_r \frac{\tau_2}{T} + D_2 \frac{\tau_1}{T} + d_B \dots (32)$$

$$Q_p = [Q_{12} + (D_1 - D_{12})b_{sa} \frac{t_p}{T}] \left( 1 - \frac{\tau_1 + \tau_2}{T} \right) + D_r \frac{t_1 \tau_2}{T^2} + D_2 \frac{t_2 \tau_1}{T^2} + q_B \dots (33)$$

حيث: D<sub>12</sub> : عدد الأعطال التي تحدث على كلا المسارين في الوقت نفسه وتُحسب كما يلي:

$$D_{12} = D_1 \cdot Q_2 + D_2 \cdot Q_1 + \sum_{i=1}^w (d_{1i} + d_{2i}) k_i \dots (34)$$

Q<sub>12</sub> : عامل اللاموثوقية الناتج عن الأعطال الحاصلة بأن واحد على كلا المسارين المغذيين للحمل p ويُحسب كما يلي:

$$Q_{12} = Q_1 \cdot Q_2 + \sum_{i=1}^w (d_{1i} + d_{2i}) k_i \cdot \frac{t_{pi}}{T} \dots (35)$$

أما بالنسبة للأحمال التي لا تتطلب درجة موثوقية عالية كما ذكرنا فيمكن الاستعاضة عن القاطع الآلي التلقائي بقاطع يدوي يتم وصله عند الضرورة ، والعلاقات السابقة (32) و (33) تبقى كما هي ويكون  $b_{sa}=1$  .

### 3- الخوارزمية المقترحة: Purposed Algorithm :

إن الهدف الأساسي وكما ذكرنا سابقاً هو تحديد درجة موثوقية التغذية في شبكات التوزيع الكهربائية، ولكي نستطيع أن نحقق هذا الهدف لا بد من إيجاد أسلوب بسيط نستطيع من خلاله تمثيل الشبكة الكهربائية بجميع عناصرها و يسمح بتخزين الشبكة في ذاكرة الحاسوب بالشكل الأمثل.

إن السعي الدائم لاستخدام الحاسوب كان له الدور الأكبر في استخدام نظرية النمذجة والمحاكاة Simulation والتي بواسطتها تم التوصل إلى تمثيل الشبكة الحقيقية بكامل معطياتها وإدخالها إلى ذاكرة الحاسوب، حيث إن فكرة النمذجة تتجلى في أثناء التعامل مع النظام الحقيقي الموجود في الطبيعة بحيث نقوم بتمثيله بنموذج مطابق له من حيث الأداء الوظيفي ونتعامل مع هذا النموذج ونقيم عليه التجارب والاختبارات عن طريق تصميم الألوغريتم الذي يحل النموذج الرياضي، أما فكرة المحاكاة فتتجلى في تصميم البرنامج على الحاسوب بإحدى لغات البرمجة وفق الألوغريتم المصمم وإدخال هذا البرنامج إلى الحاسوب للتعامل معه لإجراء الحسابات الدقيقة والسريعة.

إن الخوارزمية المقترحة تتضمن المراحل التالية:

### 3-1: إدخال المعطيات المتعلقة بالشبكة المدروسة: Database

#### 3-1-1: إدخال المعطيات المتعلقة بعقد الشبكة:

يتم إدخال المعطيات المتعلقة بالعقد بواسطة مصفوفة ثنائية البعد عدد أسطرها يساوي عدد العقد وعدد أعمدتها كما هو مبين في الجدول التالي:

زمن العطل الواحد	عدد الأعطال لكل 100 قطب	عدد المخارج	عدد الخلايا	نوع العقدة	رقم العقدة
------------------	-------------------------	-------------	-------------	------------	------------

#### جدول رقم /1/

العمود الأول يمثل رقم العقدة وهو بمنزلة ترقيم أولي Primary Numeration يوضع من قبل المصمم.

العمود الثاني يمثل نوع العقدة وهو يتعلق بمستوي التوتر الذي تعمل عليه العقدة ويأخذ القيم التالية:

- 1 66 Kv
- 2 20 Kv
- 3 0.4 Kv

العمود الثالث يمثل عدد الخلايا التي ترتبط مع العقدة المحددة.  
العمود الرابع يمثل عدد المخارج التي تخرج من العقدة.  
العمود الخامس يمثل عدد الأعطال لكل 100 قطب.  
العمود السادس يمثل زمن العطل الواحد.

### 3-1-2: إدخال المعطيات التي تتعلق بالموصلات:

المعطيات المتعلقة بالموصلات (الخطوط و المحولات) تتم وفق مصفوفة ثنائية البعد عدد أسطرها يساوي عدد الموصلات وعدد أعمدها كما في الجدول التالي:

الرقم	البداية	النهاية	النوع	حالة الموصل	الطول	عدد الأعطال لكل 100km	زمن العطل الواحد
-------	---------	---------	-------	-------------	-------	-----------------------	------------------

#### جدول رقم /2/

العمود الأول يمثل رقم الموصل وهو بمنزلة ترقيم أولي يوضع من قبل المصمم.  
العمود الثاني يمثل رقم عقدة البداية.  
العمود الثالث يمثل رقم عقدة النهاية.  
العمود الرابع يمثل نوع الموصل فيما إذا كان خطاً أم محوّلًا ويأخذ القيم التالية: 1 خط 0 محوّل.  
العمود الخامس يمثل حالة الموصل فيما إذا كان مفرداً أم مضاعفاً ويأخذ القيم التالية: 1 مفرد 2 مضاعف.  
وعندما يكون الموصل غير فعال (قواطعه مفتوحة) فإن كلاً من العمودين الرابع والخامس يُسبق بإشارة سالبة.  
العمود السادس يمثل طول الخط وإذا كان الموصل عبارة عن محوّل فإن قيمة العمود السادس تساوي الصفر.  
العمود السابع يمثل الأعطال لكل 100 km للخط أو لكل 100 محوّل.  
العمود الثامن يمثل زمن العطل الواحد.

### 3-1-3: إدخال المعطيات التي تتعلق بالقواطع:

المعطيات المتعلقة بالقواطع تتم وفق مصفوفة ثنائية البعد عدد أسطرها يساوي عدد أنواع القواطع وعدد أعمدها كما هو مبين في الجدول التالي:

النوع	عدد الأعطال لكل 100 قاطع	زمن العطل الواحد
-------	--------------------------	------------------

#### جدول رقم /3/

العمود الأول يمثل نوع القاطع ويأخذ القيم التالية:

1 ألي 66[kv] 2 يدوي 66[kv] 3 ألي 20[kv] 4 يدوي 66[kv] 5 يدوي 0.4[kv]  
العمود الثاني يمثل عدد الأعطال لكل 100 قاطع.  
العمود الثالث يمثل زمن العطل الواحد.

### 2-3: تحديد بارامترات الموثوقية لجميع العناصر المكوّنة للشبكة: Calculation d & q For Each Element

بعد إدخال المعطيات كما في البند السابق يمكن تحديد كل من q و d لكل عنصر من العناصر المكافئة المكوّنة للشبكة ويتم ذلك على الشكل التالي:

- للخطوط: يتم ذلك وفق العلاقات (25) للخطوط الأحادية و (26) للخطوط المضاعفة. - للمحولات: يتم ذلك وفق العلاقات (23) للمحولات الأحادية و (24) للمحولات المضاعفة. - للعقد: يتم وفق العلاقات (19) و (20) للقضبان الأحادية و (21) و (22) للقضبان المضاعفة.  
وتوضع النتائج في جداول على الشكل التالي:

للخطوط والمحولات

الرقم	البداية	النهاية	D	Q
-------	---------	---------	---	---

جدول رقم /4/

للعقد

الرقم	النوع	D	Q
-------	-------	---	---

جدول رقم /5/

### 3-3: تمثيل الشبكة الكهربائية: Modeling Of Network

#### 1-3-3: استنتاج الشكل الشعاعي للشبكة من الشكل الحلقي: Determine Radial Network

في هذه المرحلة يتم الحصول على شبكة شعاعية من شبكة مغلقة [5,7] ، ويتم ذلك بحذف الخطوط غير الفعّالة (حذف الأضلاع التي تكون مسبقة بإشارة سالبة).

إن دخل هذه المرحلة هو مصفوفة التشكيل المباشر قبل حذف الأضلاع وخرجها مصفوفة التشكيل المباشر بشكلها الشعاعي، وتوضع النتائج على الشكل التالي:

الرقم	البداية	النهاية
-------	---------	---------

جدول رقم /6/

#### 2-3-3: الترقيم الثانوي للعقد: Secondary Numeration Of Nodes

إن الترقيم الأولي للعقد هو ترقيم عشوائي لا يتفق وتسلسل ترقيم العقد حسب ورودها في النموذج التمثيلي، لهذا السبب فإن الترقيم الأولي يشكل عقبة صعبة في طريقة استنتاج مصفوفة التشكيل العكسي،

لذلك ومن أجل تجاوز هذه العقبة نقترح إعادة ترقيم عقد النموذج التمثيلي بشكل متسلسل يتفق في تسلسله مع ترتيب ورود العقد في النموذج التمثيلي، وهذا الترخيم الجديد يسمى الترخيم الثانوي للعقد [5,7].  
إن دخل هذه المرحلة هو مصفوفة التشكيل المباشر للشكل الشعاعي وخرجها مصفوفة الترخيم الثانوي للعقد، وتوضع النتائج على الشكل التالي:

الترخيم الأولي للعقد	الترخيم الثانوي للعقد
----------------------	-----------------------

#### جدول رقم 17/

نلاحظ من مصفوفة الترخيم الثانوي للعقد انطباق عمود الترخيم الثانوي على عمود الترخيم التسلسلي، الأمر الذي يؤدي دوراً كبيراً في توفير مساحة إضافية في ذاكرة الحاسوب وهذا ما يدفعنا إلى اعتماد الترخيم الثانوي.

### 3-3-3: الترخيم الثانوي للأضلاع: Secondary Numeration Of Branches

بعد تغيير الترخيم للعقد من أولي إلى ثانوي فإنه من المفروض إعادة صياغة مصفوفة التشكيل المباشر للشبكة مستخدمين الترخيم الثانوي للعقد.

إن دخل هذه المرحلة هو مصفوفة التشكيل المباشر في الشكل الشعاعي ومصفوفة الترخيم الثانوي للعقد، وخرجها مصفوفة التشكيل المباشر للشبكة الشعاعية بالترخيم الثانوي وتوضع النتائج على الشكل التالي:

الرقم	البداية	النهاية
-------	---------	---------

#### جدول رقم 18/

### 3-3-4: التشكيل التناظري الورقي للشبكة: Symmetrical Configuration

بعد الحصول على الترخيم الثانوي لكل من الأضلاع و العقد نلاحظ أن جميع المسارات في النموذج التمثيلي هي من الأمتهات إلى البنات ، ومن ثم فإن المصفوفة لا تمكّننا من استنتاج مصفوفة التشكيل العكسي وذلك لعدم احتوائها على جميع المسارات المحتملة، لذلك سوف نطوّر هذه المصفوفة لتضم المسارات من العقد البنات إلى العقد الأمتهات أي نقوم بتحويل النموذج التمثيلي الموجه إلى نموذج تمثيلي تناظري [5,7] وذلك بإضافة ضلع آخر  $(J,I)$  إلى كل ضلع  $(I,J)$  وهذا ما يسمى بالصيغة التناظرية للشبكة

#### Symmetrical Configuration Of Network

إن دخل هذه المرحلة هو مصفوفة التشكيل المباشر بالترخيم الثانوي أما خرجها فهو مصفوفة التشكيل التناظري وتوضع النتائج على الشكل التالي:

رقم العقدة البنات	رقم العقدة الأم للعقدة البنات من الحقل الأول	رقم العقدة البنات من الحقل الأول بعد ضم المسارات الجديدة
-------------------	--	--

#### جدول رقم 19/

إن التشكيل التناظري يصاغ في ذاكرة الحاسوب بواسطة الشعاعين التاليين:

$T_1(1:n)$  و  $T_2[1:2(n-1)]$  اللذان يصاغان على الشكل التالي:

$T_1[k]$ : رقم عقدة النهاية  $k$ : رقم متسلسل وهو رقم عقدة البداية.

$T_2[k]$ : الرقم الذي ستأخذه العقدة في المرحلة الثانية من الترقيم . ويتم هذا الترقيم وفق مرحلتين:

**المرحلة الأولى:** يتم فيها تغيير الاتجاه الأساسي وهو يمثل عقدة البداية لكل ضلع، وهذا يشمل من  $1$  إلى  $N$ ، ثم نملاً العمود الثاني  $T_1[k]$  من المصفوفة والذي يمثل عقد النهاية بحيث إن اتجاه الجريان من العقد البنات إلى العقد الأمهات، وللحصول على تشكيل ورقي كامل يجب أن نصل الأمهات مع البنات وذلك يتم بمتابعة الترقيم من  $N-2(N-1)$ .

**المرحلة الثانية:** سوف تُمنح الأرقام الجديدة للعقد السابقة نفسها وبذلك نملاً العمود الثالث  $T_2[k]$ ، وهناك بعض العقد سوف تأخذ الرقم  $0$  وذلك لأنها ليست أمهات لأية عقد بنات وإنما فقط نهاية مسار.

### 3-3-5: التشكيل العكسي للشبكة: Inversely Configuration

بعد الحصول على الصياغة التناظرية للشبكة يتم تحويلها إلى نموذج تمثيلي واقعي من خلال اختيار الضلع الفعّال من الضلعين  $(I,J)$  و  $(J,I)$  وهذا ما يسمى الصياغة الانعكاسية للشبكة **Inversely Configuration Of Network** والتي تشكل الأساس لجميع الحسابات اللازم تنفيذها على الشبكة.

إن دخل هذه المرحلة هو مصفوفة التشكيل التناظري الورقي وخرجها هو مصفوفة التشكيل العكسي والتي تكون على الشكل التالي:

أرقام العقد البنات	أرقام العقد الأمهات
--------------------	---------------------

جدول رقم /10/

### 3-4: تحديد مسارات التغذية لكل حمل من أحمال الشبكة: Feeder Track

For Each Load

إن تمثيل الشبكات الشعاعية باستخدام التشكيل العكسي [7] يمكننا من تخزين الشبكة الشعاعية بشكل يسهل معه حل المسائل المختلفة للشبكات باستخدام الحاسوب، كما أن مصفوفة التشكيل العكسي تبيّن ربط العقد البنات بالعقد الأمهات مما يسهل إيجاد المسارات بين كل عقدة من الشبكة والعقدة الأساس التي تمثل في معظم الأحيان باسبارات المحوّلّة المغذّية . إن دخل هذه المرحلة هو مصفوفة التشكيل العكسي للشبكة ورقم العقدة المطلوب تحديد مسارها المغذّي ، وخرجها فهو مصفوفة مؤلفة من

عمودين: العمود الأول يبيّن أرقام العقد التي يتألف منها المسار في الترقيم الثانوي ،  
والعمود الثاني يبيّن أرقام العقد التي يتألف منها المسار في الترقيم المباشر الأولي.

عدد عقد المسار	
عقد المسار في الترقيم الثانوي	عقد المسار في الترقيم الأولي

جدول رقم /11/

الرقم	بداية	نهاية
-------	-------	-------

جدول رقم /12/

إن هذه المسارات المغذية لكل حمل هي عبارة عن المغذيات الرئيسية.

### 5-3: تحديد بارامترات الموثوقية لكل حمل وفق مساره: Cal. d & q For Each Feeder Track

بعد تحديد المسارات المغذية لكل عقدة من عقد الحمولة يتم معرفة الخطوط والباسبارات المحتواة ضمن كل مسار ومن ثمّ يمكن اعتبار أن هذه العناصر موجودة ضمن نظام تسلسلي مغذٍ للعقدة [6].

إن دخل هذه المرحلة هو الجدول رقم/11/ للعقد، والجدول رقم /12/ للخطوط، والجدول رقم /4/، والجدول رقم /5/ التي تعطي بارامترات العناصر الداخلة في تكوين المسار، وبالإستفادة من العلاقات (9) و (10) يتم حساب Q و D لكل مسار، وخرج هذه المرحلة عبارة عن مصفوفة مؤلفة من ثلاثة أعمدة : العمود الأول يبيّن رقم الحمل، والثاني يبيّن قيمة D للمسار المغذي للحمل، والعمود الثالث يبيّن قيمة Q.

رقم الحمل	D	Q
-----------	---	---

جدول رقم /13/

### 6-3: تمثيل الأعطال ممكنة الحدوث وتحديد المسارات الجديدة: Modeling Faults

من خلال ما سبق نلاحظ أن حدوث عطل على أي عنصر من العناصر المكوّنة للمسار يؤدي إلى انقطاع التغذية عن كامل الحمل [6] ، ونظراً لأنّ المسار يتألف من عناصر مختلفة ( خطوط – محولات- بارات ) فإنّه يمكن أن نتوقع حدوث عطل ما في أي عنصر من هذه العناصر، ألاّ إنه ومن خلال القيم الإحصائية المتعلقة بعدد الأعطال لكل من هذه العناصر نجد أن حدوث الأعطال على الخطوط أكبر منه بكثير على البارات لذلك نقصر هنا على تمثيل الأعطال الحاصلة فقط على الخطوط. إن دخل هذه المرحلة كما في المرحلة السابقة بعد تمثيل الأعطال على كل عنصر من هذه العناصر المكوّنة

للمسار المحدد يمكن عندئذ أن نبحث عن المسار الجديد الذي يؤمن التغذية الاحتياطية وذلك بوصل القاطع الموجود بالقرب من مكان العطل، ويتم ذلك بالعودة إلى الجدول رقم /2/ الذي يحوي العناصر غير الفعالة ، ومن ثمّ البحث عن المسار الجديد الذي يُعدّ المغذي الاحتياط المؤمّن للتغذية للحمل المدروس عند حدوث العطل.

خرج هذه المرحلة هو الجدول رقم /14/ (المشابه للجدول رقم /11/ ) والجدول رقم /15/ (المشابه للجدول رقم /12/) والجدول رقم /16/ (المشابه للجدول رقم /13/).

### 7-3: تحديد D و Q لكل حمل بعد العطل المفروض: Cal. D & Q For Each Load

اعتماداً على المرحلتين السابقتين فقد تمّ حساب q و d لكل من المغذي الرئيسي والمغذي الاحتياط [6]، ومن ثمّ فإنّ بارامترات الموثوقية المتعلقة بتغذية حمل ما يمكن تحديدها بالاستفادة من العلاقات (32) و (33) و (34) و (35) .

إن دخل هذه المرحلة هو الجدول رقم /13/ للرئيسي والجدول رقم /16/ للاحتياط ، وخرجها يكون على مصفوفة مؤلفة من خمسة أعمدة على الشكل التالي:

رقم الحمل	D <sub>12</sub>	Q <sub>12</sub>	D	Q
-----------	-----------------	-----------------	---	---

#### جدول رقم /17/

المخطط الصندوقي Flow Chart للخوارزمية المقترحة مبين على الشكل رقم /6/.

### 4-مثال تطبيقي: Numerical Example:

كمثال تطبيقي سوف نعتد شبكة التوزيع الكابلية المبينة على الشكل رقم /7/ والتي هي عبارة عن جزء من شبكة التوتر المتوسط لإحدى المدن ومغذاة من محطتي تحويل 66/20 kv وتغذي عدداً من الأحمال 20/0.4 kv.

معطيات هذه الشبكة على النحو التالي:

					24	6
1	1	10	5	4	4	
2	1	10	5	4	4	
3	1	10	5	4	4	
4	2	8	6	0.32	10	
5	2	10	8	0.32	10	
6	2	8	6	0.32	10	
7	2	8	6	0.32	10	

8	2	10	8	0.32	10
9	2	3	2	0.32	10
10	2	10	8	0.32	10
11	2	10	8	0.32	10
12	2	3	2	0.32	10
13	2	10	8	0.32	10
14	2	10	8	0.32	10
15	2	10	8	0.32	10
16	2	8	6	0.32	10
17	2	8	6	0.32	10
18	2	3	2	0.32	10
19	3	6	4	1	3
20	3	6	4	1	3
21	3	6	4	1	3
22	3	6	4	1	3
23	3	6	4	1	3
24	3	6	4	1	3

الجدول رقم /4-1/: معطيات الباسبارات

				29	8			
1	1	2	1	1	0	0	0	
2	2	4	0	1	0	6	12	
3	2	8	0	1	0	6	12	
4	4	6	1	1	1.2	22	12	
5	8	10	1	1	1.5	22	12	
6	10	16	1	1	1.8	22	12	
7	10	12	1	1	1.5	22	12	
8	12	14	1	1	2.5	22	12	
9	1	3	1	1	0	0	0	
10	3	5	0	1	0	6	12	
11	5	7	1	1	3	22	12	
12	5	11	1	1	2.5	22	12	

13	5	9	1	1	2.5	22	12
14	11	13	1	1	1.5	22	12
15	11	15	1	1	2.5	22	12
16	15	17	1	1	3	22	12
17	13	18	1	1	1.8	22	12
18	-10	-11	1	1	2.5	22	12
19	-16	-7	1	1	2	22	12
20	-14	-17	1	1	2.5	22	12
21	-17	-18	1	1	1.8	22	12
22	-4	-8	1	1	0	0.55	8.7
23	-9	-6	1	1	1.8	22	12
24	6	24	0	1	0	4.8	29
25	9	23	0	1	0	4.8	29
26	13	19	0	1	0	4.8	29
27	8	20	0	1	0	4.8	29
28	14	21	0	1	0	4.8	29
29	12	22	0	1	0	4.8	29

الجدول رقم /4-2/: معطيات الموصلات

5	3
1	3 6
2	0.8 4
3	13 5.5
4	0.55 8.7
5	0.4 8.9

الجدول رقم /4-3/: معطيات القواطع

23	5
1	1 2 0.27100 0.000174
2	2 4 0.16000 0.000102
3	2 8 0.16000 0.000102
4	4 6 0.53500 0.000536
5	8 10 0.60100 0.000626

6	10	16	0.66700	0.000717
7	10	12	0.60100	0.000626
8	12	14	0.82100	0.000928
9	1	3	0.27100	0.000174
10	3	5	0.16000	0.000102
11	5	7	0.93100	0.001078
12	5	11	0.82100	0.000928
13	5	9	0.82100	0.000928
14	11	13	0.60100	0.000626
15	11	15	0.82100	0.000928
16	15	17	0.93100	0.001078
17	13	18	0.66700	0.000717
18	-10	-11	0.82100	0.000928
19	-16	-7	0.71100	0.000777
20	-14	-17	0.82100	0.000928
21	-17	-18	0.66700	0.000717
22	-4	-8	0.27100	0.000174
23	-9	-6	0.66700	0.000717

الجدول رقم /4-4/: بارامترات الموثوقية للخطوط المحولات

18 4

1	1	0.42482	1.9025639269E-04
2	1	0.42482	1.9025639269E-04
3	1	0.42482	1.9025639269E-04
4	2	0.04523	4.0443778539E-05
5	2	0.05508	4.7867865297E-05
6	2	0.04523	4.0443778539E-05
7	2	0.04523	4.0443778539E-05
8	2	0.05508	4.7867865297E-05
9	2	0.02233	2.1942636986E-05
10	2	0.05508	4.7867865297E-05
11	2	0.05508	4.7867865297E-05

12	2	0.02233	2.1942636986E-05
13	2	0.05508	4.7867865297E-05
14	2	0.05508	4.7867865297E-05
15	2	0.05508	4.7867865297E-05
16	2	0.04523	4.0443778539E-05
17	2	0.04523	4.0443778539E-05
	18	2	0.02233 2.1942636986E-05

الجدول رقم /4-5/: بارامترات الموثوقية للبارات

		17	1
1	1	2	
2	2	4	
3	2	8	
4	4	6	
5	8	10	
6	10	16	
7	10	12	
8	12	14	
9	1	3	
10	3	5	
11	5	7	
12	5	11	
13	5	9	
14	11	13	
15	11	15	
16	15	17	
17	13	18	

الجدول رقم /4-6/: مصفوفة التشكيل المباشر بالشكل الشعاعي

17		18	1
1	1	2	1
2	2	4	2

3	2	5	3	3
4	4	7	4	4
5	5	8	5	8
6	8	12	6	5
7	8	13	7	6
8	13	16	8	10
9	1	3	9	7
10	3	6	10	11
11	6	9	11	9
12	6	10	12	16
13	6	11	13	12
14	10	14	14	13
15	10	15	15	15
16	15	18	16	14
17	14	17	17	18

الجدول رقم /4-8/: التقييم الثانوي للأضلاع

الجدول رقم /4-7/: التقييم الثانوي للعقد

34	18	1	0	
1	2	19	2	1
2	1	20	3	1
3	1	22	4	2
4	2	23	5	2
5	2	24	6	3
6	3	25	7	4
7	4	0	8	5
8	5	28	9	6
9	6	0	10	6
10	6	30	11	6
11	6	0	12	8
12	8	0	13	8
13	8	32	14	10

14	10	33	15	10
15	10	34	16	13
16	13	0	17	14
17	14	0	18	15
18	15	0		

الجدول رقم /4-10/: التشكيل العكسي للشبكة

19	3	0
20	4	21
21	5	0
22	6	0
23	7	0
24	8	0
25	9	26
26	10	27
27	11	0
28	12	29
29	13	0
30	14	31
31	15	0
32	16	0
33	17	0
34	18	0

الجدول رقم /4-9/: التشكيل التناظري الورقي للشبكة

عقدة رقم /6/

4

1	1			
2	2	1	1	2
4	4	2	2	4
7	6	3	4	6

عقدة رقم /7/

4

1	1			
3	3	1	1	3

6 5            2 3 5

9 7            3 5 7

عقدة رقم /9/

4

1 1

3 3            1 1 3

6 5            2 3 5

11 9            3 5 9

عقدة رقم /16/

5

1 1

2 2            1 1 2

5 8            2 2 8

8 10            3 8 10

12 16            4 10 16

عقدة رقم /14/

6

1 1

2 2            1 1 2

5 8            2 2 8

8 10            3 8 10

13 12            4 10 12

16 14            5 12 14

عقدة رقم /18/

6

1 1

3 3            1 1 3

6 5            2 3 5

10 11            3 5 11

14 13            4 11 13

17 18            5 13 18

عقدة رقم /17/

6

1 1

3	3	1	1	3
6	5	2	3	5
10	11	3	5	11
15	15	4	11	15
18	17	5	15	17

الجدول رقم/4،12/: خطوط المسار الرئيسي  
الجدول رقم /4،11/: عقد المسار الرئيسي

6	1.9061000000E+00	1.2734003425E-03
7	2.3119500000E+00	1.8228244292E-03
9	2.1790500000E+00	1.6543232877E-03
16	2.7040300000E+00	2.1356922945E-03
14	3.4912100000E+00	3.0020590183E-03
18	3.5572100000E+00	3.0930590183E-03
17	4.0641100000E+00	3.7745601598E-03

الجدول رقم /4،13/: بارامترات الموثوقية لكل حمل (مغذي أساسي) .

5	عقدة رقم /6/			
1	1			
3	3	1	1	3
6	5	2	3	5
11	9	3	5	9
7	6	4	9	6
6	عقدة رقم /7/			
1	1			
2	2	1	1	2
5	8	2	2	8
8	10	3	8	10
12	16	4	10	16
9	7	5	16	7
5	عقدة رقم /9/			
1	1			
2	2	1	1	2

4	4	2	2	4
7	6	3	4	6
11	9	4	6	9
5		عقدة رقم /16/		
1	1			
3	3	1	1	3
6	5	2	3	5
9	7	3	5	7
12	16	4	7	16
7		عقدة رقم /14/		
1	1			
3	3	1	1	3
6	5	2	3	5
10	11	3	5	11
15	15	4	11	15
18	17	5	15	17
16	14	6	17	14
7		عقدة رقم /18/		
1	1			
3	3	1	1	3
6	5	2	3	5
10	11	3	5	11
15	15	4	11	15
18	17	5	15	17
17	18	6	17	18
7		عقدة رقم /17/		
1	1			
2	2	1	1	2
5	8	2	2	8
8	10	3	8	10
13	12	4	10	12
16	14	5	12	14

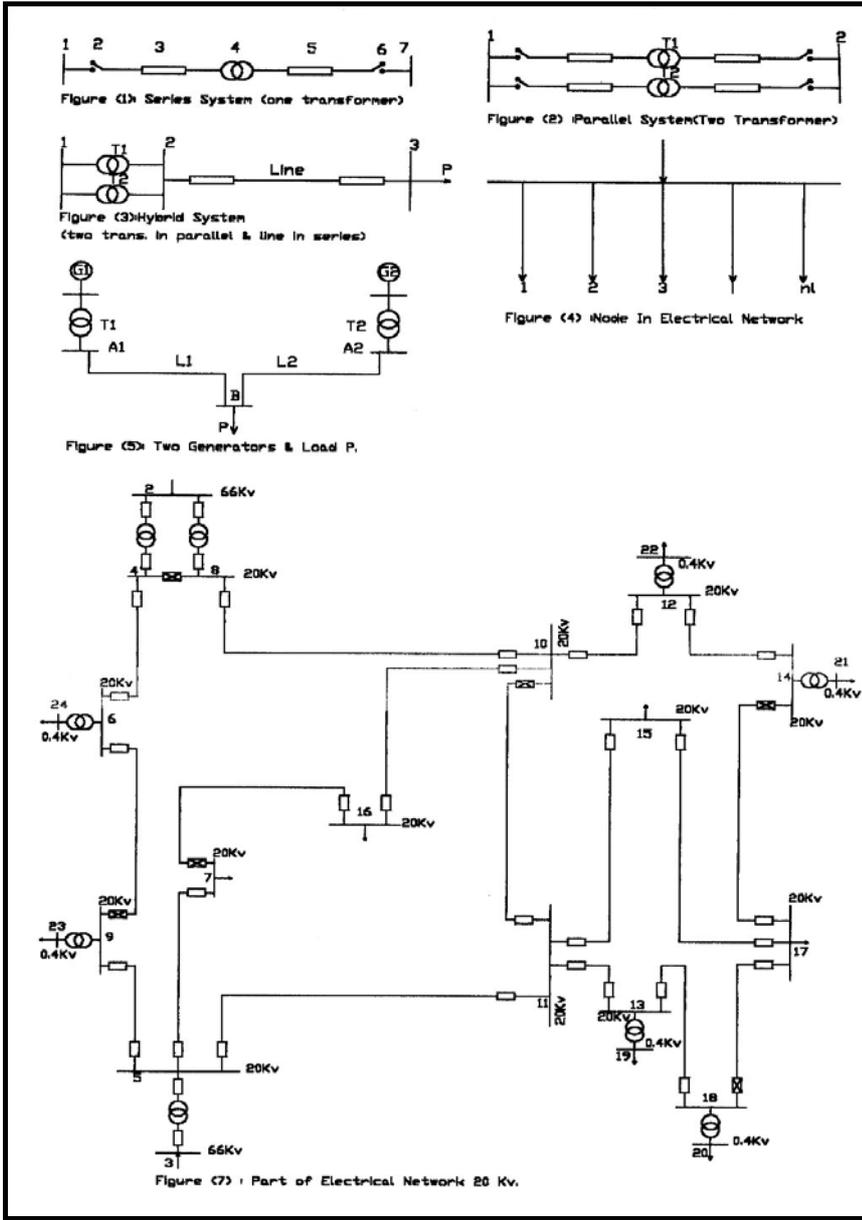
الجدول رقم/4،15: خطوط المسار الاحتياط 6 14 17  
الجدول رقم /4،14: عقد المسار 18 17  
الاحتياط

6	2.8912800000E+00	2.4117670662E-03
7	3.4602600000E+00	2.9531360731E-03
9	2.5954300000E+00	2.0123410731E-03
16	3.0681800000E+00	2.5519500000E-03
14	4.9400460000E+00	3.7802250000E-03
18	4.7534400000E+00	4.5135027968E-03
17	4.3574400000E+00	3.9705027968E-03

الجدول رقم /4،16: بارامترات الموثوقية لكل حمل (مغذي احتياط) .

6	8.27881E-03	3.07113E-06	1.95133	1.08508E-04
7	13.1347E-03	5.38961E-06	2.35718	1.24553E-04
9	8.67866E-03	3.32905E-06	2.20138	0.99596E-04
16	13.4539E-03	5.45017E-06	2.74926	1.38036E-04
14	28.0278E-03	1.13484E-05	3.54639	1.77817E-04
18	30.7581E-03	1.39604E-05	3.60244	1.75173E-04
17	32.5838E-03	1.49868E-05	4.66343	1.74031E-04

الجدول رقم /4،17: بارامترات الموثوقية لكل حمل .



**5- الاستنتاجات Conclusion :**

إن الهدف الأساسي من البحث هو تحديد بارامترات الموثوقية للأحمال في شبكات التوزيع ، وهذا ما توصلت إليه فعلاً في الجدول رقم /4،17/ في العمودين الرابع و الخامس .

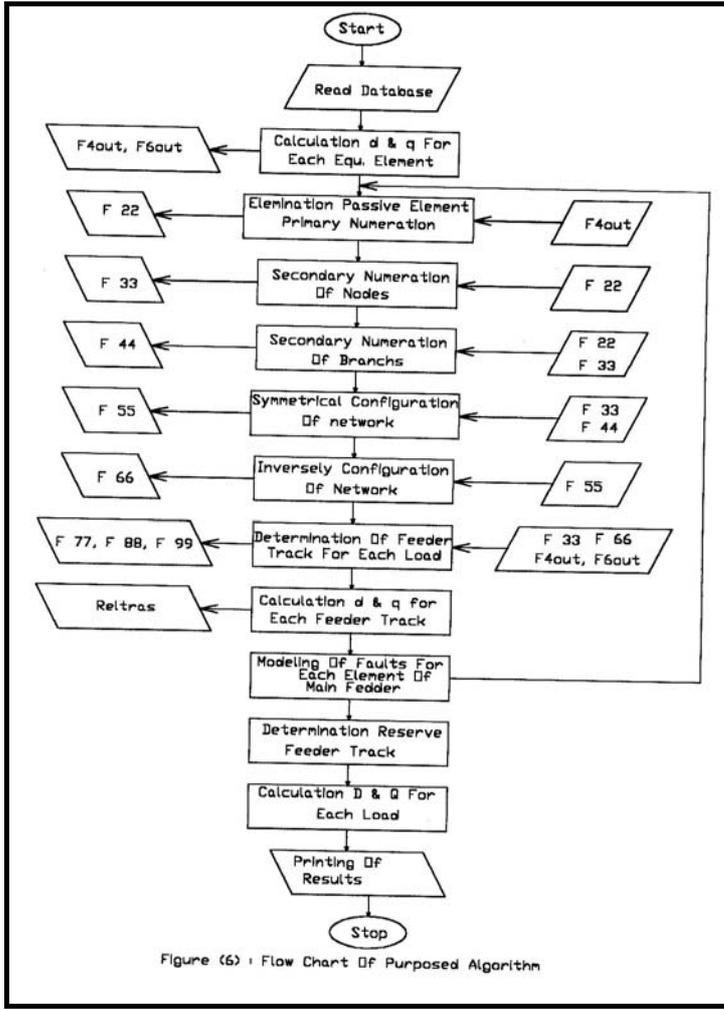
من خلال الدراسة السابقة نلاحظ أن حسابات الموثوقية في شبكات التوزيع الكهربائية سهلة جداً ومريحة عند استخدام الصياغة الانعكاسية في تمثيل الشبكات الشعاعية، وخصوصاً عند استخدام الحاسوب لهذا الغرض ، حيث تم تشكيل نموذج رياضي وبناء خوارزمية و إعداد برنامج حسابي لتمثيل الشبكة بشكلها الشعاعي المستنتج من الشكل الحلقي المغلق بعد حذف العناصر غير الفعالة ، وكذلك تم تحديد المسار الرئيسي المغذي لكل حمل من الأحمال والمسار الاحتياط عند حدوث عطل ما على أحد الخطوط الداخلة في تكوين المسار الرئيسي ، ومن ثم تم تحديد بارامترات الموثوقية لكل حمل من الأحمال المدروسة في الشبكة.

إذا ما قارنا هذه الأرقام مع أرقام الجدول رقم /4،13/ للمغذيات الأساسية ، ومع أرقام الجدول رقم /4،16/ للمغذيات الاحتياطية فإننا نلاحظ أنها أصغر بكثير ، وكما هو ملاحظ أن قيمة  $Q$  هي من مرتبة  $10^{-4}$ ، في حين قيمة  $Q$  للمغذيات الأساسية و الاحتياط من مرتبة  $10^{-3}$ ، وهذا ما ينتج عنه زيادة في درجة الموثوقية ( $P= 1-Q$ ) في تغذية الأحمال،

ومن ثم نقصان في التكاليف الناتجة عن عدم استمرارية التغذية، وهذا يعود بفائدة فنية واقتصادية عند تخطيط شبكات التوزيع الكهربائية.

عند دراسة شبكات التوزيع الكهربائية نسعى دائماً لأن تكون قيمة  $D$  و  $Q$  لكل عقدة أصغر ما يمكن ، ويتم ذلك كما لاحظنا عن طريق التغذية الاحتياطية ( العناصر غير الفعالة المسبوقه بإشارة ناقص في الجدول رقم /4،2/ )، وهذا بدوره يزيد من التكاليف الثابتة الناتجة عن إنشاء خطوط غير محملة وتعمل فقط في حالات الأعطال ، ولكن بدوره يزيد من درجة الموثوقية ويخفض من التكاليف الناتجة عن عدم الاستمرارية.

إن هذه الدراسة ذات فوائد عديدة نذكر منها على سبيل المثال : الاختيار الأمثل للمسارات المغذية للأحمال في شبكات التوزيع الكهربائية فنياً واقتصادياً، عندها تتم دراسة التكاليف الناتجة عن عدم استمرارية التغذية بالطاقة الكهربائية أو ما يسمى أحياناً تكاليف الموثوقية، حيث إنه بمعرفة بارامترات الموثوقية لكل مسار من المسارات المغذية للأحمال يمكن تحديد التكاليف الناتجة عنه ومن ثم التكاليف الناتجة عن كامل الشبكة والتي بدورها تضاف إلى التكاليف الثابتة والمتحركة عند تحديد التكاليف الكلية لكامل الشبكة المطلوب تخطيطها.



### قائمة المصطلحات المستخدمة

- $d_s$  : عدد الأعطال على قضبان التجميع ولقطب واحد.  
 $d_o$  : عدد الأعطال على القواطع السكنية.  
 $d_{ii}$  : عدد الأعطال السنوي الوسطي على المخرج I .  
 $b_z$  : ثابت العمليات الفاشلة للحمايات .  
 $n_l$  : عدد المخارج .  
 $n_o$  : عدد القواطع السكنية .  
 $n_s$  : عدد الخلايا في محطة التوزيع .  
 $t_s$  : الزمن الوسطي لأصلاح عطل قضبان التجميع .  
 $t_o$  : الزمن الوسطي لأصلاح أو تبديل القاطع السكني .  
 $t_p$  : الزمن الوسطي لإعادة التوصيل .  
 $T = 8760[h]$  : الزمن الكلي للعمل في السنة ويساوي .  
 $k_s = 0.1$  : عامل الاشتراك للبارات ويساوي .  
 $k_l = 0.15$  : عامل الاشتراك للخطوط ويساوي:  $k_l = 0.15$  للهوائية ، و  $k_l = 0.02 - 0.1$  للكابلات .  
 $k_t = 0.01$  : عامل الاشتراك للمحولات ويساوي .  
 $d_t$  : عدد الأعطال على المحول في السنة .  
 $d_{w1}$  : عدد الأعطال للقواطع الآلي للتوتر العالي في السنة .  
 $d_{w2}$  : عدد الأعطال للقواطع الآلي للتوتر المنخفض في السنة .  
 $d_w$  : عدد الأعطال للقواطع الآلي في السنة .  
 $d_l$  : عدد الأعطال لـ  $l[km]$  من الكابل في السنة .  
 $l$  : طول الكابل بالـ  $[km]$  .  
 $n_{ol}$  : عدد القواطع اليدوية في الخط .  
 $N_{wl}$  : عدد القواطع الآلية في الخط .  
 $t_l$  : زمن إصلاح الخط .  
 $t_t$  : زمن إصلاح المحول .  
 $t_w$  : زمن إصلاح القاطع الآلي .  
 $t_{w1}$  : زمن إصلاح القاطع الآلي للتوتر العالي .

- $t_{w2}$  : زمن إصلاح القاطع الآلي للتوتر المنخفض.
- $D_{12}$  : عدد الأعطال التي تحدث على كلا المخرجين في الوقت نفسه.
- $D_1, D_2$  : عدد الأعطال للمسار الأول والمسار الثاني.
- $Q_1, Q_2$  : عامل اللاموثوقية للمسار الأول والمسار الثاني.
- $d_{11}, d_{21}$  : عدد الأعطال للجهاز I من الجهة المؤلفة لكلا المسارين.
- $k_i$  : ثابت الأعطال المشتركة للجهاز I .
- $w$  : عدد الأجهزة التي يمكن أن يحدث فيها عطل مشترك.
- $t_1, t_2$  : زمن الانقطاع في التغذية في حالة عطل أحد المسارين في حين المسار الآخر في حالة صيانة ( يساوي زمن الصيانة المخططة أو زمن إصلاح العطل ، وعادة يؤخذ الزمن الأقصر) .
- $\tau_1, \tau_2$  : زمن الانقطاع السنوي المخطط لتنفيذ أعمال الصيانة والمعايرة لكلا المسارين.
- $Q_{12}$  : عامل اللاموثوقية الناتج عن الأعطال الحاصلة بأن واحد في كلا المسارين المغذيين للحمل P .
- $t_{pi}$  : الزمن الوسيط اللازم لعمليات الفصل و الوصل الضرورية لاستئصال الانقطاع الناتج عن الأعطال المشتركة.
- $b_{sa}$  : ثابت العمليات الفاشلة للقاطع الآلي التلقائي ويساوي  $b_{sa} = 0.07$ .

#### : References المراجع

- [1]: Jerzy Sozanski , Niezawodnosc Urzadzen I Ukkladow Elektroenergetycznych, PWN, Warszawa 1974, Poland. ( In Polish)
- [2]: Jerzy Sozanski , Niezawodnosc Zasilania Energia Elektryczna, WNT, Warszawa 1982, Poland. ( In Polish)
- [3]: Jerzy Sozanski, Niezawodnosc I Jakosc Pracy Systemu Elektroenergetycznego, WNT, Warszawa 1990, Poland. ( In Polish)
- [4]: Tadeusz Kahl, Sieci Elektroenergetyczne, Wydanie Drugie, WNT, Warszawa 1984, Poland. ( In Polish)
- [5]: Szczesny Kujaszczyk, Nowoczesne Metody Obliczen Elektroenergetycznych Sieci Rozdzielczych, PWN, Warszawa 1984, Poland. ( In Polish)
- [6]: Szczesny Kujaszczyk, Elektroenergetyczne Sieci Rozdzielcze, Tom 1 & 2, PWN, Warszawa 1990, Poland. ( In Polish)

- [7]: Moustafa Al Hazzouri, Modeling Of Distribution Of Electrical Radial Networks By Using Opposite Structure Matrix, Damascus University Journal For The Engineering Sciences, Vol. 16, No. 2, 2000. (In Arabic)
- [8]: J. Arrillaga, C.P. Arnold, Computer Analysis Of Power Systems, University Of Canterbury, New Zealand, 1995.
- [9]: M.V. Deshpande, Electrical Power System Design, Tata Mc-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1992.
- [10]: Glenn W. Stagg, Ahmed H. El-Abiad, Computer Methods In Power System Analysis, Mc-Hill International Book Company, 1981.