

طريقة جديدة وبسيطة لنمذجة شبكات التوزيع الكهربائية الشعاعية وإستخدامها لحساب محددات الموثوقية لكل حمل من أحمال الشبكة الكهربائية

الدكتور المهندس نديم مخول¹

الملخص

في هذا البحث سوف نستعرض منهجية بسيطة وجديدة لتحديد الخطوط والبارات التي تشكل المسار الذي يؤمن الطاقة الكهربائية لكل حمل موصل إلى الشبكة. إن فائدة هذه الطريقة هي أنها لا تحتاج إلى ترقيم آخر للخطوط والبارات غير الترقيم الذي يوجد في مصفوفة معطيات الدخل، لذلك نجد أن هذه المنهجية تتطلب حسابات وزمن حساب أقل كثيراً مما تتطلبه الطرائق الأخرى، ونذكر منها على سبيل المثال طريقة التشكيل العكسي لتمثيل الشبكات الكهربائية. من خلال تطبيق هذه المنهجية المقترحة على عدد من شبكات التوزيع (15، 33، 69 و 85 عقدة) تبين أن هذه الطريقة صحيحة لكل نظم التوزيع بأي عدد من الخطوط والبارات. يتضمن هذا البحث تعريف على بعض الطرائق المستخدمة في تمثيل أنظمة التوزيع الكهربائية فضلاً عن صياغة المسألة والمنهجية المقترحة في هذا البحث وتطبيقها على عدد من الأمثلة الحسابية لشبكات التوزيع الشعاعية، وأخيراً تمت مناقشة النتائج والحصول على الاستنتاجات الرئيسية للبحث. فضلاً عن ذلك صمم برنامج حسابي على الحاسوب في بيئة ماتلاب لدراسة أي نظام توزيع كهربائي ويُطبق ذلك البرنامج على عدة حالات لشبكات التوزيع الكهربائية.

الكلمات المفتاحية: شبكات التوزيع الشعاعية، نمذجة شبكات التوزيع، موثوقية شبكات التوزيع الشعاعية

¹ أستاذ - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

1- مقدمة:

هناك أيضاً بعض الطرائق التي اعتمدت أسلوب تحديد الخطوط والبارات كلها التي تتلو كل عقدة مدروسة^[4]، وتعتمد هذه الطريقة على الربط بين أرقام الخطوط وأرقام البارات بحيث يكون رقم الخط دائماً يساوي رقم عقدة النهاية له، وبهذه الطريقة يمكن اختصار الحسابات والزمن اللازم لها بشكل ملحوظ، ووفق هذه العملية يمكن إيجاد أرقام الخطوط والبارات التي تأتي بعد أي خط أو أية عقدة مدروسة كلها.

هناك أيضاً بعض الطرائق التي تعتمد مبدأ ترقيم العقد في الشبكة وفق مستويات متتالية^[5] level by level ابتداءً من جهة اليسار باتجاه جهة اليمين للشبكة، وهكذا على النمط نفسه يمضي الترقيم حتى نهاية الشبكة. في هذه الحالة فإن الخط الذي يصل بين عقدتين متتاليتين لا بد من أن يحمل رقم عقدة نهايته downstream node لهذا الغرض فإن العقد سوف ترقم وفق أسلوب تصاعدي (i, i+1, i+2.... N). واعتماداً على هذا الترقيم يتم تشكيل مصفوفة معلومات [NLBL] تربط بين حمولة العقد وحمولة الخطوط التي على أساسها يمكن تحديد المسارات Paths من العقدة المرجعية حتى أية عقدة محملة يراد حساب قيمة التوتر فيها.

فضلاً عن ذلك توجد بعض الطرائق التي تقول: إنه ليس من الضروري ترقيم الخطوط والعقد بشكل تسلسلي ومنتال كما في^[6] وليس هناك أيضاً أية ضرورة لتحديد عقد البداية والنهاية لكل خط، إنما تعتمد على مجموعة العقد التي تشكل المغذي الرئيسي set of nodes of feeder و مجموعة العقد الطرفية المتفرعة عن المغذي الرئيسي set of nodes of lateral وكذلك مجموعة العقد الطرفية الثانوية التي تنفرع عن العقد الطرفية الرئيسية Set of nodes of sub lateral، و بالأسلوب نفسه يمكن أيضاً تحديد كلاً

كانت الطاقة الكهربائية وما تزال الشغل الشاغل لهذا العالم، إذ إنها تُعدُّ عصب الحياة والوقود الذي يسير عجلة الحضارة، لذلك فإن الحاجة إليها تتنامى باستمرار حيث غدت مقياساً لتطور الأمم ورقبيتها. ولماً كان هناك بعض المستهلكين الذين لا يتحملون أي انقطاع في التيار الكهربائي لذا وجب تأمين الطاقة بشكل مستمر وبدرجة موثوقية عالية لهؤلاء المستهلكين. لهذا الهدف كان لا بد عند تصميم الشبكات الكهربائية من إعادة النظر في أغلب الطرائق التي كانت مستخدمة في دراسة شبكات التوزيع الكهربائية التي لم تأخذ بالحسبان المتطلبات التي تعتمد على الحاسوب، وبناءً على ذلك وعلى التطورات السريعة في التقنيات الحاسوبية والاستخدامات الكثيرة لها في الحسابات التصميمية والاستثمارية في شبكات التوزيع، كان لا بد من البحث عن طرائق حديثة لتمثيل الشبكات الكهربائية ونمذجتها، ومن أهم هذه الطرائق كانت تلك التي تعتمد على نظرية الهياكل^[1] Graph Theory لما لها من أهمية في تمثيل الشبكات وفق نماذج تمثيلية ورقمية تساعد في توصيف الشبكة الكهربائية بكامل معطياتها، مما يسهل التعامل معها وإدخالها إلى ذاكرة الحاسوب وفق أبسط أشكال قواعد البيانات Database. أيضاً هناك بعض الطرائق التي تعتمد على أساليب التشكيل العكسي Opposite Structure^[2,3] انطلاقاً من العقد البعيدة التي تسمى بالعقد البنات girls node باتجاه العقد القريبة التي تسمى بالعقد الأمهات mothers node وصولاً إلى العقدة الأساسية (التغذية) التي تسمى بالعقدة الجذر root node.

2- خوارزمية الطريقة المقترحة:

إن الهدف الأساسي من هذا البحث هو تمثيل شبكات التوزيع الكهربائية واستخدامه عند إجراء الحسابات التصميمية في مختلف التطبيقات العملية، ولكي نستطيع أن نحقق هذا الهدف لا بد من إيجاد أسلوب بسيط نستطيع من خلاله تمثيل الشبكة الكهربائية بعناصرها كلها، ويسمح بتخزين الشبكة في ذاكرة الحاسوب بالشكل الأمثل.

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

تتجلى فكرة الخوارزمية المقترحة في هذا البحث بتحديد الخطوط والعقد كلها التي توجد خلف العقدة المدروسة، وهذا الأمر سوف يساعدنا في إيجاد المسار المغذي لكل حمل من الأحمال الموصلة إلى الشبكة الكهربائية.

قبل الدخول في تفاصيل الخوارزمية لا بد من تحديد المتغيرات الآتية:

j : عبارة عن متغير يدل على الخطوط الموجودة في الشبكة $LN1, 2, 3, \dots, j$.

من مجموعة الخطوط في المغذي الرئيسي ومجموعة الخطوط الطرفية الرئيسية المتفرعة عن المغذي الرئيسي ومجموعة الخطوط الطرفية الثانوية التي تنفرع عن الخطوط الطرفية الرئيسية، وبذلك تكون معطيات الدخل للشبكة الكهربائية مؤلفة من المجموعات الآتية: SLN, LN, FN و SLB, LB, FB وكل مجموعة من هذه المجموعات عبارة عن مصفوفة ثنائية البعد، بعدها الأول يمثل رقم المغذي وبعدها الثاني يمثل رقم العقدة أو الخط الموجود ضمن المغذي. واعتماداً على هذه المصفوفات المرتبة لكل شبكة يمكن تمثيلها وإجراء الحسابات اللازمة. من سيئات هذه الطريقة أنها تصلح فقط للشبكات التي تتألف من عدد صغير من العقد والخطوط، أمّا في الشبكات التي تحوي عدداً كبيراً نسبياً من العقد والخطوط فهناك بعض المعاناة في التجهيز والتحضير اليدوي للمصفوفات المذكورة سابقاً.

وقد تم تطوير وتوسيع الطريقة السابقة بحيث تشمل أكبر عدد من الخطوط المتفرعة عن المغذي الرئيسي [7]، إذ أُضيفت مجموعتان جديدتان: MN مجموعة العقد البسيطة set of minor nodes و ML مجموعة الخطوط البسيطة set of minor lines وهي مجموعة الخطوط التي تنفرع عن الخطوط الطرفية الثانوية.

من هذا المنطلق كان لا بد من التفكير بطريقة لتمثيل شبكات التوزيع الشعاعية ونمذجتها بحيث تأخذ بالحسبان الفوائد والميزات الجيدة كلها التي تتميز بها الطرائق السابقة وتتجاوز السيئات التي تؤثر بشكل ملحوظ في النتائج الحسابية من حيث الدقة وطول الحسابات، وكذلك طول المدة الزمنية اللازمة لإجراء العمليات الحسابية.

طريقة جديدة وبسيطة لنمذجة شبكات التوزيع الكهربائية الشعاعية واستخدامها لحساب محددات الموثوقية لكل حمل من أحمال الشبكة الكهربائية

Branch number (j)	Sending node IS(j)	Receiving node IR(j)
1	1	2
2	2	3
3	3	4
4	4	5
5	2	9
6	9	10
7	2	6
8	6	7
9	6	8
10	3	11
11	11	12
12	12	13
13	4	14
14	4	15

الجدول (1): معطيات شبكة توزيع كهربائية.

الآن سوف نشرح مفهوم عقدة نهاية الإرسال $IB(1, i_p + 1)$ ومفهوم عقدة نهاية الاستقبال $IE(1, i_p + 1)$ عند دراسة الخط الأول المبين على الشكل رقم (1) أي عندما يكون $j = 1$: إن عقدة نهاية الاستقبال للخط الأول $j = 1$ هي (2) وكما مبين في الجدول (1)، لذلك فإن $IB(1, i_p + 1)$ و $IE(1, i_p + 1)$ سوف تساعدنا في تحديد الخطوط والعقد كلها التي تقع خلف العقدة رقم (2) فضلاً عن العقدة (2) ذاتها. وفق هذه الطريقة أيضاً يمكن إيجاد الحمل الكلي المغذى من خلال العقدة (2). وبأسلوب مشابه تماماً وعند أخذ الخط الثاني $j = 2$ فإن عقدة نهاية الاستقبال للعقدة (2) هي (3)، لذلك $IB(2, i_p + 1)$ و $IE(2, i_p + 1)$ سوف تحدد العقد كلها والخطوط التي تقع خلف العقدة (3) فضلاً عن العقدة (3) ذاتها. وفق هذه الطريقة أيضاً يمكن إيجاد الحمل الكلي المغذى من خلال العقدة (3).

عندما $j = 1$ (الخط الأول في الشبكة) فإن $IR(j = 1) = 2$ ومن ثمّ سوف يتم التأكد هل $IR(j) = IS(i)$ أم لا وذلك لكل قيم

i_p : عبارة عن متغير يشير إلى عدد العقد الموجودة خلف العقدة المدروسة.

$IK(i_p)$: عبارة عن متغير ثانوي يساعد في تمييز عقد نهاية الإرسال عن عقد نهاية الاستقبال عند تحديد الخطوط في الشبكة.

$LL(i_p)$: عبارة عن متغير يخزن عقد نهاية الإرسال للسطر i ($i > j$).

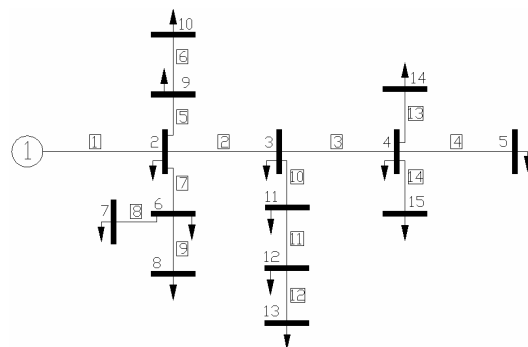
$KK(i_p)$: عبارة عن متغير يخزن عقد نهاية الاستقبال للسطر i ($i > j$).

$N(j)$: العدد الكلي للعقد التي تقع خلف العقدة المدروسة مضافاً إليه واحد (وهو العقدة المدروسة بحد ذاتها).

$IB(1, i_p + 1)$: عقدة نهاية الإرسال.

$IE(1, i_p + 1)$: عقدة نهاية الاستقبال.

لتوضيح الخوارزمية بالشكل الأسهل سوف نستعرض مثالاً لشبكة توزيع كهربائية بسيطة مؤلفة من 15 عقدة و 14 خطاً مبينة على الشكل (1)، والجدول رقم (1) يبين معطيات الشبكة المذكورة



الشكل (1): شبكة توزيع كهربائية.

1-1, LN1, 2, 3, أي في هذه المرحلة يتم البحث عن عقد نهايات الإرسال للخطوط التي تلي

الخط الأول والتي تتصل مع عقدة نهايته، من الشكل يتضح أن $IR(1) = IS(2) = 2$ و $IR(1) = IS(5) = 2$ و $IR(1) = IS(7) = 2$ ، أي أن العقدة (2) أصبحت كعقد نهايات إرسال لكل من الخطوط (2) و (5) و (7)، وفي الخطوة التالية سوف نبحث عن عقد نهايات الاستقبال لكل من الخطوط (2) و (5) و (7) لذلك:

$$IB(j,1) = 1, \quad IE(j,1) = 2$$

$$IB(j,2) = 2, \quad IE(j,2) = 3 \text{ و}$$

$$IB(j,3) = 2, \quad IE(j,3) = 9 \text{ و}$$

$$\text{و } IB(j,4) = 2, \quad IE(j,4) = 6$$

بعد هذا التحديد سوف نقوم بتخزين عقد نهايات الاستقبال باسم متغير وليكن $KK(i_p)$ ، ومن ثم:

$KK(1) = 2$ و $KK(2) = 3$ و $KK(3) = 9$ و $KK(4) = 6$ ، وهذا يعني أن العقدة (2) تتصل مع

العقد (3) و (9) و (6) وفيما يتعلق بالخطوط نلاحظ أن الخط (2) يصل بين العقدتين (2 و 3)، والخط (5) يصل بين العقدتين (2 و 9) والخط (7) يصل بين العقدتين (2 و 6).

وبالأسلوب نفسه سوف نتابع بشكل منطقي ونعد أن العقد (3) و (9) و (6) أصبحت نهايات الإرسال، ونبحث عن عقد نهايات الاستقبال التي تليها.

لهذا الهدف يتم أولاً التأكد هل العقدة (3) موجودة في العمود الأيسر من مصفوفة الدخل المبينة في الجدول (1)، وإذا كانت موجودة فسوف نبحث عن العقد المتصلة معها والموجودة في العمود الأيمن من المصفوفة، وهنا نلاحظ أن العقدة (3) متصلة مع العقدة (4) ومع العقدة (11) من خلال الخطوط (3) و (10) لذلك: $IB(j,5) = 3, \quad IE(j,5) = 4$

و $IE(j,6) = 11$ و $IB(j,6) = 3$ و $KK(5) = 4$ و $KK(6) = 11$. كذلك يتم التأكد هل العقدة (9) موجودة في العمود الأيسر من مصفوفة الدخل المبينة في الجدول رقم (1)، وإذا كانت موجودة فسوف نبحث عن العقد المتصلة معها والموجودة في العمود الأيمن من المصفوفة، وهنا نلاحظ أن العقدة (9) متصلة مع العقدة (10) من خلال الخط (6) ومن ثم:

$IE(j,7) = 10$ و $IB(j,7) = 9$ و $KK(7) = 10$ وبشكل مشابه يتم التأكد هل العقدة (6) موجودة في العمود الأيسر من مصفوفة الدخل المبينة في الجدول رقم (1)، وإذا كانت موجودة فسوف نبحث عن العقد المتصلة معها والموجودة في العمود الأيمن من المصفوفة، وهنا نلاحظ أن العقدة (6) متصلة مع العقدة (7) ومع العقدة (8) من خلال الخطوط (8) و (9) لذلك: $IE(j,8) = 7$ و $IB(j,8) = 6$ و $IE(j,9) = 8$ و $IB(j,9) = 6$ و $KK(8) = 7$ و $KK(9) = 8$

نلاحظ مما سبق أن العقدة (3) متصلة مع كل من (4) و (10) و (9) متصلة مع (10) و (6) و (10) متصلة مع (7) و (8)، وبالأسلوب نفسه سوف نتابع ونعد أن العقد (4) و (11) و (10) و (7) و (8) أصبحت نهايات الإرسال، ونبحث عن عقد نهايات الاستقبال التي تليها.

سوف تستمر هذه العملية وفق الأسلوب السابق حتى يتم اختبار الخطوط والعقد كلها الموجودة في الشبكة والتي تقع خلف العقدة (2).

بعد ذلك يتم الانتقال إلى $z = 2$ (الخط الثاني في الشبكة) ويتم البحث عن كافة الخطوط والعقد التي تقع خلف عقدة نهايته وفق ما تم ذكره سابقاً.

طريقة جديدة وبسيطة لنمذجة شبكات التوزيع الكهربائية الشعاعية واستخدامها لحساب محددات الموثوقية لكل حمل من أحمال الشبكة الكهربائية

	Sending End nodes	Receiving End nodes
Branches beyond node 2	Node behind node 2 has been skipped	2
	2	3
	3	4
	4	5
	2	9
	9	10
	2	6
	6	7
	6	8
	3	11
	11	12
	12	13
4	14	
4	15	

الجدول (2): الخطوط التي تقع خلف العقدة (2).

وبذلك تكون الخوارزمية المقترحة لإيجاد مسار التغذية لكل حمل من أحمال الشبكة وفق ما عُرِض سابقاً على الشكل الآتي:

كما هو مبين على الشكل (2) فإن الخوارزمية المقترحة تتكون من 22 خطوة يمكن أن نلخصها على الشكل الآتي:

خطوة 1: Read Data مدخلات البرنامج وهي عبارة عن المعطيات المبينة في الجدول (1).

خطوة 2: $j = 1$ بدء العملية التكرارية للخطوط.

خطوة 3: $k = j + 1$ الانتقال إلى الخط التالي.

خطوة 4: $i_p = 0$, $i_q = 0$ متغيرات برمجية مساعدة لكل من عقد الإرسال وعقد الاستقبال.

خطوة 5: $i = k$ وسيط مساعد يبين أرقام الخطوط المتصلة بالعقدة المدروسة.

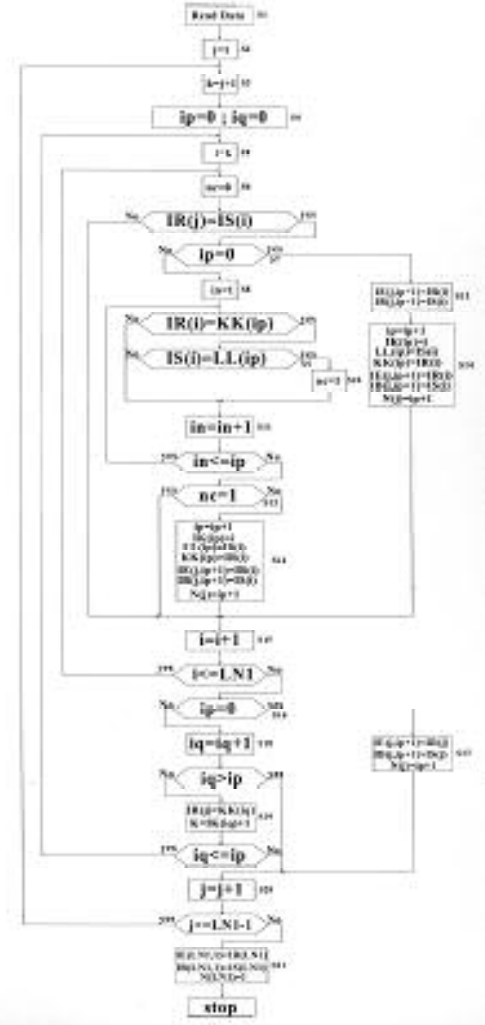
خطوة 6: $n_c = 0$ وهنا تتم عملية المقارنة.

$if \{IR(j) = IS(i)\}$ إن لم يتحقق هذا الشرط اذهب

إلى الخطوة 15

خطوة 7: وهنا أيضاً عملية مقارنة $\{i_p = 0\}$

الجدول رقم (2) يبين الخطوط والعقد كلها التي تقع خلف العقدة (2) والتي هي نهاية استقبال الخط الأول $j = 1$ ويمكن أيضاً ترتيب النتائج كلها للخطوط اللاحقة $j = 2, 3, \dots, LN1$ وفق جداول مشابهة للجدول رقم (2)



الشكل (2): المخطط الصندوقي للخوارزمية المقترحة.

- إذ ذهب إلى الخطوة 20
- خطوة 18:** $i_q = i_q + 1$ وبعدها تتم عملية المقارنة
- $$if \{i_q > i_p\}$$
- إن تحقق الشرط اذهب إلى الخطوة 20.
- خطوة 19:** $IR(j) = KK(i_q)$
- $k = IK(i_q) + 1$ وبعدها تتم عملية المقارنة
- $$if \{i_q \leq i_p\}$$
- إن تحقق الشرط اذهب إلى الخطوة 5.
- خطوة 20:** $j = j + 1$ وبعدها تتم عملية المقارنة
- $$if \{j \leq LN1 - 1\}$$
- إن تحقق الشرط اذهب إلى الخطوة 3.
- خطوة 21:** عملية إسناد قيم
- $$IE(LN1, 1) = IR(LN1)$$
- $$IB(LN1, 1) = IS(LN1)$$
- $$N(LN1) = 1$$
- خطوة 22:** طباعة النتائج وإيقاف العملية
- بعد تنفيذ خطوات هذه الخوارزمية كلها سوف نحصل على نتائج مماثلة للنتائج المبينة في الجدول رقم (2)، ولكل عقدة على حدة.
- 3- أمثلة حسابية وتطبيقات:**
- 3-1: مثال أول:**
- وفق الخوارزمية المعروضة سابقاً صُمم برنامج حسابي ضمن بيئة MATLAB يقوم بتحديد العقد والخطوط كلها التي تقع خلف كل عقدة من عقد الشبكة المدروسة، ومع هذه النتيجة تسهل عملية تحديد المسار المغذي لكل حمل من أحمال شبكة التوزيع بمكوناته كلها (عقد وخطوط) اللازمة في التطبيقات العملية والحسابية (جريان استطاعة، موثوقية،....). وقد كانت النتائج كما هي في الجدول (3).
- نلاحظ من الجدول أن البرنامج يعطي فقط النقاط التي يوجد خلفها نقاط أخرى، في حين النقاط غير
- إن تحقق هذا الشرط اذهب إلى الخطوة 13
- خطوة 8:** $in = 1$ وسيط برمجي.
- خطوة 9:** عملية
- مقارنة $\{Is(i) = LL(i_p) \& IR(i) = KK(i_p)\}$
- إن لم يتحقق هذا الشرط اذهب إلى الخطوة 11.
- خطوة 10:** $n_c = 1$.
- خطوة 11:** $in = in + 1$
- وبعدها تتم المقارنة $if \{in \leq i_p\}$
- إن تحقق الشرط اذهب إلى الخطوة 9.
- خطوة 12:** عملية مقارنة هل بقيت قيمة الوسيط
- $$if \{n_c = 1\}$$
- إن تحقق الشرط اذهب إلى الخطوة 15
- إن لم يتحقق هذا الشرط اذهب إلى الخطوة 14
- خطوة 13:** عملية إسناد قيم
- $$IE(j, i_p + 1) = IR(j)$$
- $$IB(j, i_p + 1) = IS(j)$$
- خطوة 14:** عملية إسناد قيم
- $$i_p = i_p + 1, \quad IK(i_p) = i$$
- $$LL(i_p) = IS(i)$$
- $$KK(i_p) = IR(i)$$
- $$IE(j, i_p + 1) = IR(i)$$
- $$IB(j, i_p + 1) = IS(i)$$
- $$N(j) = i_p + 1$$
- خطوة 15:** $i = i + 1$ وبعدها تتم عملية المقارنة
- $$if \{i \leq LN1\}$$
- إن تحقق الشرط اذهب إلى الخطوة 6
- خطوة 16:** عملية مقارنة $if \{i_p = 0\}$
- إن لم يتحقق الشرط اذهب إلى الخطوة 18
- خطوة 17:** عملية إسناد قيم
- $$IE(j, i_p + 1) = IR(j)$$
- $$IB(j, i_p + 1) = IS(j)$$
- $$N(j) = i_p + 1$$

طريقة جديدة وبسيطة لنمذجة شبكات التوزيع الكهربائية الشعاعية واستخدامها لحساب محددات الموثوقية لكل حمل من أحمال الشبكة الكهربائية

Load 5		Load 11		Load 12	
Nodes	Lines	Nodes	Lines	Nodes	Lines
4	4	10	10	11	11
3	3	3	2	10	10
2	2	2	1	3	3
	1			2	2
					1

الجدول(4): المسارات المغذية للعقد.

لكي نحدد المسارات المغذية لكل عقدة (لكل حمل) نكتفي هنا فقط بالمصفوفة الأولى المتعلقة بالعقدة (2)، التي تعدُّ العقدة الأولى في الشبكة بعد العقدة المغذية، وتعدُّ هذه المصفوفة بمنزلة معطيات دخل للمرحلة الثانية من البرنامج الذي يتطلب رقم العقدة (الحمل) المطلوب تحديد مسارها المغذي، بينما خرج هذه المرحلة فهو عبارة عن مصفوفة مؤلفة من عمودين: الأول (الأيسر) يبيِّن أرقام العقد التي تقع قبل العقدة (الحمل) المطلوب تحديد المسار المغذي لها والعمود الثاني (الأيمن) يبيِّن أرقام الخطوط التي يتألف منها المسار المغذي، وهكذا يمكن أن نحصل على المسار المغذي بالنسبة إلى بقية العقد الموجودة في الشبكة. بعد تحديد المسارات المغذية لكل عقدة من عقد الحمولة ومعرفة الخطوط والباسبارات المحتواة ضمن كل مسار، يمكن عندئذٍ اعتبار أن هذه العناصر موجودة ضمن نظام تسلسلي^[8] مغذٍّ للعقدة واستخدامها في بعض التطبيقات العملية الحاسوبية (جريان استطاعة، موثوقية.....).

إن دخل هذه المرحلة هو الجدول (4) لأرقام الأحمال فضلاً عن بارامترات الموثوقية (d, q) للعناصر الداخلة كلها (خطوط، بارات، قواطع يدوية وآلية)^[1] (طريقة الحساب العلاقات ومعطيات الدخل كلها مبينة في الملحق رقم /1/) في تكوين المسار المغذي لكل حمل، وبالإستفادة من العلاقات الآتية:

الموجودة في الجدول فهي النقاط التي تقع في نهاية المسارات والتي لا تغذي أية نقاط أخرى سوى الحمل الموصل إليها.

Node 2	Node 3	Node 4	Node 6	Node 11
2	3	4	5	6
2	9	3	11	4
2	6	4	5	4
3	4	4	14	
3	11	4	15	
9	10	11	12	
6	7	12	13	
6	8			
4	5			
4	14			
4	15			
11	12			
12	13			

الجدول(3): نتائج البرنامج الحسابي للمثال المدروس.

من الجدول أيضاً نلاحظ أن العمود الأول (من الجهة اليسرى) لكل عقدة يمثل عقد نهايات الإرسال، والعمود الثاني يبيِّن عقد نهايات الاستقبال.

إن تمثيل شبكات التوزيع الشعاعية باستخدام هذه الطريقة يمكننا من تخزين الشبكة الشعاعية بشكل يسهل معه حل المسائل المختلفة للشبكات باستخدام الحاسوب، كما أن المصفوفة الناتجة تبيِّن ربط عقد نهايات الاستقبال بعقد نهايات الإرسال، مما يسهل إيجاد المسارات بين كل عقدة من الشبكة والعقدة الأساس التي تمثل في معظم الأحيان-باسبارات المحولة المغذية.

Load 10		Load 7		Load 8	
Nodes	Lines	Nodes	Lines	Nodes	Lines
9	6	6	8	6	9
2	5	2	7	2	7
	1		1		1

Load 13		Load 14		Load 15	
Nodes	Lines	Nodes	Lines	Nodes	Lines
12	12	4	13	4	14
11	11	3	3	3	3
3	10	2	2	2	2
2	2		1		1
	1				

Branch number (j)	Sending node IS(j)	Receiving node IR(j)	Branch number (j)	Sending node IS(j)	Receiving node IR(j)
1	1	2	17	17	18
2	2	3	18	2	19
3	3	4	19	19	20
4	4	5	20	20	21
5	5	6	21	21	22
6	6	7	22	3	23
7	7	8	23	23	24
8	8	9	24	25	25
9	9	10	25	6	26
10	10	11	26	26	27
11	11	12	27	27	28
12	12	13	28	28	29
13	13	14	29	29	30
14	14	15	30	30	31
15	15	16	31	31	32
16	16	17	32	32	33

الجدول (6): معطيات شبكة توزيع كهربائية مؤلفة من 33 عقدة.

نتائج البرنامج في الجدول التالي ونكتفي فقط بمصفوفة العقدة (2) مع العلم أنه هناك مصفوفات أخرى:

Node 2					
2	3	6	7	11	12
2	19	6	26	30	31
3	4	7	8	12	13
3	23	26	27	31	32
19	20	8	9	13	14
4	5	27	28	32	33
23	24	9	10	14	15
20	21	28	29	15	16
5	6	10	11	16	17
24	25	29	30	17	18
21	22				

الجدول (7): نتائج البرنامج الحسابي للمثال الثاني.

Load 22		Load 25		Load 30	
Nodes	Lines	Nodes	Lines	Nodes	Lines
21	21	24	24	29	29
20	20	23	23	28	28
19	19	3	22	27	27
2	18	2	2	26	26
	1		1	6	25
				5	5
				4	4
				3	3
				2	2
					1

الجدول (8): المسارات المغذية لبعض أحمال العقد في المثال الثاني.

4- مناقشة النتائج:

إن تحديد بارامترات الموثوقية للأحمال في شبكات التوزيع ليس الهدف الأساسي في هذا البحث، إنما هو

عامل الموثوقية **P** Reliability Factor - للمسار: يساوي إلى جداء عوامل الموثوقية للعناصر المكوّنة له كلّها.

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n = \prod_1^n P_i \quad (1)$$

عامل اللاموثوقية **q** Non-reliability Factor - للمسار: يعطى بالعلاقة الآتية:

$$q = (1 - P) = 1 - \prod_1^n P_i = \sum_1^n q_i \quad (2)$$

بينما كثافة الأعطال **D** Frequency of Faults للنظام التسلسلي هي:

$$d = \sum_1^n d_i \quad (3)$$

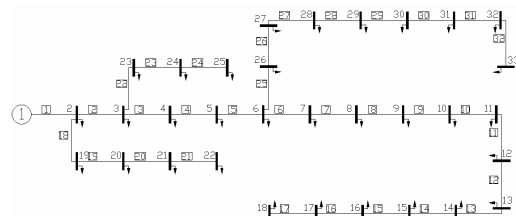
يُحسب **Q** و **D** لكل مسار مغذٍ. وخرج هذه المرحلة عبارة عن مصفوفة مؤلفة من ثلاثة أعمدة: العمود الأول يبيّن رقم الحمل، والثاني يبيّن قيمة **D** للمسار المغذّي للحمل، والعمود الثالث يبيّن قيمة **Q**.

Load	D	Q
5	3.01959	0.0030262304
8	2.53721	0.0024164354
11	2.83446	0.0028425102
13	4.21262	0.0042812458
14	3.23959	0.0062520228
15	3.12959	0.0061010228

الجدول (5): محددات الموثوقية للمسارات المغذية الأحمال.

2-3: مثال ثان:

سوف نستعرض مثالاً آخر أكبر من المثال الأول يحوي على 33 عقدة 32 خطأ، ونكتفي بنتائج المرحلة الأولى التي تظهر مصفوفة العقد فضلاً عن تحديد مسارات بعض أحمال الشبكة دون حساب عوامل الموثوقية.



الشكل (3): شبكة توزيع كهربائية مؤلفة من 33 عقدة.

اللازم للتنفيذ، إذ إن زمن التنفيذ اللازم للمثال المدروس الذي يتألف من 15 عقدة يساوي فقط $0.195[\text{sec}]$ وبتزايد هذا الزمن مع زيادة عدد مكونات الشبكة ويساوي $0.482[\text{sec}]$ لشبكة مؤلفة من 33 عقدة، ويساوي أيضاً $0.897[\text{sec}]$ لشبكة مؤلفة من 69 عقدة، وكذلك يساوي $1.059[\text{sec}]$ لشبكة تتألف من 85 عقدة.

إن هذه الطريقة ذات فوائد عديدة نذكر منها على سبيل المثال: اختيار المسارات المغذية للأحمال في شبكات التوزيع الكهربائية التي تفيد، كما رأينا، عند دراسة الموثوقية والتكاليف الناتجة عن عدم استمرارية التغذية بالطاقة الكهربائية أو ما يسمى أحياناً تكاليف الموثوقية. وكذلك يمكن أن نستفيد من هذه الطريقة في دراسة جريان الاستطاعة في الشبكات الشعاعية لأنه وكما نلاحظ من النتائج أن الطريقة يمكن أن تعطي المسارات ليس فقط بين الحمل وعقدة التغذية إنما بين أي حمل وأي عقدة موجودة ضمن المغذي الرئيسي في الشبكة، وهذا ما يساعد - بشكل ملحوظ - في حساب الاستطاعات المحقونة في كل عقدة من عقد المغذي الرئيسي في الشبكة الشعاعية.

5- الخاتمة:

في هذا البحث استعرضنا طريقة بسيطة وسهلة لتحديد الخطوط والبارات التي تشكل المسار الذي يؤمن الطاقة الكهربائية لكل حمل موصل إلى الشبكة. إن فائدة هذه الطريقة هي أنها لا تحتاج إلى ترقيم آخر للخطوط والبارات غير الترقيم الذي يوجد في مصفوفة معطيات الدخل، لذلك نجد أن هذه المنهجية لا تتطلب حسابات معقدة، وكذلك زمن تنفيذ الحساب أقل كثيراً مما تتطلبه الطرائق الأخرى ونذكر منها على سبيل المثال طريقة التشكيل العكسي لتمثيل الشبكات الكهربائية.

عبارة عن أحد التطبيقات التي تعتمد بشكل مباشر على كيفية تمثيل الشبكة بأبسط أشكالها، والذي توصلنا إليه من خلال استخدام الطريقة المقترحة التي تعد الهدف الرئيس في هذا البحث، والتي يمكن أن تسمى بطريقة نهايات الإرسال والاستقبال نظراً إلى اعتمادها بشكل رئيسي على تحديد تلك العقد.

تتميز هذه الطريقة عن غيرها من الطرائق المستخدمة في تمثيل الشبكات الشعاعية ببساطتها إذ إن دخلها عبارة عن مصفوفة واحدة وخرجها أيضاً مصفوفة واحدة كما لاحظنا من المثال المدروس، ومن هذه المصفوفة يمكن أن نحدد مسارات التغذية كلها اللازمة في التطبيق المأخوذ لتحديد عوامل الموثوقية.

كذلك نلاحظ أن خوارزمية الطريقة المعروضة في البحث بسيطة وسهلة التتبع دون أية تعقيدات، إذا ما قورنت بخوارزمية التشكيل العكسي على سبيل المثال [2]، وهذا ما يسهل عملية إعداد البرمجيات اللازمة لها.

كذلك، من خلال الدراسة السابقة، نلاحظ أن حسابات الموثوقية في شبكات التوزيع الكهربائية جداً سهلة ومريحة عند استخدام الطريقة المقترحة في تمثيل الشبكات الشعاعية، وخصوصاً عند استخدام الحاسوب لهذا الغرض، حيث تم بناء خوارزمية وإعداد برنامج حسابي ضمن بيئة MATLAB لتمثيل الشبكة بشكلها الشعاعي.

أيضاً يمكن أن نلاحظ أن البرنامج المكتوب ضمن بيئة MATLAB لتمثيل الشبكة الشعاعية يشغل حيزاً صغيراً جداً في الذاكرة التي لا تتجاوز بضعة كيلوبايت، وهذه السعة تكاد لا تذكر إذا ما قورنت ببقية الطرائق المستخدمة وعلى وجه الخصوص طريقة التشكيل العكسي [3] وطريقة الفروع والعقد المعروضة في [4]. وكذلك الأمر فيما يتعلق بالزمن

Andrapradesh, PIN-501301, India. 'Global Energy Consulting Engineers, Andrapredesh, Hyderabad, India'. BHEL Corp. R&D, Hyderabad, India, 2006.

[6]: A Smarajit Ghosh , Karma Sonam Sherpa , 'An Efficient Method for Load Flow Solution of Radial Distribution Networks', International Journal of Electrical Power and Energy Systems Engineering 1;2 Spring 2008.

[7]: K. Vinoth Kumar, M.P. Selvan, 'A Simplified Approach for Load Flow Analysis of Radial Distribution Network' , International Journal of Electrical Power and Energy Systems Engineering 2;4 © Spring 2008.

[8]: Tadeusz Kahl, 'Sieci Elektroenergetyczne', Wydanie Drugie, WNT, Warszawa, 1984, Poland, (In Polish).

ملحق رقم (1):

تحديد بارامترات الموثوقية للعقد:

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

$$d_{ws} = d_s \cdot n_s + d_o \cdot n_o + b_z \cdot \sum_{i=1}^{N_i-1} d_{li} \quad (4)$$

إذ 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 الآتية:

$$q_{ws} = \frac{d_s \cdot n_s \cdot t_s}{T} + \frac{d_o \cdot n_o \cdot t_o}{T} + \frac{b_z \cdot t_p}{T} \sum_{i=1}^{N_i-1} d_{li} \quad (5)$$

من خلال تطبيق هذه المنهجية المقترحة على عدد من شبكات التوزيع (15، 33، 69، و85 عقدة) تبين أن هذه الطريقة صحيحة لنظم التوزيع كلها بأي عدد من الخطوط والبارات.

لهذه الطريقة فوائد عديدة في اختيار المسارات المغذية للأحمال عند حساب تكاليف الموثوقية. وكذلك عند دراسة جريان الاستطاعة في الشبكات الشعاعية عند حساب الاستطاعات المحقونة في كل عقدة من عقد المغذي الرئيسي في الشبكة الشعاعية.

توصلنا إلى هذه النتائج من خلال تصميم خوارزمية المنهجية المقترحة، فضلاً عن ذلك تصميم برنامج حسابي على الحاسوب في بيئة ماتلاب لدراسة أي نظام توزيع كهربائي، ويُطبق ذلك البرنامج على عدة حالات لشبكات التوزيع الكهربائية كأمثلة حسابية، ومن خلال مناقشة النتائج تبين أن هذه الطريقة يمكن أن تكون ذات ثقة جيدة مقارنة ببعض الطرائق المستخدمة للغرض نفسه.

6- المراجع:

[1]: Szczesny Kujszczyk, 'Nowoczesne Metody Obliczen Elektroenergetycznych Sieci Rozdzielczych', PWN, Warszawa 1984, Poland. (In Polish).

[2]: Mustafa 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).

[3]: Nadim Makhol, 'Studying the Reliability of Electrical Distribution Network Using the Primary and Inversely Modeling', Damascus University Journal for the Engineering Sciences, Vol. 18, No. 2, 2002. (In Arabic).

[4]: H. Feshki Farahani , A. Kazemi , S. M. Hosseini , 'A New Algorithm for Identifying Branch and Node after any Bus to use Load Flow in Radial Distribution System', Islamic Azad University, Ashtian Branches, and Iran University of Science & Technology, UPEC 2007, Iran.

[5]: Dharmasa, C. Radhakrishana, H.S. Jain, 'Graphical Information Based Power Flow Algorithm for Radial Distribution Networks', Regular paper, SNIST-JNT University, Ghatkesar,

طريقة جديدة وبسيطة لنمذجة شبكات التوزيع الكهربائية الشعاعية واستخدامها لحساب محددات الموثوقية لكل حمل من أحمال الشبكة الكهربائية

والعدد الوسطي السنوي للانقطاع في عمل القوس وعامل اللاموثوقية تحسب وفق العلاقات الآتية:

$$d_{t1} = d_1 + d_{w1} + d_{w2} \quad (9)$$

$$q_{t1} = \frac{d_{t1} \cdot t_t}{T} + \frac{d_{w1} \cdot t_{w1}}{T} + \frac{d_{w2} \cdot t_{w2}}{T} \quad (10)$$

هذا في حالة محول أحادي، أما في حالة محول يعمل بشكل مشترك مع محول آخر فإن العلاقة هي الآتية:

$$d_{t1} = d_1(1 + k_t) + d_{w1} + d_{w2} \quad (11)$$

$$q_{t1} = \frac{d_{t1} \cdot (t_t + k_t \cdot t_p)}{T} + \frac{d_{w1} \cdot t_{w1}}{T} + \frac{d_{w2} \cdot t_{w2}}{T} \quad (12)$$

أما بالنسبة إلى لخطوط الكابلية الأحادية فإن العلاقات هي الآتية:

$$d_{l1} = d_1 \cdot l + d_o \cdot n_{ol} + d_w \cdot n_{ol} \quad (13)$$

$$q_{l1} = \frac{d_{l1} \cdot l \cdot t_l}{T} + \frac{d_o \cdot n_{ol} \cdot t_o}{T} + \frac{d_w \cdot n_{ol} \cdot t_w}{T} \quad (14)$$

وفي حالة الخطوط الكابلية المضاعفة يكون:

$$d_{l1} = d_1 \cdot l \cdot (1 + k_l) + d_o \cdot n_{ol} + d_w \cdot n_{ol} \quad (15)$$

$$q_{l1} = \frac{d_{l1} \cdot l \cdot (t_l + k_l)}{T} + \frac{d_o \cdot n_{ol} \cdot t_o}{T} + \frac{d_w \cdot n_{ol} \cdot t_w}{T} \quad (16)$$

حيث:

d_s: عدد الأعطال على قضبان التجميع ولقطب واحد.

d_o: عدد الأعطال على القواطع السكنية.

d_{li}: 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 لإصلاح القاطع السكني أو تبديله.

t_p: الزمن الوسطي لإعادة التوصيل.

T: الزمن الكلي للعمل في السنة ويساوي **T =**

$$8760[h]$$

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

$$t_{ws} = \frac{q_{ws} \cdot T}{d_{ws}} \quad (6)$$

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 يسمّى عامل الاشتراك K_s الذي يُحدّد كجزء من عطل آخر يسبّب انقطاعاً في التغذية بسبب التصميم المشترك للعناصر. العلاقات السابقة تصبح على الشكل ا:

$$d_{ws} = d_s \cdot n_s + d_o \cdot n_o (1 + k_s) + b_z \cdot \sum_{i=1}^{N_i-1} d_{li} \quad (7)$$

$$q_{ws} = \frac{d_s \cdot n_s \cdot (t_s + k_s \cdot t_p)}{T} + \frac{d_o \cdot n_o \cdot (t_o + k_s \cdot t_p)}{T} + \frac{b_z \cdot t_p}{T} \sum_{i=1}^{N_i-1} d_{li} \quad (8)$$

تحديد بارامترات الموثوقية للأقواس :

إن الانقطاعات في تغذية العناصر المكافئة الممتلئة 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 المعطّلة، بينما زمن الانقطاعات الناتجة عن الأعطال المنقولة يساوي زمن إعادة التوصيل، ومن ثمّ فإن

9	1.5	22	12
10	2.5	22	12
11	3.0	22	12
12	1.8	22	12
13	2.5	22	12
14	2.0	22	12

جدول (م1-2) : معطيات الخطوط

Node N	Kind	Cells/out	Fault/100	F time
1	1	10/5	4.0	4
2	2	8/6	3.2	10
3	2	10/8	3.2	10
4	2	8/6	3.2	10
5	2	8/6	3.2	10
6	2	10/8	3.2	10
7	2	3/2	3.2	10
8	2	10/8	3.2	10
9	2	10/8	3.2	10
10	2	3/2	3.2	10
11	2	10/8	3.2	10
12	2	10/8	3.2	10
13	2	10/8	3.2	10
14	2	8/6	3.2	10
15	2	8/6	3.2	10

جدول (م1-3): معطيات البارات

وفقاً للبرنامج الحاسبي المصمم لحساب الموثوقية وبناءً على الموديل الرياضي المبين في هذا الملحق فإن النتائج تعطي قيم عوامل الموثوقية لكل عنصر من عناصر الشبكة

Bran. No	d	q
1	0.53500	0.000536
2	0.60100	0.000626
3	0.66700	0.000717
4	0.60100	0.000626
5	0.82100	0.000928
6	0.93100	0.001078
7	0.82100	0.000928
8	0.82100	0.000928
9	0.60100	0.000626
10	0.82100	0.000928
11	0.93100	0.001078
12	0.66700	0.000717
13	0.82100	0.000928
14	0.71100	0.000777

جدول(م1-4): نتائج محددات الموثوقية للخطوط

Node No	d	q
1	0.42482	1.9025639269E-04
2	0.04523	4.0443778539E-05
3	0.05508	4.7867865297E-05
4	0.04523	4.0443778539E-05
5	0.04523	4.0443778539E-05

k_s : عامل الاشتراك للبارات ويساوي $k_s = 0.1$.

k_l : عامل الاشتراك للخطوط ويساوي:

$k_l = 0.15$ للهوائية، و $0.1 - 0.02 = k_l$

للكابلات.

k_t : عامل الاشتراك للمحولات ويساوي $k_t = 0.01$.

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 $1[km]$ من الكابل في السنة.

l : طول الكابل بالـ $[km]$.

n_{o1} : عدد القواطع اليدوية في الخط.

N_{w1} : عدد القواطع الآلية في الخط.

t_1 : 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.

k_i : ثابت الأعطال المشتركة للجهاز I

Kind of Breaker	Fault/100	F time
1 (66/A)	3	6
2 (66/M)	0.8	4
3 (20/A)	13	5.5
4 (20/M)	0.55	8.7
5 (0.4/M)	0.4	8.9

جدول (م1-1): معطيات القواطع

Branch No	Line Length	Am fault/100km	Fault time
1	1.2	22	12
2	1.5	22	12
3	1.8	22	12
4	1.5	22	12
5	2.5	22	12
6	3.0	22	12
7	2.5	22	12
8	2.5	22	12

طريقة جديدة وبسيطة لنمذجة شبكات التوزيع الكهربائية الشاعية واستخدامها لحساب محددات الموثوقية لكل حمل من أحمال الشبكة الكهربائية

6	0.05508	4.7867865297E-05
7	0.02233	2.1942636986E-05
8	0.05508	4.7867865297E-05
9	0.05508	4.7867865297E-05
10	0.02233	2.1942636986E-05
11	0.05508	4.7867865297E-05
12	0.05508	4.7867865297E-05
13	0.05508	4.7867865297E-05
14	0.04523	4.0443778539E-05
15	0.04523	4.0443778539E-05

جدول (م-1-5): نتائج محددات الموثوقية للبارات

وبناءً على هذه القيم المبينة في الجدولين الأخيرين تم حساب محددات الموثوقية Q و D لكل حمل من الأحمال الموصلة إلى العقد، وكانت النتائج كما هي مبينة في الجدول /5/ للمثال الأول. ونكتفي في المثال الثاني من ذكر نتائج محددات الموثوقية فقط

لثلاثة أحمال مبينة في الجدول (م-1-6)

Load	D	Q
22	3.01959	0.0030262304
25	2.53721	0.0024164354
30	2.83446	0.0028425102

جدول (م-1-6): نتائج محددات الموثوقية للمسارات المغذية

للأحمال

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق: 2009/7/15.