

استخدام برمجيات متخصصة في تقويم موثوقية شبكات كهربائية من المنظومة السورية*

م. نشأت نصر**

د. عباس صندوق***

أ.د. علي حمزة***

المخلص

يعرض البحث تعريفاً بتقانات النمذجة المستخدمة في عملية تقويم موثوقية الشبكات الكهربائية، كما يعرض برنامجاً متخصصاً، وهو برنامج (Power Factory (DigSILENT، يستخدم تقانات النمذجة لتمثيل الشبكات الكهربائية ودراساتها، ومن ضمنها حساب مؤشرات الموثوقية.

هدف البحث هو اعتماد منهجية للتقويم الكمي لموثوقية شبكات التوزيع وتطبيقها على شبكة توزيع كبيرة نسبياً هي شبكة 20 kV لمدينة دمشق، وكذلك اقتراح إجراءات عملية لتحسين الموثوقية.

استُخدمَ هذا البرنامج لتمثيل جزء من شبكة توزيع من المنظومة الكهربائية السورية، وهي شبكة التوزيع 20 KV لمدينة دمشق، وأجريت عملية تقويم كمي لموثوقية هذه الشبكة من خلال حساب قيم بعض مؤشرات الموثوقية فيها، وهي المرة الأولى التي تُحسب فيها مؤشرات موثوقية في المنظومة الكهربائية السورية.

استُعينَ بالبيانات الإحصائية المتوافرة لدى الشركة العامة لكهرباء محافظة دمشق بهدف الحصول على بيانات الدخل اللازمة للعناصر الكهربائية المستخدمة في الشبكة المدروسة.

كما تم، وبهدف إجراء بعض المقارنات، تمثيل جزء من شبكة التوزيع الكهربائية لمنطقة تنظيم كفرسوسة في مدينة دمشق. وبهدف تحسين الموثوقية فقد اقتُرِحَ إجراءان، الأول يقضي بتعديل أماكن القواطع المفتوحة في مسارات المغذيات 20 KV، إذ إنَّ توصيل شبكة التوزيع في مدينة دمشق هو حلقي مفتوح. والاقتراح الثاني يقوم على افتراض تطبيق نظام SCADA في هذه الشبكة. وقد بيّنت النتائج جدوى هذين الإجراءين.

الكلمات المفتاحية: شبكات التوزيع الكهربائية، تقويم الموثوقية، مؤشرات الموثوقية

* أعد هذا البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندس نشأت نصر بإشراف الأستاذ الدكتور علي حمزة ومشاركة المدرس الدكتور عباس صندوق

** قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

*** قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

**** قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق

1- مقدمة

تتألف المنظومة الكهربائية من نظام التوليد ونظام النقل ونظام التوزيع. إن نظام التوزيع هو المسؤول عن تزويد الطاقة الكهربائية للمستهلكين على نحو موثوق به وبمستوى عالٍ من الجودة. يمكن تعريف موثوقية التغذية الكهربائية بأنها مقدرة المنظومة الكهربائية على تزويد المستهلكين بالطاقة الكهربائية بشكل مستمر وعند مستوى معين من الجودة والأمان. أظهرت العديد من الدراسات أن نحو 80% من انقطاعات التغذية الكهربائية ناتجة بسبب أعطال في شبكات التوزيع [1]، أي إنَّ لنظام التوزيع الإسهام الأكبر بعدم إمكانية تزويد المستهلكين بالطاقة الكهربائية.

مع ما تقدم، فإن دراسة موثوقية شبكات التوزيع وتحليلها لم يلقَ الاهتمام اللازم إلا منذ سنوات قليلة. هذا وتفتقر المنظومة الكهربائية السورية إلى أية دراسة لتحليل الموثوقية وتقويمها.

يجري التعامل مع مسألة تحليل الموثوقية وفق إحدى تقناتين، إما باستخدام الطرائق التحليلية، أو باستخدام تقنات النمذجة،

فيما يأتي نستعرض استخدام تقنات النمذجة في تحليل الموثوقية، وسوف نستخدم أحد البرامج المتخصصة، وهو برنامج "DIgSILENT" [9] Power Factory، لتمثيل ونمذجة شبكة توزيع من المنظومة الكهربائية السورية، وإجراء عملية حساب بعض مؤشرات الموثوقية، وإظهار نتائج هذه الدراسة بهدف إعطاء فكرة عن وضع موثوقية شبكات التوزيع السورية. كما سنقترح بعض الإجراءات التي من شأنها تحسين الموثوقية في شبكة التوزيع المدروسة.

2- مؤشرات الموثوقية [2]:

يجري الاستدلال وتعريف موثوقية نظام كهربائي ما عن طريق حساب مؤشر أو أكثر من مؤشرات الموثوقية، وعادة تُستخدم أحد هذه المؤشرات على مدى مدد زمنية متعددة لإجراء مقارنات معينة لمعرفة مدى تحسن وضع موثوقية الشبكة الكهربائية نتيجة القيام بإجراءات وعمليات تطوير في هذه الشبكة وتعديلها.

نذكر من هذه المؤشرات:

- مؤشر القيمة الوسطية لتكرار انقطاع النظام (SAIFI):

(System Average Interruption Frequency Index)

يدلُّ هذا المؤشر على العدد الوسطي للانقطاعات التي يواجهها كل مستهلك مشترك في المنظومة الكهربائية في منطقة محددة وفي زمن محدد.

$$ASIFI = \frac{\text{Total Number of customer Interruptions}}{\text{Total Number of customers Served}} \quad (1)$$

$$ASIFI = \frac{\sum N_i}{N_T}$$

إذ N_i هو عدد المستهلكين المتأثرين بالانقطاع (i) للتغذية خلال المدة الزمنية المدروسة، ومن ثمَّ يكون $\sum N_i$ عدد الانقطاعات جميعها. أمَّا N_T فهو العدد الكلي للمستهلكين المرتبطين بالمنطقة المدروسة.

- مؤشر القيمة الوسطية لتكرار انقطاع المستهلك (CAIFI):

(Customer Average Interruption Frequency Index)

يعطي هذا المؤشر قيمة التكرار الوسطي للانقطاعات عن المستهلكين المتأثرين بها.

$$ASIFI = \frac{\text{Total Number of Customer Interruptions}}{\text{Total Number of Customers Interrupted}} \quad (2)$$

$$ASIFI = \frac{\sum N_i}{CN}$$

- مؤشر القيمة الوسطية لمدى عدم توافر التغذية
(ASUI):

$$\text{ASUI} = 1 - \text{ASAI} \quad (6)$$

- مؤشر الطاقة غير المقدمة (ENS):
(Energy Not Supplied)

يبين هذا المؤشر كمية الطاقة الكلية غير المقدمة من النظام.

$$\text{ENS} = \sum L_{avg,i} \times r_i \quad (7)$$

إذ $L_{avg,i}$ هي القيمة الوسطية للحمل في العقدة i .

- مؤشر القيمة الوسطية للطاقة غير المقدمة
(AENS):

(Average Energy Not Supplied)

يبين هذا المؤشر كمية الطاقة الوسطية غير المقدمة لكل مستهلك.

$$\text{AENS} = \text{ENS}/N_T \quad (8)$$

3- تقانات النمذجة لتحليل الموثوقية

تمتاز التقانات التحليلية بأنها سريعة وفعالة في تقدير موثوقية التوزيع من أجل تردد أعطال وأزمنة مختلفة، ولكنها لا تقدم أية معلومات عن قابلية التغير في مؤشرات الموثوقية، وهي تعتمد على معلومات إحصائية. كما تعاني هذه التقانات من صعوبة إظهار الأحداث النادرة وتمثيلها.

أمّا تقانات النمذجة المستخدمة في دراسة الموثوقية فتتصف بأنها:

- تبين الخيارات الممكنة جميعها.

- تلائم معدلات الإخفاق والإصلاح جميعها.

- تقوم بتقدير ترددات الانقطاعات لكامل النظام أو لنقاط أحمال محددة.

إذ CN هو العدد الكلي للمستهلكين المتأثرين بالانقطاعات خلال المدة المدروسة.

- مؤشر القيمة الوسطية لزمن استمرار انقطاع النظام
(SAIDI):

(System Average Interruption Duration Index)

يدل هذا المؤشر على المدة الوسطية لانقطاع التغذية عن كل مستهلك مشترك في المنظومة الكهربائية في المنطقة المدروسة وخلال مدة زمنية محددة.

$$\text{ASIDI} = \frac{\text{Total Duration of customer Interruptions}}{\text{Total Number of customers Served}}$$

$$\text{ASIDI} = \frac{\sum r_i N_i}{N_T} \quad (3)$$

إذ r_i هي مدة انقطاع التغذية (مدة الإصلاح) في كل حادثة فصل.

- مؤشر القيمة الوسطية لزمن استمرار انقطاع المستهلك
(CAIDI):

(Customer Average Interruption Duration Index)

وهو مؤشر يبين الزمن الوسطي اللازم لإعادة التغذية للمستهلكين المتأثرين بالانقطاع.

$$\text{CAIDI} = \frac{\text{Total Duration of customer Interruptions}}{\text{Total Number of customers Interruptions}}$$

$$\text{CAIDI} = \frac{\sum r_i N_i \text{ SAIDI}}{\sum N_i \text{ SAIFI}} \quad (4)$$

يجري تحسين هذا المؤشر بإنقاص زمن الانقطاع (تحرك أسرع لفريق الصيانة، إنجاز أسرع لأعمال الصيانة،..).

- مؤشر القيمة الوسطية لمدى توافر التغذية (ASAI):
(Average Service Availability Index)

يمثل هذا المؤشر المدة الزمنية (عادةً نسبة مئوية) التي يتلقى فيها المستهلك تغذية كهربائية خلال مدة الدراسة (عادةً تؤخذ خلال سنة).

$$\text{ASAI} = \frac{\text{Customer Hours Service Availability}}{\text{Customer Hours Service Demand}}$$

$$\text{ASAI} = \frac{8760 \times N_T - \sum r_i N_i}{8760 \times N_T} \quad (5)$$

القيم الكبيرة لهذا المؤشر تعكس مستويات موثوقية عالية.

(probabilistic criteria) بدلاً من المعايير الحتمية وذلك لتخطي بعض العيوب.

هناك طريقتان رئيستان للتقويم الاحتمالي لموثوقية نظام القدرة، وهما الإحصاء الاحتمالي (probabilistic enumeration)، ومحاكاة مونت كارلو (Monte Carlo Simulation). ولكتا الطريقتين سيئات وإيجابيات، ولكن من المهم معرفة متى وأين يُفضل استخدام إحدى الطريقتين.

3-1 الإحصاء الاحتمالي للحالات الطارئة

(contingency enumeration):

تستخدم من أجل خروج وحيد لعنصر من الخدمة، كما في طريقة معيار $N-1$. وهي سهلة، وسريعة وتجمع معلومات أكثر مقارنة بالطرائق الحتمية. تُحدّد في هذه الطريقة تحديد الحالات الطارئة اعتماداً على قوائم إحصائية مسبقة، وقد تشمل كامل النظام أو جزءاً منه. عند القيام بجمع عناصر القوائم، فإن مستويات حالات طارئة مختلفة سوف تنشأ، وذلك في حال شملت القوائم كامل النظام. في حين أن هذا الإجراء يقود لعدد كبير من الأوضاع، فإن بعض معايير القطع يجب أن تستخدم، إما بشكل منجزل أو بشكل مركب ومتشارك. على سبيل المثال، عند مستوى الحالة الطارئة contingency level، يقوم الإجراء بإحصاء وتقويم فقط الاحتمالات المعروفة سابقاً. أمّا عند مستوى الإمكانية Probability، فإن الإجراء يتضمن تقويم الاحتمالات جميعها وليس فقط المعرفة مسبقاً.

3-2 طريقة مونت كارلو (Monte Carlo Simulation):

الطرائق الإحصائية سهلة وبسيطة للفهم والتطبيق في البرامج الحاسوبية. في معظم الحالات، تكون هذه الطرائق فعّالة في حالة الخروج المنفرد، أو عندما يكون فضاء الحالة صغيراً نسبياً. على كل حال، وبحسب نظام القدرة، فقد يلزم أن يجري التقويم في حال خروج متزامن

- ثلاثم خطط الصيانة الشاملة والمستخدمة لتفادي حدوث خروج مجتمع للعناصر من الخدمة؛ مما قد يؤدي إلى مشكلات متعددة.

- تتعامل مع حساب تكاليف الانقطاعات.

من الممكن استخدام طرائق توزيع مختلفة لتحليل الموثوقية ومقارنة تصاميم مختلفة وطرائق تشغيل مختلفة، ويمكن مراقبة تتابع الأحداث والإصلاحات وعمليات الفصل والوصل بما يتعلق بتحديد أي العمليات تقود إلى خطة استعادة تغذية أسرع. في طرائق المحاكاة لتقويم الموثوقية، يُحسبُ جريان الحمولة لتحديد الضياعات عند تمثيل الأعطال الممكنة جميعها، ولتقديم القواعد الضرورية لجدول الأحمال. وبشكل إضافي، فإن نماذج أحمال كلية ومرتببة زمنياً يمكن أن تطبق في طريقة المحاكاة لتقديم احتمالية أن الحمل يمكنه الاستمرار في شكل التوزيع المعطى، وبشكل مشابه تكلفة القطع أيضاً، باعتبار أنه يمكن تمثيل حالات القطع الممكنة كلّها.

تم سابقاً، وبشكل تقليدي، تقويم أداء نظام القدرة باستخدام الطرائق الحتمية deterministic methods. الطرائق الأكثر استخداماً تعرف باسم طريقة معيار $N-1$ $N-1$ (criterion) التي فيها يُعرّف كل حدث خروج لعنصر من الخدمة في مجموعة تصنيف الحالات الطارئة. تحقق المعايير الحتمية نجاحاً معقولاً، ولكن ذلك قد يؤدي إلى عمليات توسيع في التخطيط مكلفة نسبياً. فضلاً عن ذلك، تعتمد تصنيفات الحالات الطارئة على خبرة مهندسي التخطيط والتشغيل في نظام القدرة، وقد لا تغطي الأوضاع الحدية جميعها. عملياً، لا يمكن تطبيق معيار $N-1$ في نظام القدرة، وخاصة في البلدان الفقيرة والنامية. عندها يكون هناك فجوة بين أداء النظام وتخطيطه. قد تُستخدَمُ أحياناً المعايير الاحتمالية

- لعنصرين أو أكثر، أو في حال حدوث أعطال كبيرة في الشبكة. في هكذا حالات، فمن الأفضل استخدام طريقة مونتي كارلو، حيث لا يوجد تحديد على عدد العناصر التي تخرج من الخدمة بشكل متزامن.
- تعمل طريقة مونتي كارلو بتمثيل حالات النظام القائم على التوزيع الاحتمالي المشترك. إذا كانت الحوادث مستقلة، فإن حالات النظام تحدد بتمثيلها بالتوابع الاحتمالية للعناصر. في طريقة محاكاة مونتي كارلو، يجري تمثيل الأعطال، وإعادة الإصلاح، وعملية استعادة الطاقة المنقطعة، أي أنه يجري في هذه الطريقة تمثيل عملية تشغيل نظام التوزيع الكهربائي.
- نميز في طريقة محاكاة مونتي كارلو تقنيتين رئيسيتين، طريقة متتالية وطريقة غير متتالية.
- 3-2-1 طريقة محاكاة مونتي كارلو المتتالية**
Sequential Monte Carlo Simulation
- تقوم هذه الطريقة على التمثيل الديناميكي لحالات عناصر النظام، أي حالة دورتها الزمنية بين الإخفاق والإصلاح، وهي القيم التي جرى توثيقها خلال مدة عمل هذه العناصر، وتُستخدَم في تمثيل ظاهرة الإخفاق الفعلية للعناصر. يجري بعد هذا التمثيل على مدى مدة زمنية طويلة، حساب مؤشرات الموثوقية باستخدام معايير إحصائية مثل الزمن القياسي *standard duration*، إيقاف عملية تكرار الحساب *the maximum iteration are stopped*، وحساب النتائج النهائية *the final results are computed*.
- تتكون الخوارزمية القائمة على طريقة محاكاة مونتي كارلو المتتالية من الخطوات الآتية:
- أ- إنشاء رقم عشوائي من أجل كل عنصر من النظام، وتحويله إلى مميزة الزمن اللازم ليحدث العطل
- (TTF) time to failure الموافق للتوزيع الاحتمالي لمحددات العنصر.
- ب- تحديد العنصر الذي يملك القيمة TTF الأصغر.
- ج- إنشاء رقم عشوائي وتحويله إلى زمن إصلاح repair time RT، وذلك من أجل العنصر ذي القيمة TTF الأصغر.
- د- إنشاء رقم عشوائي آخر وتحويله إلى زمن فصل switching time وفقاً للتوزيع الاحتمالي لزمن الفصل.
- هـ- تحديد نقطة الحمل التي تتعطل، وتسجيل زمن استمرار القطع لكل نقطة حمل متعطل.
- و- إنشاء عدد عشوائي جديد للعنصر المتعطل وتحويله إلى TTF جديد، والعودة إلى الخطوة الثانية في حال كان زمن التمثيل أقل من سنة واحدة. إذا كان زمن التمثيل (TTF+TR) أكبر من سنة، عندها نذهب إلى الخطوة التاسعة.
- ز- حساب عدد الانقطاعات وزمن استمرارها من أجل في كل نقطة حمل على مدار سنة واحدة.
- ح- حساب القيم الوسطية من أجل معدل انقطاع نقاط الحمل وزمن استمرارها في سنة.
- ط- حساب مؤشرات النظام وتسجيلها من أجل سنة واحدة.
- ي- حساب القيم الوسطية لمؤشرات النظام المحسوبة.
- ك- العودة للخطوة الثانية في حال كون زمن التمثيل أقل من سنوات التمثيل المحددة، في ما عدا ذلك تُخرَج النتائج.

3-2-2 طريقة محاكاة مونتي كارلو غير المتتالية

Non-Sequential Monte Carlo Simulation

تقوم الطريقة المتتالية بإنشاء تاريخ صناعي للحوادث حتى تُحدَد موثوقية نظام التوزيع بالاعتماد على ترتيب الحوادث. أمّا طريقة محاكاة مونتي كارلو غير المتتالية،

تُستخدَم كل من طريقتي مونتّي كارلو المتتابعة وغير المتتابعة بشكل خاص في دراسة موثوقية التوليد والنقل، في حين تُستخدَم طريقة مونتّي كارلو المتتابعة في بعض التطبيقات على دراسة موثوقية نظام التوزيع [5].

3-2-3 المفهوم الرئيسي للتمثيل الزمني

[6] Chronological Simulation

تعدُّ طريقة محاكاة مونتّي كارلو المتتالية طريقة مناسبة انطلاقاً من مرونتها في التطبيق، وهي مفيدة عند التعامل مع الإجراءات الزمنية. وفي توثيق تشغيل النظام من أجل مدة نمذجة T قائمة على التمثيل العشوائي للمركبات ولنموذج الحمل. عادةً تمثّل الحالة الأساسية باستخدام خوارزمية مونتّي كارلو غير المتتالية. بعد تقويم كل حالة، تُحدّد مؤشرات الأداء باستخدام توابع اختبار test-functions $G(t)$

$$E[G] = \frac{1}{T} \int_0^T G(t) dt \quad (9)$$

كل مؤشر أداء يمكن تقديره باستعمال تابع اختبار مناسب. احتمال التعطل، على سبيل المثال، يكون موافقاً للقيمة المتوقعة لتابع دلالة indicator function عندما $G(t)=1$ إذا كان النظام في الزمن t مرتبطاً بحالة عطل، فيما عدا ذلك يعدُّ $G(t)=0$. كما يمكن تقدير القيمة المتوقعة لـ $G(t)$ كما يأتي:

$$\tilde{E}[G] = \frac{1}{NY} \sum_{K=1}^{NY} G(y_K) \quad (10)$$

إذ NY يمثل عدد السنوات المنمذجة، و y_k هو تتابع حالات النظام في السنة K . على سبيل المثال، فإن الطاقة غير المقدمة energy not supplied سوف تكون عبارة عن مجموع قيم الطاقة غير المقدمة الناتجة عن الانقطاعات كلّها الممثلة في هذه السنة. وتكون قيمة الارتباب uncertainty حول قيمة المؤشرات المقدرة معطاة بقيمة تغيّر variance القيمة المقدرة كما يأتي:

فإنها تفترض أن الحالات الطارئة الحاصلة في نظام تكون متعارضة، وأن سلوك النظام لا يعتمد على الحوادث السابقة. في هذه الطريقة، يُفترض أن الحوادث الطارئة وأزمنة استمرارها تتغيّر بشكل أسي، ويُستخدَم توزيع بواسون Poisson Distribution ويُحسب تأثير تعطل العناصر من أجل كل حالة طارئة باستخدام إحدى الطرائق التحليلية.

يُعادُّ هذا الإجراء من أجل عدة دورات للحصول على مؤشرات موثوقية معقولة. كما يجري تقويم تأثير الحوادث الطارئة على المستهلكين، وتأثير زمن استمرار الانقطاعات باستخدام الطرائق التحليلية.

تُدرج كل من طريقة إحصاء الحالة التحليلية State enumeration، وطريقة مونتّي كارلو غير المتتالية Non-Sequential Simulation ضمن الخوارزميات القائمة على فضاء الحالة [3]، إذ يُستخدَم موديل ماركوف عادةً في كل من حالات انتقال حالة الحمل والتجهيزات. ومن ثمّ، تُحدّد الحالة وتُقدّر دون أي اعتبار زمني. على العكس، فإنّ عملية المحاكاة المتتالية Sequential Simulation يمكنها لحظ المظاهر الزمنية جميعها، ومن ثمّ فهي قادرة على الإظهار الصحيح لعملية تقادم التجهيزات، والأحمال المتغيرة مع الزمن، وغيرها. فالتمثيل الزمني يشير إلى أنه من الممكن أن تختلف حالتان فقط بحالة عنصر، ومن ثمّ يلزم عمليات دعم حسابية أكثر. في المدة الأخيرة، طوّرت تقنية أخرى تدعى بطريقة محاكاة مونتّي كارلو الزمنية المزيفة pseudo-chronological Monte Carlo [4] simulation، وهي طريقة تحفظ الفعالية الحسابية لطريقة مونتّي كارلو غير المتتالية، وقابليتها لتمثيل منحنيات الحمل الزمنية في طريقة محاكاة مونتّي كارلو المتتابعة. تستخدم هذه الطريقة نموذجاً ماركوفياً خاصاً للحمل، وفيه يُحصّل أثر الأحمال المتغيرة مع الزمن.

الأرقام إلى مرات إصلاح وتعطل باستخدام توزيعات مناسبة.

د- تحديد الزمن الأصغر وتعيينه كمقياس زمني للعملية.
هـ- تحليل أداء الموثوقية من أجل نقاط الأحمال، والمغذيات جميعها، أو أي مجموعة محددة من المستهلكين، أو لكامل النظام. وهذا يتضمن البحث عن عمليات القطع الممكنة التي تمثل أيضاً. هذا التحليل يجب أن يعتبر تغيرات الحمل الزمنية للمستهلكين.
و- حساب مؤشرات الموثوقية لنقاط الأحمال كلها بناءً على البيانات السابقة.

ز- إنشاء وإضافة زمن آخر (up or down) متوافق مع المركبة. إذا كانت مدة التحليل لم تنته بعد، نعود للخطوة السادسة، عدا ذلك تحسب مؤشرات الموثوقية من أجل نقاط الأحمال جميعها والنظام من أجل المدة الزمنية الموافقة وتتابع في الخطوة الثامنة.

ح- تقدير عامل التغير β من أجل مؤشرات الموثوقية المعطاة. إن لم يكن التقارب مقبولاً، نعود إلى الخطوة الرابعة، فيما عدا ذلك، نحسب مؤشرات الموثوقية لنقاط الأحمال والنظام. بعدها توقّف عملية النمذجة.

4- استخدام برنامج (DIGSILENT) Power Factory

في تقويم موثوقية الشبكات الكهربائية

يعدّ برنامج (DIGSILENT) Power Factory من أشهر البرامج المستخدمة عالمياً في نمذجة الشبكات الكهربائية والقيام بالعديد من العمليات الحسابية عليها، ويأتي اسم البرنامج اختصاراً للجملة الآتية Digital Simulation of Electrical Networks. يساعد البرنامج على القيام بالعديد من الحسابات الكهربائية مثل حسابات تيارات القصر، وجريان الحمولة، وتنسيق الحماية، وتحليل المدارج، ودراسة الاستقرار، فضلاً عن تحليل الموثوقية.

في مجال تحليل الموثوقية، يقدم البرنامج ثلاث وظائف مختلفة، تحليل الأعطال Contingency Analysis، وتقويم احتمالي لموثوقية الشبكة Network Reliability

$$V(E[G]) = \frac{V(G)}{NY} \quad (11)$$

إذ $V(G)$ هي تغيّر تابع الاختبار. ويُختبر تقارب إجراء المحاكاة the convergence باستخدام معامل التغيّر coefficient of variation β

$$b = \sqrt{V(\tilde{E}[G]) / \tilde{E}[G]} \quad (12)$$

3-2-4 منهجية التتابع الزمني

: Chronological Methodology

مع افتراض أن عملية التتابع الزمني قائمة على تمثيل غير متتابع عشوائي [7] فهي تستعمل المفهوم الزمني chronological concept. في الواقع، هي قائمة على اجتماع مهم لكل من التقانات التحليلية مثل مجموعات القطع الأصغرية (minimum cut-sets) و نمذجة مونت كارلو الزمنية (chronological monte carlo simulation). إن تقدير تكاليف الانقطاعات وتقويمها يجري مناقشتها بتعمق عبر مؤشرات موثوقية التوزيع. تؤسس هذه المنهجية لمؤشرات الموثوقية عند كل نقطة حمل معتبرة. فهي تعطي نظرة شاملة عن النظام. بعض الحوادث مثل (عمليات الفصل والوصل، وتغيّر الحمل) في بعض المغذيات لا يمكن استخلاصها بدقة. الخيار الأفضل يكون بتمثيل أي للسلوك الزمني لمركبات نظام التوزيع. وتصبح الخوارزمية بالشكل الآتي [8]:

أ- تحديد المسارات الدنيا ومجموعات القطع لنقاط الأحمال كلها.

ب- تمثيل الحالة الابتدائية لكل مركب ينتمي لكل مجموعة قطع أصغرية باستخدام تمثيل مونت كارلو غير المتتابع.

ج- إنشاء أرقام عشوائية مختلفة من أجل كل من حالتي العمل والإصلاح Up and Dawn times لكل مركبة تنتمي إلى مجموعة القطع الأصغرية، وتحويل هذه

هنا أن يقوموا بتعريف حوادث الخروج مسبقاً، بل يتم اعتبار عمليات خروج العناصر الممكنة جميعها بكل بساطة. تُستخدَم البيانات الإحصائية عن تكرار التعطل المحتمل وزمن استمراره لكل نوع مركبة في النظام، وتُحلُّ كل حالة تعطل بطريقة مؤتمتة، أي إن البرنامج يقوم بنمذجة نظام الحماية والعمليات التي يقوم بها العامل وذلك لإعادة تغذية المستهلكين. ونظراً إلى أن البيانات الإحصائية لتكرار كل حدث هي عملية ممكنة، فإن النتائج تُشكَّل بطريقة احتمالية. تقوم عملية تقويم موثوقية الشبكة بتقديم مجموعتين من المؤشرات، مؤشرات موثوقية نقاط الأحمال، ومؤشرات موثوقية النظام. بشكل عام، إن تقويم مؤشرات الموثوقية لنظام قدرة أو لجزء منه، هو تقدير مدى إمكانية توافر الطاقة الكهربائية التي تقدمها الشبكة للمستهلكين المشتركين بها، وهذه واحدة من سمات جودة الطاقة ومتطلباتها.

البرنامج مزود بنوعين من أنواع التحليل، تحليل الحوادث الطارئة التي حُدَّت لآثار الإخفاق، وتحليل موثوقية احتمالي للوضع المستقبلي وفق بيانات الأعطال المعطاة. سوف نستخدم البرنامج هنا في مثال للتقويم الاحتمالي للانقطاعات خلال مدة التشغيل المستقبلية لنظام توزيع؛ وذلك وفقاً للمعطيات المقدمة. وتحليل موثوقية الأداء المستقبلي هو امتداد لتحليل الحالات الطارئة المسجلة، والفرق هو أن القائم على تخطيط الشبكة ليس مضطراً لتعريف حوادث الإخفاق مسبقاً، بل يقوم باعتبار حالات خروج عناصر ومركبات الشبكة جميعها من الخدمة. يتم اعتبار علاقة كل خروج باستعمال بيانات إحصائية عن التكرار المحتمل لحدوث الأعطال وزمن استمرارها؛ وذلك لكل نوع من المركبات. كما يتم أيضاً اعتبار وتحليل أثر كل عملية تعطل مركب، أي إن البرنامج يقوم بنمذجة نظام الحماية أيضاً لنظام القدرة المدروس.

Assessment، وتقويم هبوط التوتر Voltage Sag Assessment.

قامت المؤسسة العامة لتوزيع الطاقة الكهربائية مؤخراً بشراء خمس نسخ من هذا البرنامج، وقد تمكنا من استثمار هذا البرنامج في إجراء هذه الدراسة، وذلك بالتنسيق مع القائمين عليه في المؤسسة المذكورة.

4-1 تحليل الأعطال (Contingency Analysis):

وهو تقويم محدد لآثار الإخفاق عند أعطال معطاة، يمكن أن يستخدم لتحديد هامش نقل الطاقة أو لتحديد حالات خطر زيادة التحميل، إذ يقوم بإنجاز حسابات جريان الحمولة من أجل تحديد خروج العناصر من الخدمة التي يحددها المستخدم. كل تحديد خروج يعدُّ خروج عنصر أو أكثر من الخدمة، بعدها يبدأ بحساب جريان الحمولة. يقدم البرنامج تقريراً عن كل حالة تعطل وملخصاً عن الحسابات والتأثير في النظام، يتضمن هذا الملخص زيادات التحميل ومستويات التوتر الدنيا والعليا وعوامل التوزيع (Outage Distribution Factors (ODF)، وهي عامل توزيع الخط، أي تغيير مقدار تيار فرع ما نتيجة خروج فرع آخر من الخدمة، وعامل توزيع التوليد، أي تغيير تيار الخط نتيجة خروج مولد من الخدمة. أربعة تقارير نحصل عليها في حال محاكاة خروج العناصر، وهي: تقرير عن التحميل الأعظمي، وتقارير عن الدارات المحملة تحميلاً زائداً، وتقارير عن مجالات التوتر، وتقارير عن النقاط ذات القيم الحرجة للتوتر.

4-2 تقويم موثوقية الشبكة

:Network Reliability Assessment

يدرس تحليل الأعطال المذكور أعلاه أثر خروج العناصر المختلفة والمعرفة مسبقاً في النظام، ويجب تحليل أثر هذه الأعطال في وضع التغذية، وقياساتها على المستهلكين المنقطعين. أمّا عملية تقويم الموثوقية فهي امتداد لعملية تحليل الأعطال، لا يحتاج مخططو الشبكة

State. سوف تستخدم حالة النظام المقدمة موديلات الحمل والأعطال لبناء قائمة بحالات النظام ذات الصلة. كل واحدة من هذه الحالات قد تملك عطلاً أو أكثر. ويأتي دور تحليل أثر التعطل (FEA) ومهمته لتحليل حالة النظام المتعطل؛ وذلك بمحاكاة رد فعل النظام على هذا العطل. قد يأخذ FEA نظام القدرة عبر عدد من حالات التشغيل التي قد تتضمن:

- فصل الأعطال بفصل قواطع الحماية.

- عزل الأعطال بفتح قواطع العزل.

- استعادة التغذية بإغلاق قواطع.

- تخفيف الحمل الزائد بنقل أحمال أو فصل بعضها.

المهمة الرئيسية لتحليل أثر العطل FEA، هي اكتشاف هل ستؤدي أعطال النظام إلى فصل أحمال ومتى سوف يتم ذلك؟ وأي الأحمال سوف يفصل وكم من الوقت سوف يستغرق زمن تعطله؟

يجري جمع نتائج تحليل أثر العطل FEA مع البيانات المقدمة من حالة النظام لتحديث البيانات الإحصائية. وتصف بيانات حالة النظام هذه التكرار المحتمل لحدوث حالة النظام هذه وزمن استمرارها المتوقع. هذا ويجب عدم الخلط بين مفهوم زمن استمرار الحالة وزمن استمرار الانقطاع، إذ إن خروج خط مفرد يغذي حملاً من الخدمة يؤدي على سبيل المثال إلى انقطاع التغذية عن الحمل حيث يتساوى هنا زمن استمرار الحالة وزمن الانقطاع، في حين لو كان هذا الحمل مغذىً من خط مزدوج، فقد لا يؤدي انقطاع أحدهما إلى انقطاع التغذية. في مثل هذه الحالات، يمكن تعريف موديل ماركوف المتجانس Homogenous Markov Model لأكثر من حالتين، وهنا يجب التمييز بين الأعطال التي يمكن أن يتم إصلاحها بسرعة والأعطال التي يأخذ إصلاحها بعض الوقت، لذا فقد تلزم حالتا صيانة (Two repair states)،

يتألف حساب تحليل الموثوقية الاحتمالي من الخطوات الآتية:

- تمثيل الأعطال Failure modeling

- تمثيل الأحمال Load modeling

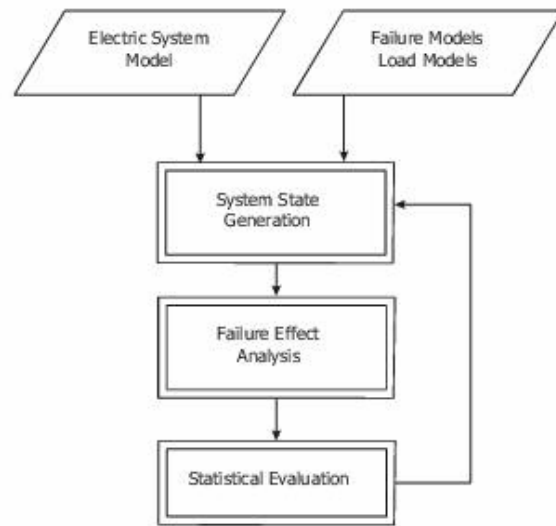
- تقديم حالة النظام System state production

- تحليل أثر التعطل Failure Effect Analysis (FEA)

- تحليل إحصائي Statistical analysis

- الحصول على النتائج Reporting

وهذه الخطوات مبيّنة في المخطط الصندوقي في الشكل (1)



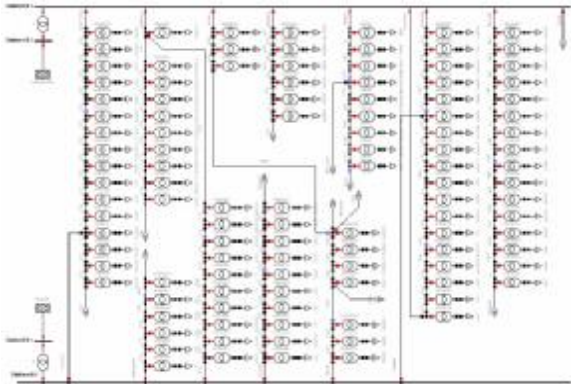
الشكل (1) مخطط صندوقي، خطوات تحليل الموثوقية الاحتمالي

في المخطط الصندوقي السابق، يصف نموذج العطل الطريقة التي قد يتعطل بها المركب، وعدد مرات التعطل وكم سيستغرق زمن بقاء المركب خارج الخدمة. أمّا نموذج الحمل فقد يتكون من مقدار الطلب على الحمل فقط، أو قد يكون قائماً على التنبؤ الدقيق بالحمل وسيناريو تطوره.

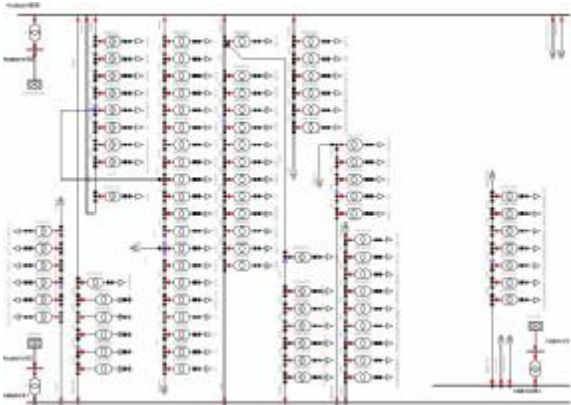
إن اجتماعاً واحداً أو أكثر من الأعطال المتفرقة مع شروط حمل محددة يشكل حالة النظام المدروس System

5-1 التقويم الكمي لوثوقية شبكات توزيع من المنظومة الكهربائية السورية

مُتَّلت شبكة التوزيع 20 KV لمدينة دمشق بالكامل، وذلك باستخدام البرنامج DIgSILENT المذكور أعلاه، وذلك بهدف تقويم وثوقية هذه الشبكة. تبين الأشكال من (3) إلى (37). تمثيلاً لمحطات التحويل 66/20KV في مدينة دمشق البالغ عددها 29/ محطة، وقد مُتَّلت 479/ مغذياً من مغذيات 20KV، تقوم هذه المغذيات بتزويد 2515/ مركز تحويل 20/0.4 KV بالطاقة الكهربائية، لتتفرع بعدها الشبكة لتقوم بتزويد أكثر من 538677/ مشترك بالطاقة الكهربائية. وتظهر الأشكال المغذيات التي تزود الطاقة الكهربائية لمشاركي مدينة دمشق فقط، أي إنه لم تُمَثَّل المغذيات الصادرة لتغذية مشاركي محافظة ريف دمشق.



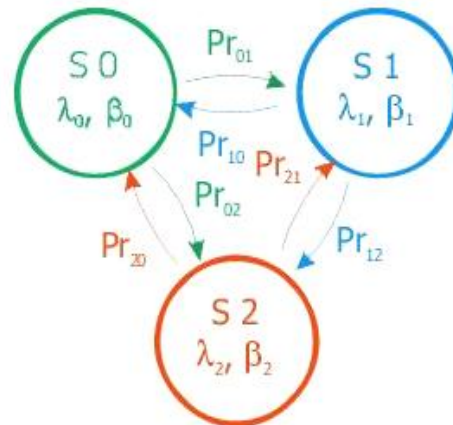
الشكل (3) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل الحرش



الشكل (4) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل الأمويين

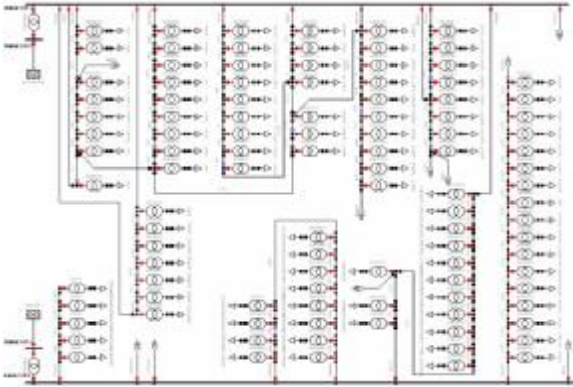
كل واحدة لها زمن إصلاح وسطي مختلف. ميزة موديل ماركوف أنه لا يملك ذاكرة لوقت حدوث العطل، أي إنه إذا تم القيام بعمل صيانة وقائي لتطوير موثوقية المركب، فليس هناك فرق إذا كانت آخر عملية صيانة قد تمت منذ أسبوع أو منذ خمس سنوات مضت، فاحتمال تعطل المركب في المستقبل سوف يبقى ثابتاً، وبذلك فإن تأثير الصيانة الوقائية لا يتم اعتباره عند استخدام موديل ماركوف.

إن عملية تقويم الموثوقية باستخدام البرنامج Power Factory (DIgSILENT) تعتمد على نموذج (ويبول-ماركوف (Weibull-Markov model "WM-model"). وهذا موديل أكثر تطوراً، وفيه يُستخدَم توزيع ويبول Weibull distribution لأزمة استمرار الأعطال العشوائية كلها. وهذا التوزيع يستعمل عامل تشكيل (shape factor, β) وزمناً مميزاً (characteristic time). وينتج موديل ماركوف المتجانس من خلال ضبط قيمة عامل التشكيل على القيمة $\beta = 1$. يبين الشكل (2)، موديل WM-model لنظام بثلاث حالات.

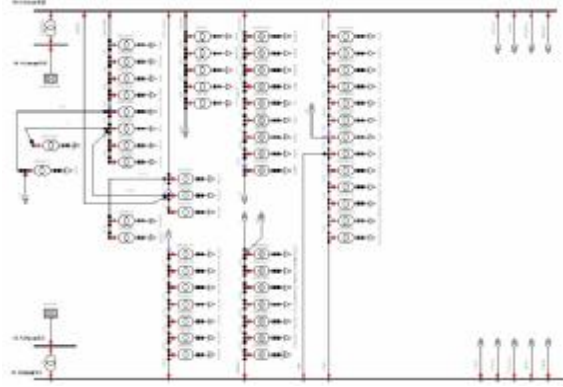


الشكل (2) موديل (ماركوف- ويبول) ويبين المحددات المطلوبة كلها لتعريف موديل (ماركوف - ويبول).

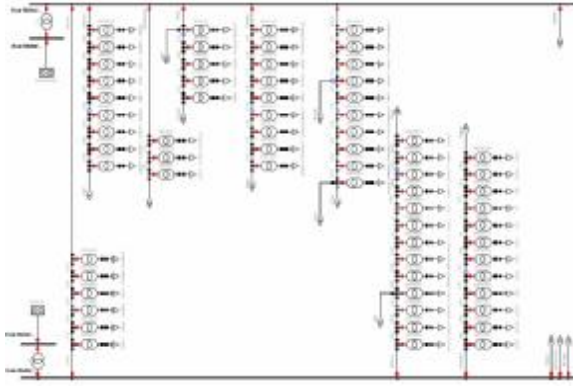
5- الدراسة العملية:



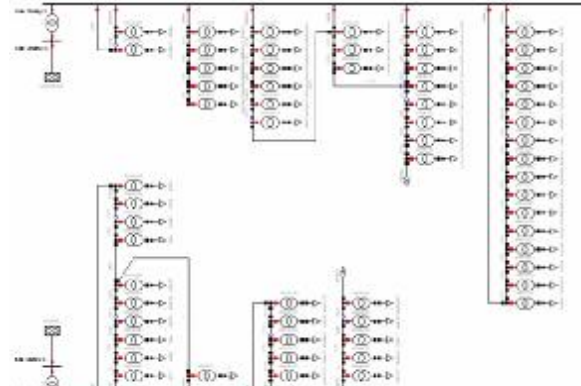
الشكل (8) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل برزة



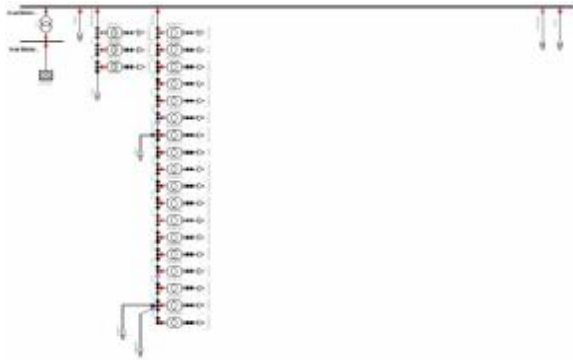
الشكل (5) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل الأشمري



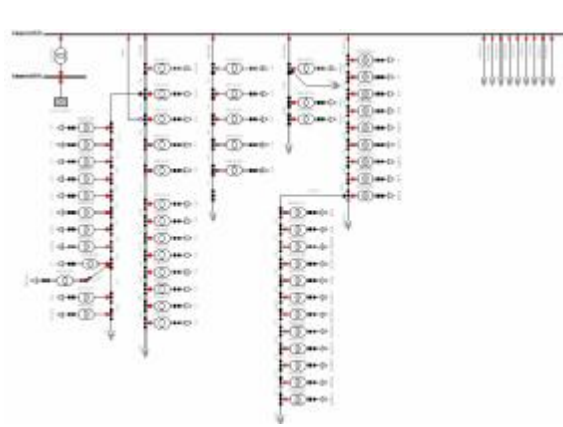
الشكل (9) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل دوار المطار



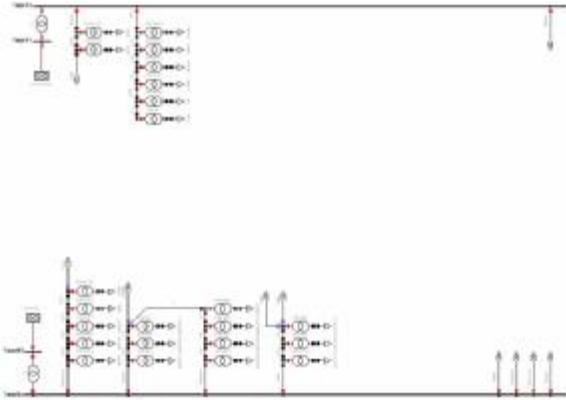
الشكل (6) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل باب شرقي



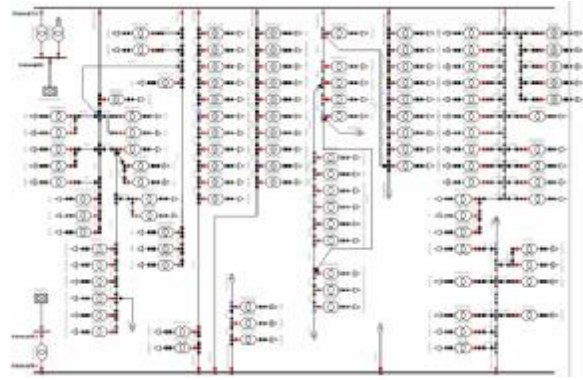
الشكل (10) تنمة لمغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل دوار المطار



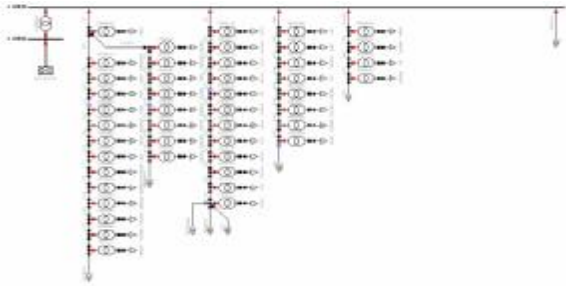
الشكل (7) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل البرامكة



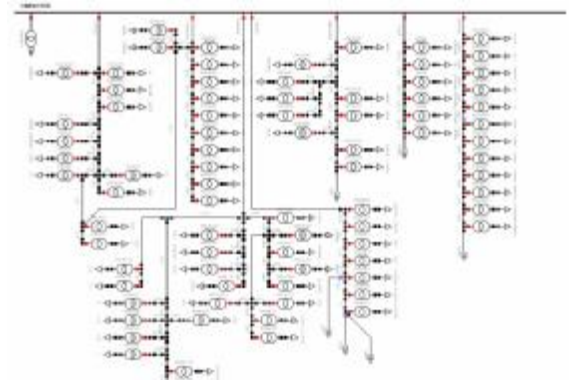
الشكل (14) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل الحجر الأسود



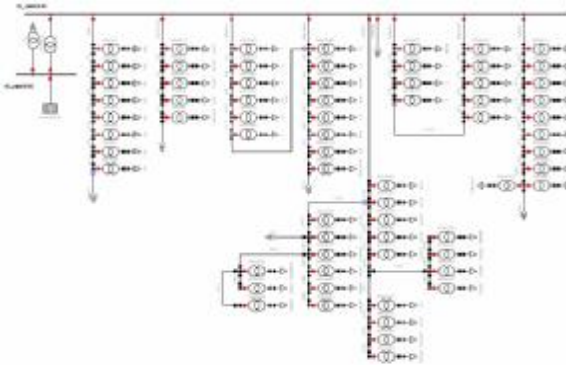
الشكل (11) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل دمر



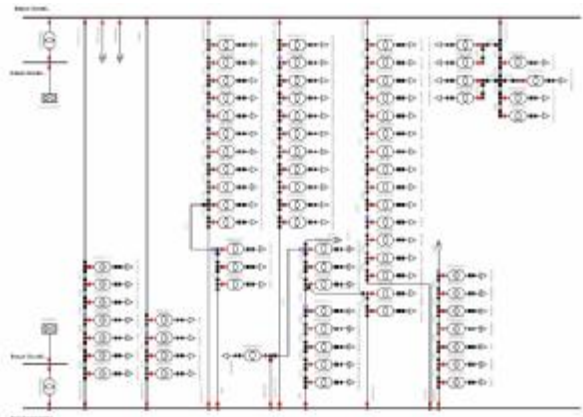
الشكل (15) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل جودت الهاشمي النقال



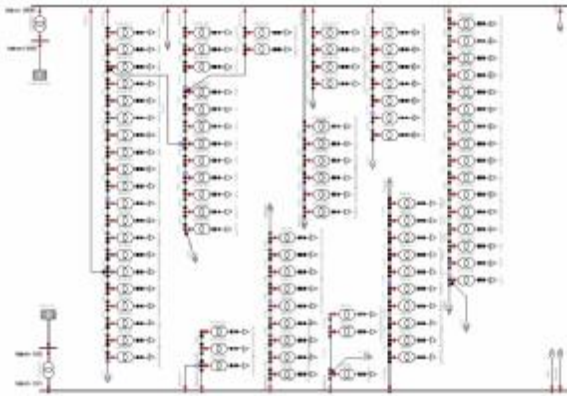
الشكل (12) تنمة مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل دمر



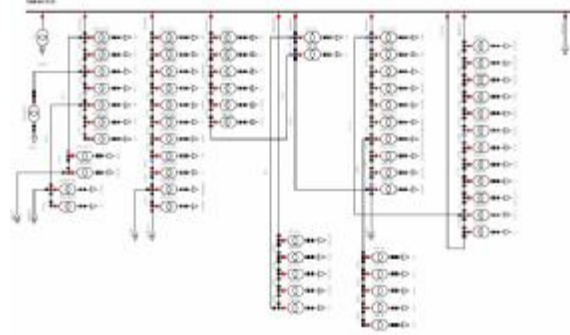
الشكل (16) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل الجلاء



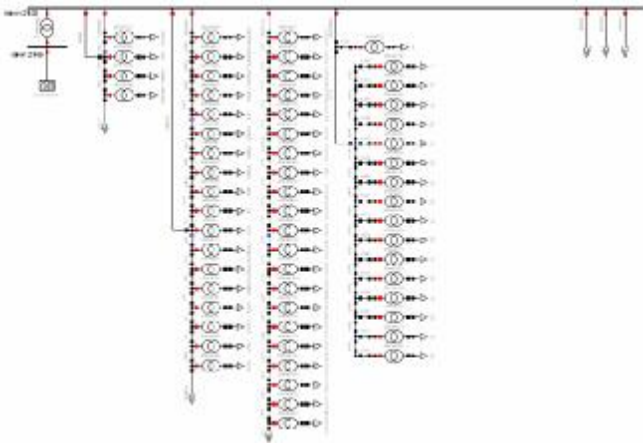
الشكل (13) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل دمر المغلقة



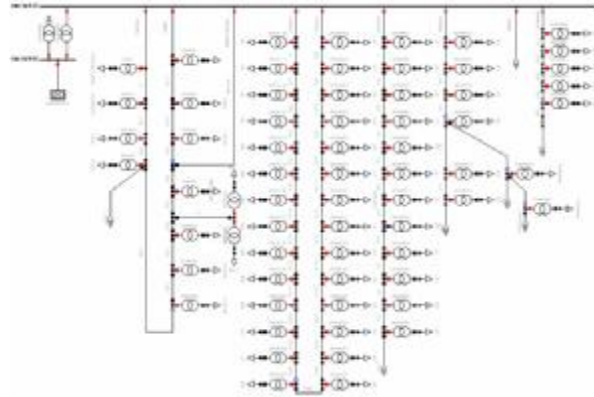
الشكل (20) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل القابون/1/



الشكل (17) تنمة مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل الجلاء



الشكل (21) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل القابون/2/



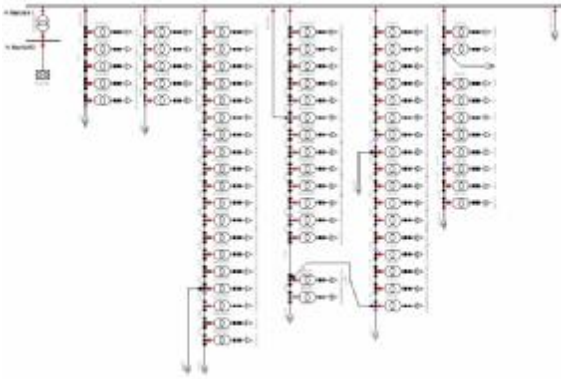
الشكل (18) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل الجامعة



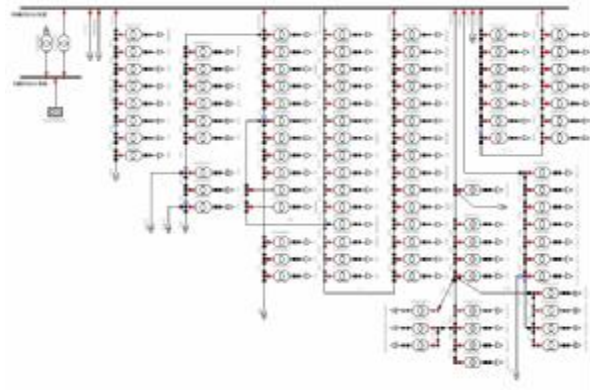
الشكل (22) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل القابون/3/



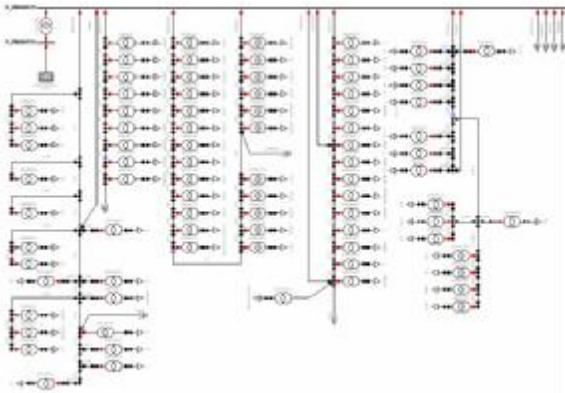
الشكل (19) تنمة مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل الجامعة



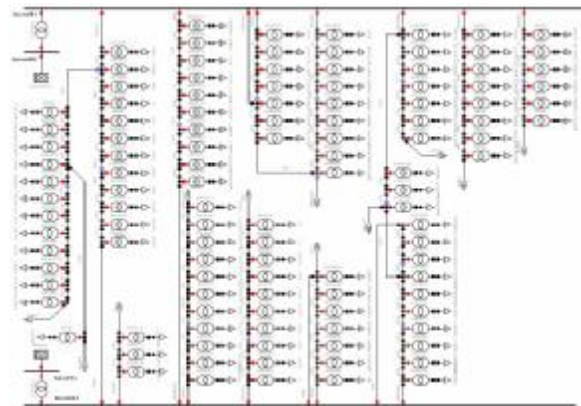
الشكل (26) تنمة مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل المزرعة



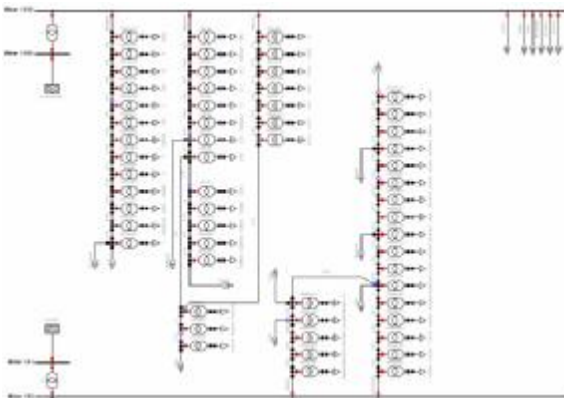
الشكل (23) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل كفرسوسة



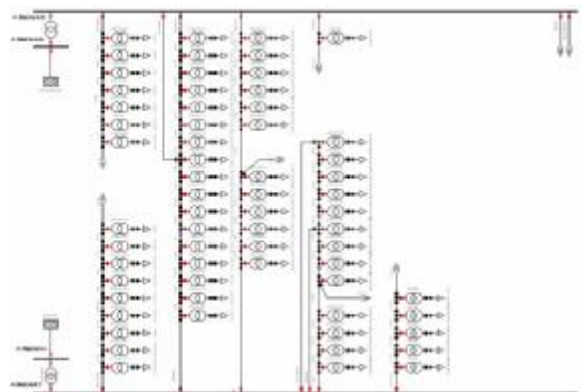
الشكل (27) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل المزة



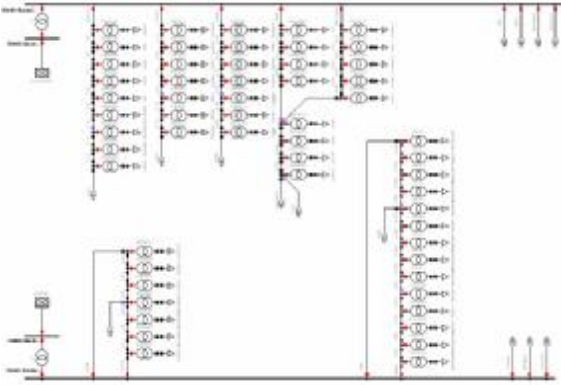
الشكل (24) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل القصور



الشكل (28) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل ميدان/1



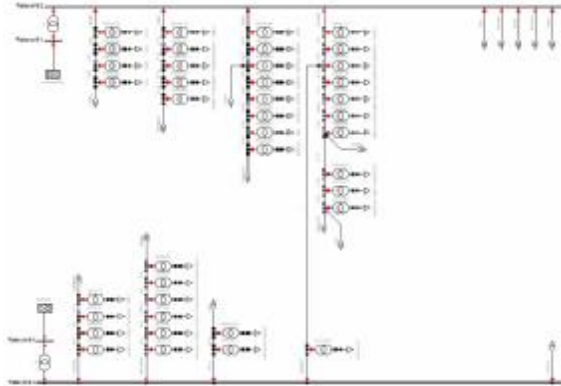
الشكل (25) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل المزرعة



الشكل (32) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل الشبخ حسن



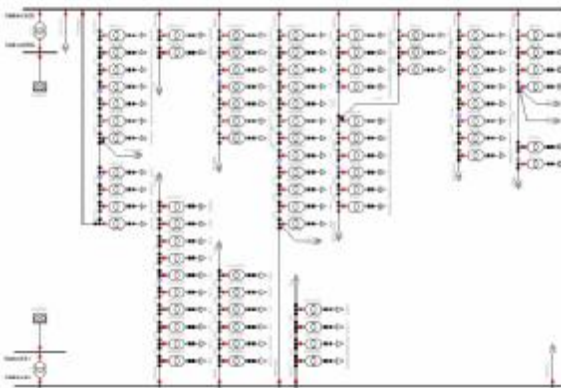
الشكل (29) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل ميدان/2



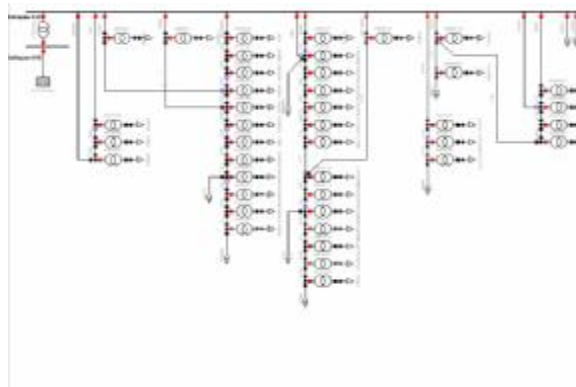
الشكل (33) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل التضامن



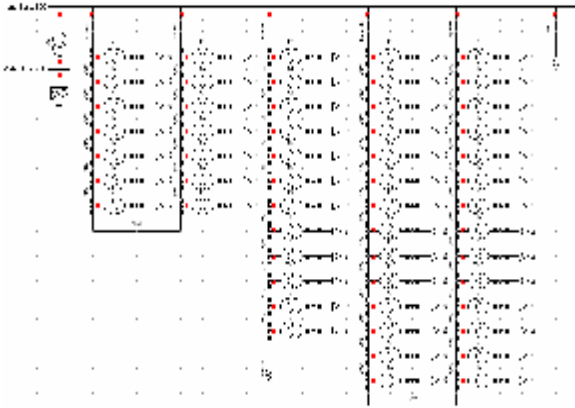
الشكل (30) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل الميرديان



الشكل (34) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل الثورة



الشكل (31) مغذيات 20KV الصادرة من محطة تحويل المخيم



الشكل (40) المغذيات الصادرة عن محطة تحويل كفرسوسة لتغذية منطقة تنظيم كفرسوسة

تم بدايةً تقويم الوثوقية في هذه الشبكة باعتبار الوضع القائم لها، وذلك بإدخال البيانات المبينة في الجدول (1). يبين الجدول (3) قيم مؤشرات الوثوقية في هذه الحالة. الجدول (3) مؤشرات الوثوقية في شبكة توزيع منطقة تنظيم كفرسوسة في الوضع الراهن.

Study Case: Distribution Network

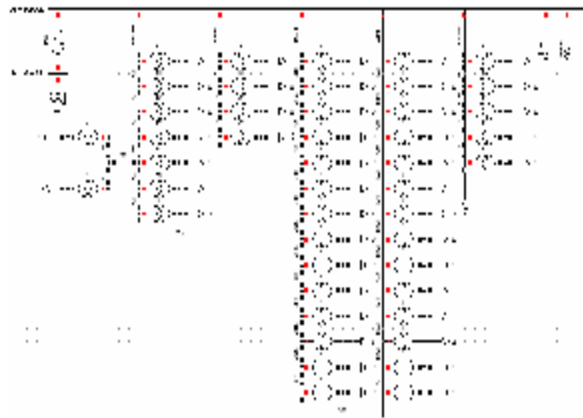
System Summary

Number of buses	10	10
Number of feeders	10	10
Number of loads	10	10
Number of branches	10	10
Number of switches	10	10
Number of transformers	10	10
Number of cables	10	10
Number of poles	10	10
Number of towers	10	10
Number of conductors	10	10
Number of insulators	10	10
Number of ground wires	10	10
Number of lightning rods	10	10
Number of surge arresters	10	10
Number of capacitors	10	10
Number of reactors	10	10
Number of filters	10	10
Number of meters	10	10
Number of relays	10	10
Number of breakers	10	10
Number of fuses	10	10
Number of switches	10	10
Number of transformers	10	10
Number of cables	10	10
Number of poles	10	10
Number of towers	10	10
Number of conductors	10	10
Number of insulators	10	10
Number of ground wires	10	10
Number of lightning rods	10	10
Number of surge arresters	10	10
Number of capacitors	10	10
Number of reactors	10	10
Number of filters	10	10
Number of meters	10	10
Number of relays	10	10
Number of breakers	10	10
Number of fuses	10	10

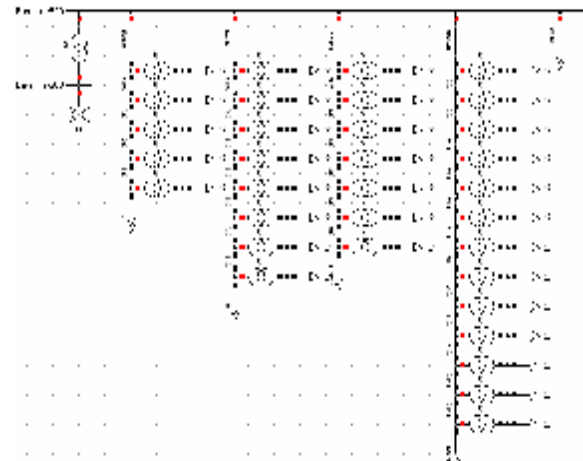
وسنقوم هنا بدراسة اقتراحين من شأنهما تحسين واقع الوثوقية في الشبكة المدروسة. 1-5 إيجاد التوضع الأمثل للقواطع المفتوحة في المغذيات الحلقية

تبين الأشكال (38)، (39) و(40)، شبكة التوزيع في منطقة تنظيم كفرسوسة في وضعها الراهن، حيث تظهر على هذه الأشكال مواقع القواطع المفتوحة في حالة العمل الطبيعي، إذ إنَّ الربط الحلقي غير مسموح في الوقت

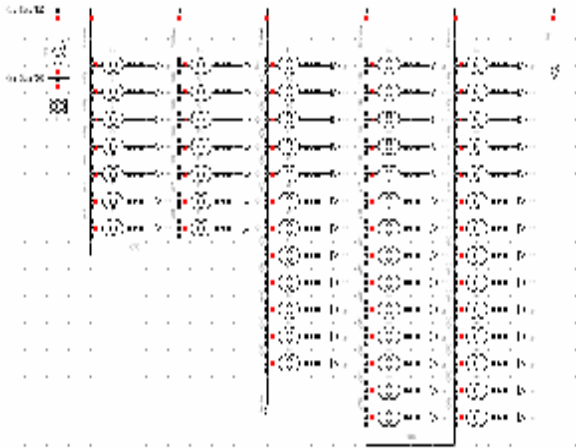
استخدم البرنامج DIGSILENT لتمثيل هذه الشبكة، تبيّن الأشكال (38)، (39) و(40)، تمثيلاً لمغذيات 20 KV الصادرة عن المحطات الثلاث المذكورة أعلاه والمغذية لهذه المنطقة، فضلاً عن مراكز التحويل 20/0.4 KV، والأحمال الكهربائية في هذه المنطقة.



الشكل (38) المغذيات الصادرة عن محطة تحويل الجامعة لتغذية منطقة تنظيم كفرسوسة



الشكل (39) المغذيات الصادرة عن محطة تحويل البرامكة لتغذية منطقة تنظيم كفرسوسة



الشكل (43) التوضع الأمثل للقواطع المفتوحة في المغذيات الحلقية الصادرة عن محطة تحويل كفرسوسة لتغذية منطقة تنظيم كفرسوسة

الجدول (4) مؤشرات الوثوقية في شبكة توزيع منطقة تنظيم كفرسوسة في حال التوضع الأمثل للقواطع المفتوحة

المؤشرات	
المؤشر	القيمة
مؤشر موثوقية الإمداد (SAIDI)	0.0001
مؤشر موثوقية الإمداد (SAIFI)	0.0001
مؤشر موثوقية الإمداد (SAIDI)	0.0001
مؤشر موثوقية الإمداد (SAIFI)	0.0001
مؤشر موثوقية الإمداد (SAIDI)	0.0001
مؤشر موثوقية الإمداد (SAIFI)	0.0001
مؤشر موثوقية الإمداد (SAIDI)	0.0001
مؤشر موثوقية الإمداد (SAIFI)	0.0001
مؤشر موثوقية الإمداد (SAIDI)	0.0001
مؤشر موثوقية الإمداد (SAIFI)	0.0001

من مقارنة الجدولين (3) و(4) يمكن ملاحظة مقدار التحسن في مؤشرات الوثوقية، فعلى سبيل المثال، ينخفض زمن الانقطاع الوسطي الذي يتعرض له سنوياً كل مشترك، من (20.176 h) إلى (15.936 h)، ومن ثمّ ينخفض مقدار الطاقة غير المقدمة سنوياً لكل مشترك من (16KWh) إلى (13 KWh).

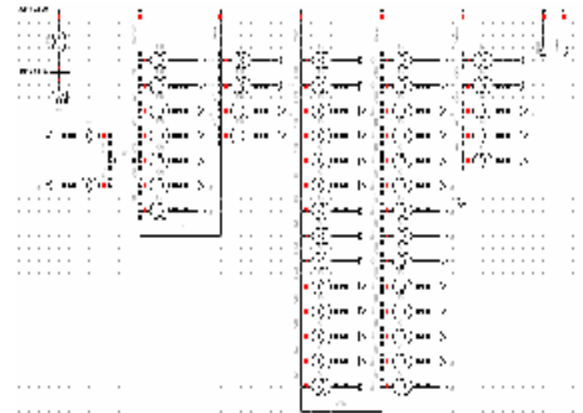
5-2 تطبيق نظام SCADA في الشبكة الكهربائية

في الشبكة المبيّنة في الأشكال (38)، (39) و(40)، افترض أن عملية عزل المنطقة التي حدث فيها العطل الكهربائي، ومن ثم استعادة تغذية بقية المناطق التي تأثرت بهذا الانقطاع، تستغرق زمناً قدره ساعة واحدة

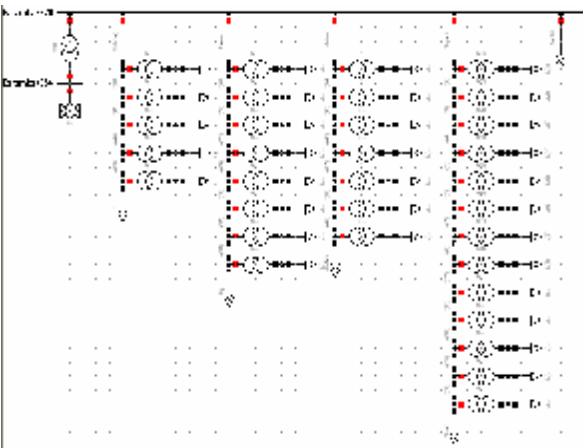
الراهن في شبكة التوزيع السورية، لذلك يسمى هذا النوع من الربط بالربط الحلقى_المفتوح.

وتبيّن الأشكال (41)، (42) و(43)، التوضع الأمثل لهذه القواطع المفتوحة في المغذيات الحلقية. من شأن هذا التوضع الجديد تحسين الوثوقية في الشبكة المدروسة.

يبين الجدول (4) قيم مؤشرات الوثوقية في هذه الحالة. أعيد عرض الأشكال من (38) حتى (43) في الملحق A في نهاية هذا المقال، وذلك بقصد إظهار أوضح لمقارنة مكان توضع القواطع المفتوحة.



الشكل (41) التوضع الأمثل للقواطع المفتوحة في المغذيات الحلقية الصادرة عن محطة تحويل الجامعة لتغذية منطقة تنظيم كفرسوسة



الشكل (42) التوضع الأمثل للقواطع المفتوحة في المغذيات الحلقية الصادرة عن محطة تحويل البرامكة لتغذية منطقة تنظيم كفرسوسة

مثلاً، أن زمن الانقطاع الوسطي الذي يتعرض له سنوياً كل مشترك قد انخفض من (20.176 h) إلى (7.061 h)، ومن ثمَّ ينخفض مقدار الطاقة غير المقدمة سنوياً لكل مشترك من (16 KWh) إلى (6 KWh).

ملخص واستنتاجات

يعرض البحث تعريفاً بتقانات النمذجة المستخدمة في عملية تقويم موثوقية الشبكات الكهربائية، كما يعرض برنامجاً متخصصاً، وهو برنامج DigSILENT، يستخدم تقانات النمذجة لحساب مؤشرات الموثوقية.

هدف البحث هو اعتماد منهجية للتقويم الكمي لموثوقية شبكات التوزيع وتطبيقها على شبكة توزيع كبيرة نسبياً هي شبكة 20 kV لمدينة دمشق، وكذلك اقتراح إجراءات عملية لتحسين الموثوقية.

استُخدمَ هذا البرنامج لتمثيل جزء من شبكة توزيع من المنظومة الكهربائية السورية، وهي شبكة التوزيع 20 KV لمدينة دمشق بالكامل، وأُجريت عملية تقويم كمي لموثوقية هذه الشبكة وحُسبت قيم بعض مؤشرات الموثوقية فيها.

استُعينَ بالبيانات الإحصائية المتوفرة لدى الشركة العامة لكهرباء محافظة دمشق بهدف الحصول على بيانات الدخل اللازمة للعناصر الكهربائية المستخدمة في الشبكة المدروسة.

كما ومثلاً جزء من شبكة توزيع منطقة تنظيم كفسوسة من مدينة دمشق، بهدف استخدامه في إجراء بعض المقارنات بهدف تحسين موثوقية شبكات التوزيع، وذلك عند تطبيق بعض الاقتراحات. أولاً، تم اقتراح تعديل وضع القواطع المفتوحة المتوضعة في مسار المغذيات، وإيجاد التوضع الأمثل لهذه القواطع الذي من شأنه أن يحسن واقع الموثوقية في الشبكة. بيّنت نتائج الحساب تحسناً ملحوظاً في الموثوقية إذ انخفض زمن الانقطاع

وسطياً، وهو الزمن الذي يستغرقه فريق الصيانة في شركة الكهرباء للقيام بهذه المهمة عن طريق الكشف على مسار الخط المتعطل وإيجاد القسم الذي حدث فيه العطل. وقد قُدِّرَ هذا الزمن بناءً على ما أورده القائمون على هذا العمل في الشركة العامة لكهرباء محافظة دمشق.

وسنقوم هنا، وبهدف المقارنة، بافتراض تطبيق نظام SCADA في شبكة التوزيع المدروسة، حيث تتم عملية عزل العطل واسترجاع تغذية تلقائي بزمن قصير (دقيقة واحدة مثلاً)، وهي إمكانيات متاحة في البرنامج المستخدم DigSILENT لتمثيل عملية تطبيق هذا النظام. ونظام SCADA مطبق في المنظومة الكهربائية السورية في جزء من شبكة 230 KV وما زال غير مطبق عند باقي مستويات التوتر ومنها شبكة التوزيع 20 KV. ويتضمن الملحق B تعريفاً بنظام SCADA وملخصاً عنه. ويبين الجدول (5) نتائج الدراسة في هذه الحالة.

الجدول (5) مؤشرات الموثوقية في شبكة توزيع منطقة تنظيم

كفسوسة بافتراض تطبيق نظام SCADA

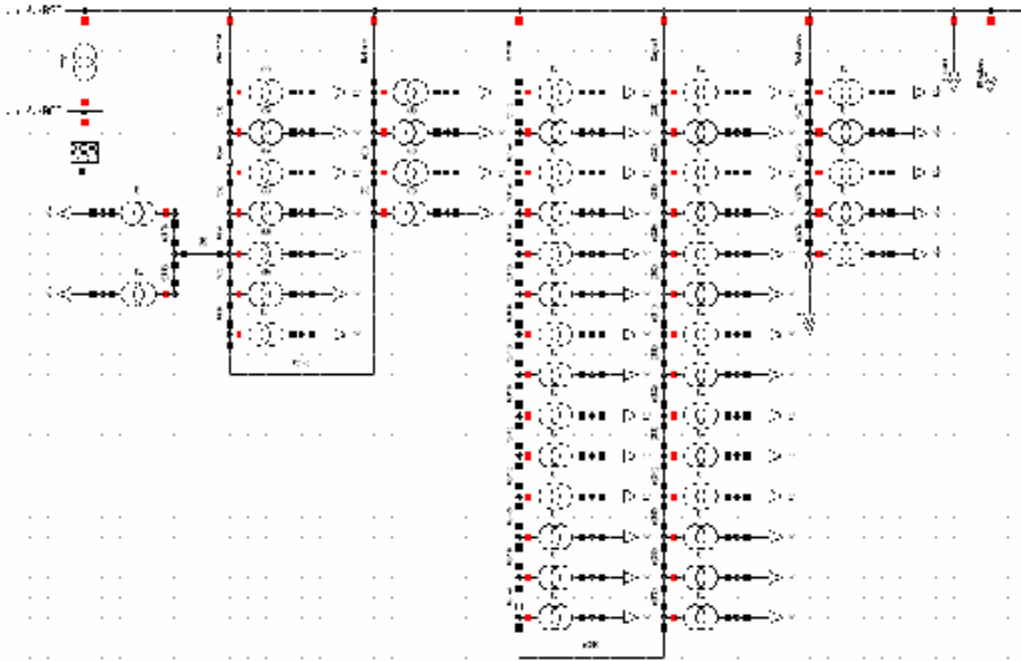
المؤشرات	
المؤشر الكمي للموثوقية	0.9999
المؤشر الكمي للموثوقية	0.9999
المؤشر الكمي للموثوقية	0.9999
المؤشر الكمي للموثوقية	0.9999
المؤشر الكمي للموثوقية	0.9999
المؤشر الكمي للموثوقية	0.9999
المؤشر الكمي للموثوقية	0.9999
المؤشر الكمي للموثوقية	0.9999
المؤشر الكمي للموثوقية	0.9999
المؤشر الكمي للموثوقية	0.9999

من مقارنة الجدولين (3) و(5)، نلاحظ الفارق الحاصل في مؤشرات الموثوقية نتيجة تطبيق نظام SCADA. فمن الملاحظ أن تطبيق هذا النظام لا يقلل من معدل تكرار حدوث العطل، لأنه ليس إجراءً وقائياً لمنع حدوث الأعطال، لكنه يقلل زمن استمرار الانقطاع، فنلاحظ

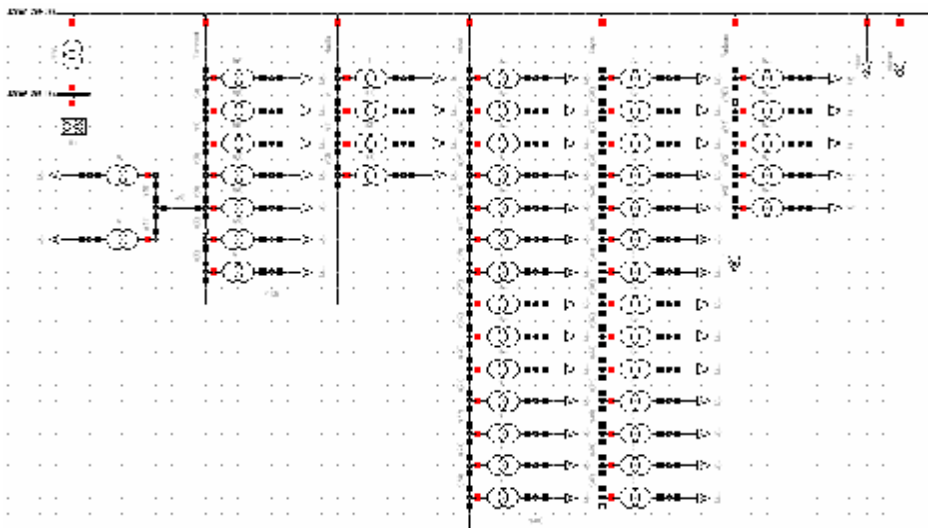
الوسطي الذي يتعرض له كل مشترك سنوياً، من (20.176 h) إلى (15.936 h)، ومن ثمَّ انخفض مقدار الطاقة غير المقدمة لكل مشترك سنوياً من (16KWh) إلى (13 KWh).

كما تم، كإقتراح ثانٍ، افتراض تطبيق نظام SCADA على شبكة توزيع منطقة تنظيم كفرسوسة ، ولُوْحِطَ مدى تحسن الوثوقية نتيجة لهذا الاقتراح إذ إنَّ زمن الانقطاع الوسطي الذي يتعرض له كل مشترك سنوياً قد انخفض من (20.176 h) إلى (7.061 h)، ومن ثمَّ انخفض مقدار الطاقة غير المقدمة لكل مشترك سنوياً من (16 KWh) إلى (6 KWh).

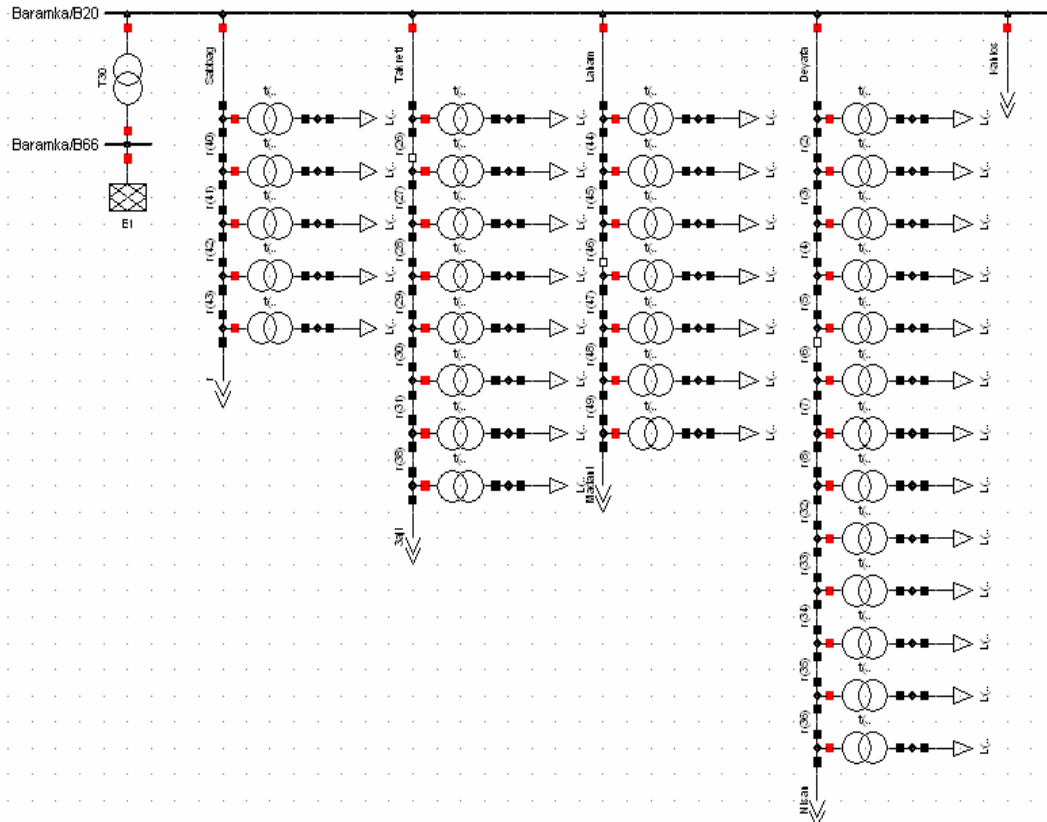
الملحق A: مخططات شبكة توزيع منطقة تنظيم كفرسوسة، في كل من الحالة القائمة، وفي حالة التوزيع الأمثل للقواطع المفتوحة في مسار المغذيات الحلقية .



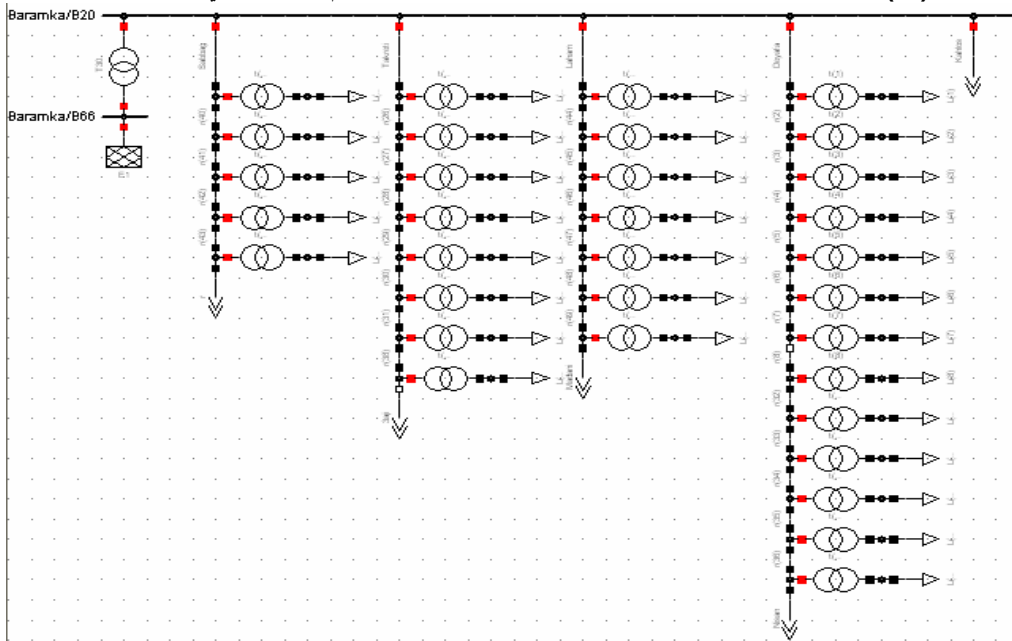
الشكل (38) المغذيات الصادرة عن محطة تحويل الجامعة لتغذية منطقة تنظيم كفرسوسة في الحالة الراهنة



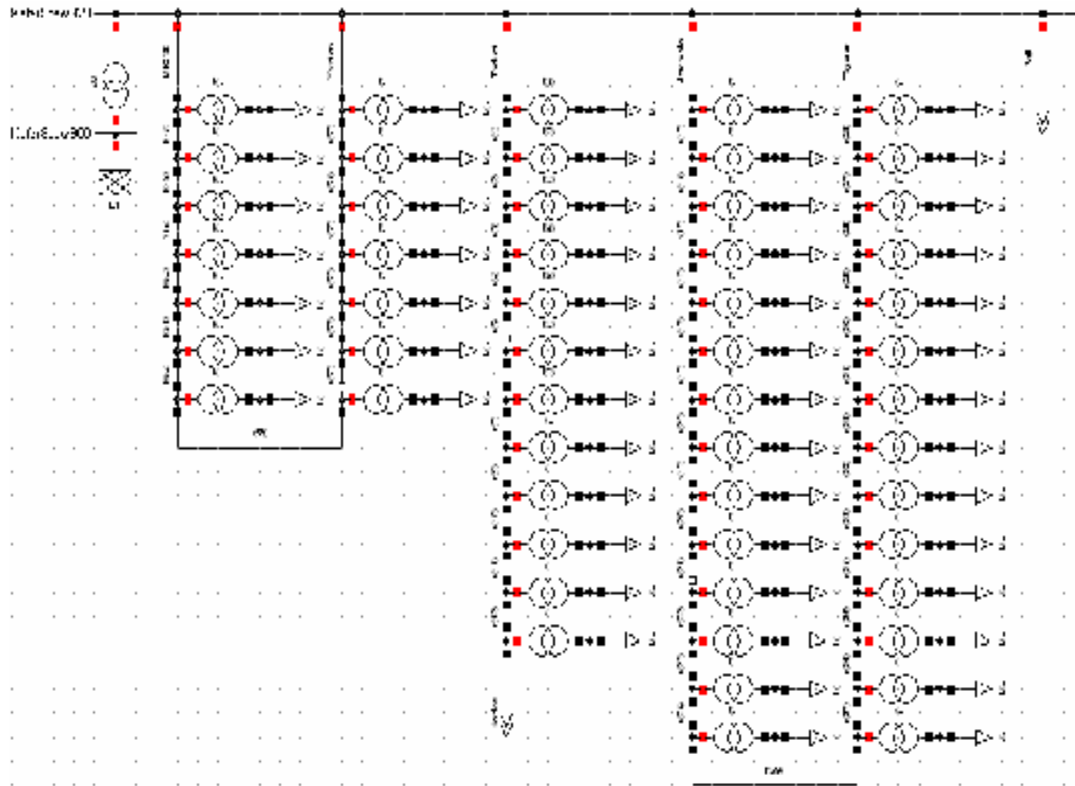
الشكل (41) التوزيع الأمثل للقواطع المفتوحة في المغذيات الحلقية الصادرة عن محطة تحويل الجامعة لتغذية منطقة تنظيم كفرسوسة



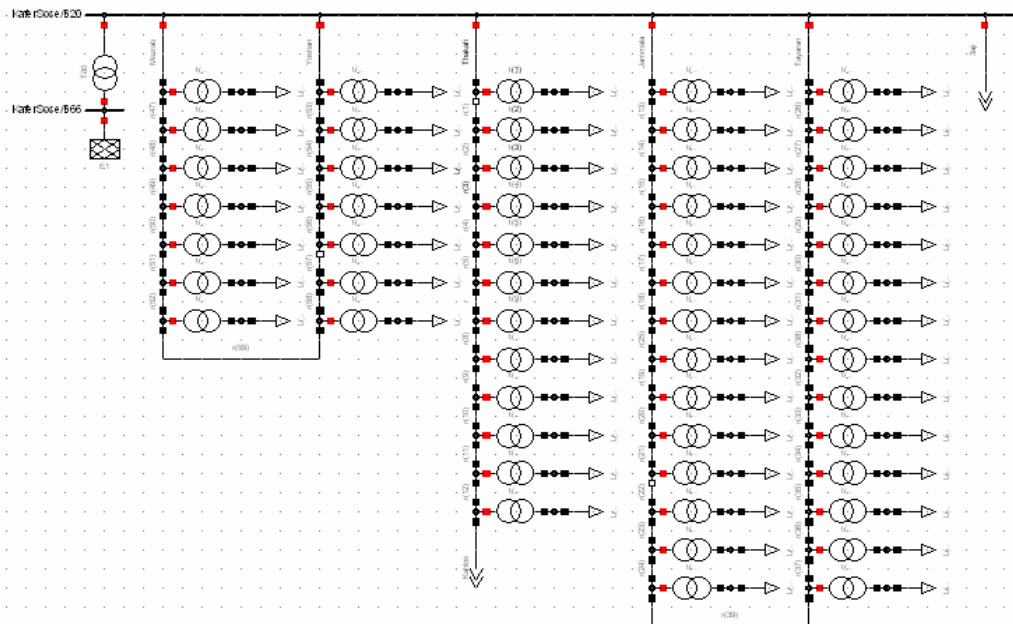
الشكل (39) المغذيات الصادرة عن محطة تحويل البرامكة لتغذية منطقة تنظيم كفسوسة في الحالة الراهنة



الشكل (42) التوضع الأمثل للقواطع المفتوحة في المغذيات الحلقية الصادرة عن محطة تحويل البرامكة لتغذية منطقة تنظيم كفسوسة



الشكل (40) المغذيات الصادرة عن محطة تحويل كفسوسة لتغذية منطقة تنظيم كفسوسة في الحالة الراهنة



الشكل (43) التوضع الأمثل للقواطع المفتوحة في المغذيات الحلقية الصادرة عن محطة تحويل كفسوسة لتغذية منطقة تنظيم كفسوسة

تعريف منطقة التحكم control area ومهام ACC من قبل الهيئات المعنية في بلدان مختلفة.

3- نظام SCADA/EMS

مقدمة:

إن كلمة SCADA هي مصطلح يتكون من أوائل حروف الكلمات الانكليزية:

Supervisory Control and Data Acquisition وتعني المراقبة والتحكم وتحصيل المعلومات.

يسمح نظام الـ SCADA لعامل التشغيل بالمراقبة والتحكم بالنظم المنتشرة بشكل واسع مثل نظم القدرة الكهربائية، وحقول النفط وخطوط نقله بالأنابيب، والغاز... الخ من مسافات بعيدة، وإحداث تغييرات في نقط العمل، وإغلاق القواطع، الصمامات وفتحها، عرض الإنذارات وجمع المعلومات.

كما يساعد نظام الـ SCADA على التقليل من نفقات الزيارات والمهمات الروتينية إلى المحطات البعيدة.

تُجمَع المعلومات من المحطات البعيدة (بما فيها وضعية العمل لكل عنصر، وإشارات التنبيه، وقرارات العدادات..... الخ) ونقلها إلى محطة مركزية، وبالمثل تُرسل الأوامر من المحطة المركزية إلى المحطات الفرعية، وهذه الأوامر قد تكون منطقية وقد تكون تمثيلية.

يقوم كل من CCC و ACCs بوظيفة المراقبة والتحكم عن

طريق نظام Supervisory Control and Data Acquisition/Energy Management System

(SCADA/EMS) الذي يُنشأ ضمن هذه المراكز. SCADA

مسؤول بشكل أساسي عن عمليات القياس عن بعد Remote

measurements وعمليات التحكم؛ EMS (نظام إدارة الطاقة)

هو مجموعة من البرمجيات التي تعمل في الزمن الحقيقي

(لحظياً) online لأجل أبتمة Optimization نظام القدرة والتحكم

به.

تأثرت نظم القدرة جذرياً بالتطورات السريعة في مجال

شبكات الحواسيب و تكنولوجيات الاتصالات في العقدين

السابقين. باستخدام حواسيب عالية الأداء أصبحت البرامج

الملحق B: ملخص عن نظام SCADA

قبل التعريف بنظام SCADA، نقدم تعريفاً لكل من مركزي التحكم المركزي والموزع.

1- مركز التحكم المركزي (Central Control Center (CCC

لتحقيق التشغيل الآلي الأمثل فنياً واقتصادياً لمنظومة القدرة الكهربائية يجب إنشاء مركز تحكم مركزي أو رئيسي (Central Control Center) (يسمى أحياناً مركز التنسيق الرئيسي (Central Dispatching Center CDC) يمثّل عين منظومة القدرة الكهربائية ودماغها لتنفيذ المراقبة Monitoring والتحكم Control في الزمن الحقيقي لتشغيل النظام ووثوقيته. كي يتمكن CCC من تنفيذ مهامه، ينبغي أن تُنقل البيانات المقيسة إلى CCC في الزمن الحقيقي خلال زمن محدد بالغ الصغر. ونظراً إلى ضرورة معالجة كميات هائلة من البيانات لحظياً Online، يجب تجهيز CCC بحواسيب عالية الأداء فضلاً عن نظام اتصالات موثوق به. مع التزايد المضطرد لمهمات CCC فإن العبء الحسابي Computational Burden له يتضخم، مما يقتضي تطويراً دائماً للمركز CCC من حيث المعدّات والبرمجيات لتلبية المتطلبات اللحظية.

2- مراكز التحكم المحلية (الفرعية) (Area Control Centers (ACC

فضلاً عن CCC يلزم إنشاء مراكز تحكم مناطقية أو فرعية ACC (Area Control Center) وظيفتها تماثل تماماً وظيفة CCC، ولكن تقتصر على جزء من منظومة القدرة. يمكن أن يكون ACC لأجل نظام التوزيع. الفرق بين CCC و ACC هو أن مجال عمل CCC هو منظومة القدرة كاملة في حين مجال عمل ACC هو جزء من المنظومة. إن وجود عدد من المراكز ACCs يفيد في تخفيف العبء الحسابي عن CCC بشكل ملحوظ ويؤدي إلى وفر كبير في شبكة الاتصالات اللازمة. في الواقع، استُخدمَ ACCs قبل CCC الذي برزت الحاجة إليه بعد دمج أنظمة القدرة المحلية لتشكيل منظومة قدرة موحدة كبيرة. معظم ACCs أصبحت مراكز تحكم فضائية لمركز التحكم الرئيسي بعد إنشائه. يجري حالياً إعادة النظر في

قد يكون بعض البيانات المقيسة بيانات مغلوط فيها بسبب عمليات التعديل Modulation وفك التعديل Demodulation لإشارات الاتصالات، أو بسبب بعض الاضطرابات العشوائية. لذلك يتضمن EMS برنامج تقدير الحالة الذي يصحح البيانات "الخام" ويحولها إلى بيانات موثوق بها Credible تُخزن في قاعدة البيانات Data base التي تولف بيانات الدخل لبرامج EMS. سوف ندرس مسألة تقدير الحالة في فصل مستقل. بُني نظام EMS التقليدي بهيكلية مركزية، ولكن منذ ثمانينيات القرن العشرين و مع التقدم المنجز في مجال أتمتة التوزيع، بدأ التوجه نحو توسيع التحكم بواسطة الحاسوب إلى مستوى المستهلك Costumer Level وتقديم خدمات أخرى مثل تسعير الطاقة وإدارة الحمل للمستهلكين. لتحقيق هذه المهمات الحاسوبية تعين بناء نظام اتصالات معقد ومكلف ووجب تجهيز CCC بألات حاسبة عالية الأداء لتستطيع معالجة البيانات المنقولة إلى CCC بالزمن الحقيقي. ومع ذلك تواجه بعض برامج EMS، كبرنامج تقدير الحالة، صعوبات في تلبية المتطلبات الزمنية الصارمة لأجل حسابات وتحكم نظم القدرة الكهربائية.

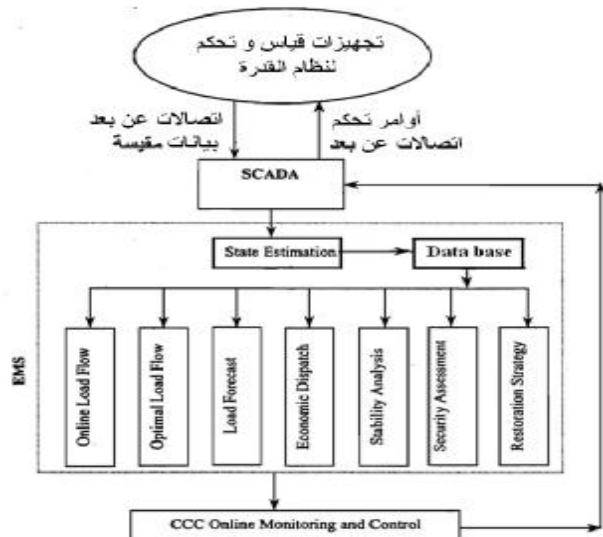
4- استخدام شبكة الإنترنت Web في نظم SCADA

تتصف بيانات تشغيل نظام القدرة التي يقوم نظام SCADA بجمعها لحظياً بأنها موزعة جغرافياً. ويضطلع نظام SCADA أيضاً بنقل معظم أوامر التحكم إلى مركبات نظام القدرة المتباعدة. فضلاً عن تنظيمه التراتبي، يميّز نظام SCADA بانتشاره الجغرافي الواسع. قد يحتاج المشغل إلى تبادل المعلومات مع مؤسسات أخرى فيما بعض هذه التبادلات تتطلب أمان البيانات ولكنها ليست حرجة زمنياً. نظراً إلى أن متصفحات WWW تكامل خدمات اتصالات متعددة في واجهة مستخدم واحدة، تتيح WWW مجالاً مناسباً وقليل الكلفة وفعالاً لتبادل المعلومات بما فيها الولوج إلى معلومات SCADA. يمكن تنفيذ هذه الطريقة في بيئة مخدم/زبون.

الأساسية التالية، المكونة لنظام إدارة الطاقة EMS، قابلة للتنفيذ في الزمن الحقيقي:

- تقويم الحالة SE (تقدير حالة المنظومة) State Estimation
 - جريان الحمولة في الحالة الثابتة LF (Load Flow)
 - إجراء الجريان الأمثل للحمولة OLF (Optimal Load Flow)
 - التنبؤ بالأحمال LF (Load Forecast)
 - التنسيق الاقتصادي ED (Economic Dispatch) والتحكم الآلي بالتوليد AGC (Automatic Generation Control).
 - تقدير ديناميكي للأمان DSA (Dynamic Security Assessment)
 - استراتيجيات إعادة المنظومة للحالة النظامية RS (Restoration Strategies)
- يبيّن الشكل (B-1) الوظائف النوعية لنظام SCADA/EMS إذ يقوم SCADA بجمع بيانات نظام القدرة المقيسة بواسطة وحدات طرفية بعيدة موزعة RTUs (Remote Terminal Units). يوجد نوعان من البيانات المقيسة:

- البيانات الرقمية Digital Data التي تصف حالة القواطع والمفاتيح
- البيانات التمثيلية Analog data التي تمثل الاستطاعات المحقونة والتوترات لأجل كل باسبار.



الشكل (B-1) البنية الوظيفية لنظام SCADA/EMS

المراجع:

مسرّد المصطلحات

DIGSILENT: Digital Simulation of Electrical Networks
SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition
 λ : Average Failure Rate
SAIFI: System Average Interruption Frequency Index
SAIDI :System Average Interruption Duration Index
CAIFI: Customer Average Interruption Frequency Index
CAIDI Customer Average Interruption Duration Index
ASAI :Average Service Availability Index
ASUI :Average Service Unavailability Index
ENS: Energy Not Supplied
TTF: Time to failure
RT: Repair time

1. R. Billinton and R.N. Allan, "Reliability Evaluation of Power Systems. 2nded", New York: USAL Plenum Press, 1996
2. Lawton L. et al, "a framework and review of customer outage cost", Lawrence Berkley National Laboratory, LBNL-54365, Nov 2003
3. R.Y. Rubinstein, "Simulation and the Monte Carlo Method, J Wiley and Sons", New York, NY, 1981
4. A.M. Leite da Selva, L.A.F. Manso, J.C.O Mello, and R. Billinton, "Pseudo-chronological simulation for composite reliability analysis with time varying load", IEEE Trans. On Power Syst. Vol.15, 1, pp. 73-80, Feb. 2000
5. P. Wang and R. Billinton, "Reliability cost/worth assessment of distribution systems incorporating time-varying weather conditions and restoration resources", IEEE Trans. On Power Delivery, vol. 17, No. 1, pp. 260-265, Jan 2002.
6. R. Billinton and Wenyuan Li, "Reliability Assessment of Electric Power Systems Using Monte Carlo Methods", Plenum Press, NY, 1994.
7. R. N. Allan and M. G. da Silva, "Evaluation of reliability indices and outage costs in distribution systems", Trans. On Power Systems, Vol. 10, No. 1, pp. 413-419, Feb, 1995.
8. A.M. Leite da Silva, W.F. Schmitt, A.M. Cassula, C.E. Sacramento, "Analytical and Monte Carlo approaches to evaluate probability distributions of interruption duration", IEEE Trans. On Power Systems. Vol, 20, No.3, pp. 1341-1348, August 2005.
9. R.N. Allan, E.N. Dialynas, and I.R. Homer. "Modelling and evaluating the reliability of distribution systems". IEEE transactions on Power Apparatus and Systems, 98:2181–2189.