تطوير خوارزمية وبرنامج لنظام حماية متكيف ASPR لملاحقة أثر التغيرات الطارئة في الشبكة في قيم معايرة حاكمة الحماية المسافية

الدكتور المهندس خالد زيدان[1] **الدكتور المهندس سميح الجابي[2]**

الملخص

مع دخول التقانات الرقمية شهدت أجهزة الحماية تطوراً كبيراً من حيث مبادئ العمل وتحسين الأداء وبات من الممكن التغلب على كثير من الصعوبات التي واجهت الأجيال السابقة من الحواكم، ومن بينها مشاكل تغير معايرة حاكمة الحماية المسافية مع تغير بنية وهيكلية الشبكة التي تقوم بحمايتها، وبشكل خاص ممانعة المنبع والتيارات المساهمة في العطل والقادمة من منبع بعيد.

قمنا من خلال هذا البحث ببناء نظام حماية متكيف وإنجاز خوارزمية وتطوير نظام برامجي أسميناه (ASPR) يقوم بملاحقة أثر التغيرات الطارئة في الشبكة في قيم معايرة حاكمة الحماية المسافية عن طريق حساب قيم المعايرة لها في الحالة الطبيعية وعند حدوث تغير على الشبكة، ويقوم بعدها بإعطاء رسائل تحذير للمشغل للانتقال من مجموعة معايرة إلى أخرى عند الحاجة.

الكلمات المفتاحية: الحماية المسافية، الانتقائية، الحمايات المتكيفة، الاتجاهية، مناطق الحماية، تيار القصر، باسبار، قاطع آلي، مجموعات المعايرة.

[1] مدرس– قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة دمشق.

[2] أستاذ– قسم هندسة الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة دمشق

1-مقدمة:

تقوم فكرة البحث الأساسية على إيجاد حل لمشكلة تغير قيم معايرة المنطقتين الأولى والثانية لحاكمة الحماية المسافية عند حدوث تغير ما على الشبكة، وتم التركيز خلال البحث على الحالات الأكثر أهمية ومعالجتها، وعلى المتحولات التي تدخل في معادلات معايرة الحاكمة التي تتأثر ببنية الشبكة وتغيراتها، وبشكل خاص ممانعة المنبع والتيارات المساهمة في العطل والقادمة من المنبع البعيد وتم حل هذه المشكلة باستخدام نمط من أنماط الذكاء الصنعي يدعى نظم الحماية المتكيفة **ولهذا الغرض أُنْجِزَتْ من خلال هذا البحث الخطوات الآتية:**

1- إعداد النموذج الرياضي لمعادلات معايرة حاكمة الحماية المسافية قبل حدوث التغير وبعده.

2- تصميم النظام المقترح لملاحقة أثر تغيرمحددات الشبكة في معايرة حاكمة الحماية المسافية.

3- تعريف بنظم الذكاء الصنعي والنظم المتكيفة.

4- كتابة خوارزمية وتصميم برنامج (Adaptive Setting of Protective Relays) واختصاراً ASPR لمعايرة حاكمة الحماية المسافية المتكيفة.

5- تصنيف النسب المئوية للتغير في قيم المعايرة إلى أربع مجموعات.

6- استخدام بر نامج Cape لإنجاز حسابات القصر على الشبكة.

7- تطبيق البرنامج المنجز ASPR على الحلقة الجنوبية من الشبكة السورية 230/400 واستنتاج مجموعة تعيير حاكمة الحماية المسافية المناسبة لحالة التغير، وتقديم رسالة التحذير الموافقة للمشغل، والنصح بالانتقال إلى المجموعة الأنسب.

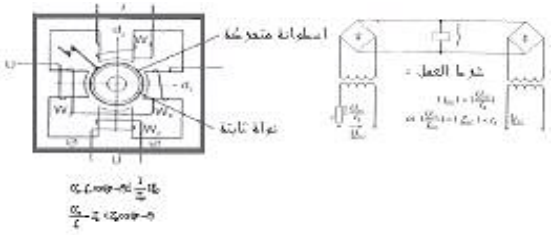
2- بنية حواكم الحماية المسافية وتطوراتها: [1]

مرّت الحواكم بشكل عام عبر تطورها بأجيال رئيسية ثلاثة فكانت أولاً الحواكم الكهروميكانيكية ثم الحواكم الستاتيكيةً والحواكم الرقمية كما في الشكل (1):

الشكل(1). تطور حواكم الحماية

2-1 الحواكم المسافية الكهرميكانيكية Electromechanical Relays

تعتمد هذه الحواكم في مبدأ عملها على المقارنة بين القيمتين(I_{SC}) و(Usc/Rz) من خلال جسور تقويم، فإذا كانت القيمة الأولى أكبر من الثانية ستعمل الحاكمة. تمثل مميزات هذه الحاكمة في المستوي (R-X) بدائرة يمكن التحكم بها عبر التحكم بدارة القياس، كما توجد حواكم كهرميكانيكية أخرى تسمى بالحواكم التحريضية تعتمد على موازنة تحريضية مكونة من ملفات تشغيل وإعاقة واستقطاب، ويبّين الشكل (2) هذه الحواكم.



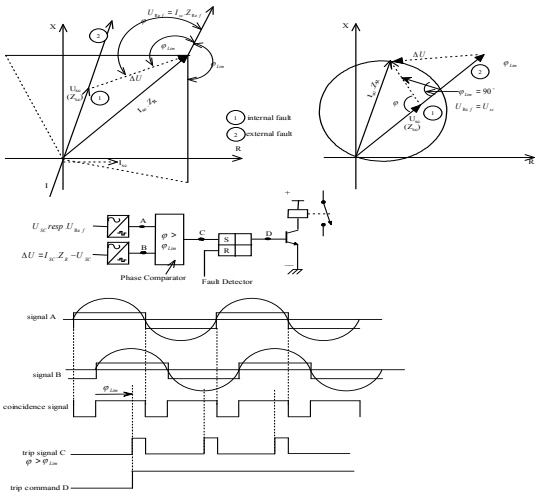
الشكل(2). حاكمة الحماية الكهروميكانيكية

وقد أُدْخِلَتْ كثير من التحسينات على هذه الحواكم من أجل الحصول على خواص متنوّعة منها MHO الاتجاهية.

2-2 الحواكم المسافية الستاتيكية Solid-State Analog Distance Relay:

يعتمد القياس أساساً على المقارنة الزاويّة إذْ يتم تحويل الإشارات (ΔU , ΔUref) إلى إشارات مربعة، ونحصل على مميزات mho الدائرية من قياس

الزاوية بين ΔU وUsc. يحتاج تشكيل المميزات المضلّعة إلى قياسين الأول زاوية المسافة ونحصل عليه من قياس الزاوية بين التوتر المرجعي ΔUref وفرق التوتر ΔU، والثاني هو اتجاه الزاوية أي قياس زاوية ΔU. يبيّن الشكل (3) مبدأ عمل هذه الحواكم.



الشكل(3). حاكمة الحماية المسافية الستاتيكية

3-2 الحواكم المسافية الرقمية Digital Distance Relays: [1]

تتألف الحاكمة الرقمية بشكل عام من أربعة أقسام رئيسية، كما هو مبين في الشكل (4) الذي يبيّن بنيتها الصندوقية:

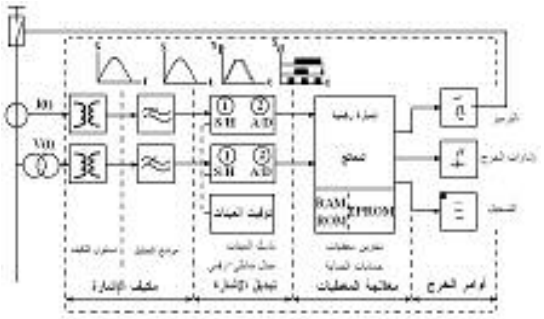
– **مكيفات الإشارة مع أقسامها الفرعية:** وظيفتها تكييف مستوى الإشارة مع وظائف تحويل التوترات والتيارات الثانوية إلى إشارات الكترونية، وعزلها عن دارة القدرة.

– **قسم تبديل الإشارة** وذلك بأخذ العينات التمثيلية ثم تبديلها بإشارة رقمية مكافئة.

– **قسم معالجة المعطيات** بهدف الحفظ والحساب مستخدمين المعالج الصغري.

– **وحدة الخرج** لتقديم إشارات فصل قاطع الدارة وإعطاء الإنذار والتسجيل العابر.

تتميز هذه الحواكم بالسرعة والدقة، فهي مرنة من حيث قابلية اختيار المميزات وتشكيلها وسهلة من حيث الاستخدام والمعايرة وإعادة المعايرة، وكذلك من السهل تحقيق الاتجاهية فيها سواء باستخدام المقارنة بتوترات الأطوار السليمة أو بتوتر ما قبل العطل المخزّن في الذاكرة.، كما يمكن ربطها مع تجهيزات أخرى(حمايات، مراكز مراقبة، حواسب..) فضلاً عن إمكانية دمج عدد كبير من وظائف القياس والمراقبة في تجهيزة واحدة.



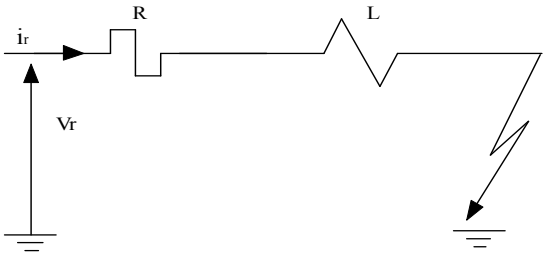
الشكل(4). بنية الحاكمة الرقمية

عند استخدام الحاكمة الرقمية كحاكمة مسافية تستخدم خوارزميات خاصة لحساب ممانعة العطل (R,X) انطلاقاً من قيم التوتر والتيارالمقيسة، ونظراً إلى تطور التقانات الرقمية فقد بات من الممكن الحصول على أي شكل من أشكال الخواص لها، وباستخدام التقانات الرقمية أدخلت مميزات جديدة لهذه الحاكمة؛ مما زاد من وثوقية عملها عند حدوث الأعطال القريبة، وتتميز حاكمة الحماية المسافية الرقمية أيضا بأنه يمكن تشكيل مناطق الحماية المختلفة بسهولة، إذْ حيث يتم حساب ممانعة إحدى مناطق الحماية وإضافة المناطق الأخرى من خلال إجراء تعديلات بسيطة.

1-3-2 خوارزمية قياس الممانعة Impedance measuring Algorithm:

إن الاتجاه الحالي في الحواكم المسافية الرقمية هو استخدام خوارزميات قياس الممانعة المعتمدة على

معادلة تفاضلية من الدرجة الأولى للخط كما في المعادلة(1)، وانطلاقاً من أنّ خط النقل المحمي ممثل بمقاومة ومفاعلة على التسلسل(L,R)، كما في الشكل (5). [7]



الشكل (5). تمثيل الخط بمقاومة ومفاعلة على التسلسل

نكتب المعادلة(1):

$$v_r = R.i_r + L\frac{di_r}{dt} \quad \text{.....(1)}$$

وبتبديل تفاضل التيار i'_r في المعادلة (1) نحصل على المعادلة (2):

$$v_r = R.i_r + L.i'_r \quad : i'_r = \frac{di_r}{dt} \quad \text{.....(2)}$$

ولحساب ممانعة الخط يجب حل المعادلة (2) من أجل R و L، وهي معادلة ذات مجهولين، وهذا الأمر يتطلب وجود معادلتين، ومن ثمَّ إيجاد حلين مستقلين، ونحصل على القيم الظاهرية للمقاومة والمفاعلة المنظورتين من الحاكمة:

$$R\times D = v_{r1}i'_{r2} - v_{r2}i'_{r1} \quad \text{.....(3)}$$

$$X \times D = \omega.L.D = \omega(v_{r1}i'_{r2} - v_{r2}.i'_{r1}) \quad \text{.....(4)}$$

إذْ :

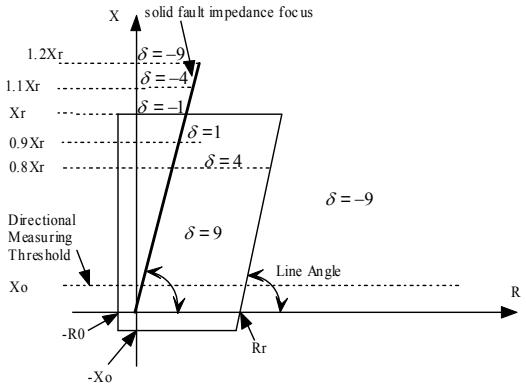
$$D = i_{r1}i'_{r2} - i_{r2}.i'_{r1}$$

$\omega=2\pi f$ ، f تردد نظام القدرة، و X هي مفاعلة خط النقل.

ثم تتم مقارنة قيمة الممانعة المقيسة بقيم الممانعة المعايرة مضروبة بالعامل D .

2-3-2 تقييم العطل Fault Evaluation: [12]

للتحقق من وجود عطل على الخط ، يجب مقارنة الممانعة المحسوبة بمنحنى خواص الممانعة، ويبيّن الشكل (6) المميزات المضلّعة لحاكمة الحماية المسافية المستخدمة لتحديد العطل. ولا يشكل انخفاض قيمة الممانعة المحسوبة خلال العطل مؤشراً كافياً على حدوث العطل لأن عملية الفلترة في الحاكمة غير مثالية، ولتأمين وثوقية عالية في تحديد العطل من قبل الحاكمة يتم تطبيق إستراتيجية يتم فيها تثقيل (weights) عينات الممانعة بحسب قربها من نقطة وصول منطقة الحماية، وتتم معايرتها تبعاً لموضع قيمة الممانعة ضمن الخواص، كما هو مبين في الشكل (6).



الشكل (6). المميزات المضلعة لحاكمة الحماية المسافية

3-3-2 النموذج الرياضي لمعادلات معايرة حاكمة الحماية المسافية:

بالاعتماد على المنهجيات والحسابات المتبعة لمعايرة الحاكمة المسافية سيتم استخلاص المعادلات الرياضية الضرورية لحسابات المعايرة وتكثيفها، وتحديد المتحولات الأساسية بما يتوافق ومتطلبات بناء برنامج حسابي قادر على إجراء حسابات المعايرة، ويجرى ذلك وفق الخطوات الآتية: [8]

1- إدخال المحددات الأساسية للخط:

الممانعة الصفرية للخط: Z0(r0,x0) .

الممانعة الموجبة: Z1(r1,x1`) .

طول الخط: L.

التوتر الاسمي للخط: Un .

التيار الاسمي للخط: I_N.

مصفوفة الخطوط: L[I,j].

باسبار الحاكمة: P .

الباسبار المقابل: n .

الممانعة المكافئة للمحولات الموصلة على التفرع: Z_tn.

2- إدخال المتحولات الخمسة الضرورية لحسابات المعايرة:

يتم إدخال قيم المتحولات التي تتغير بتغير بنية الشبكة، وذلك من أجل حالة العمل الطبيعي، وتحسب هذه القيم باستخدام برمجيات حساب تيارات القصر، وهذه المتحولات هي:

ممانعة المنبع الموجبة: Z_{S1} .

ممانعة المنبع الصفرية: Z_{S0}.

تيار قضيب التجميع البعيد: I_{3ph} .

تيار قضيب التجميع الحاكمة: I_{p-n}.

التيار المسهم من الباسبار على نهاية الخط الأقصر اللاحق: I_{sh-n}.

$$K_0 = \frac{z_0 - z_1}{3 z_1}$$

$$K_N = \frac{x_0 - x_1}{3 x_1} \quad \text{.....(5)}$$

3- حساب K_N , K_0 Z_{L0}, Z_{L1}, :

أو يمكن إدخالها مباشرة إلى البرنامج، ثم تحسب عوامل تعويض المركبة الصفرية

4- حساب زوايا الطور ϕ_N , ϕ_K :

$$\phi_K = \phi_{Ph} = \arctan \frac{x_1}{r_1}$$

$$\phi_N = \arctan \frac{x_0 - x_1}{r_0 - r_1} \quad \text{.....(6)}$$

حساب قيم معايرة المنطقة الأولى Z0NE1:

5- حساب ممانعة المنطقة الأولى ومفاعلتها Z_{Z1}, X_{Z1} :

$$Z_{Z1} = 0.85 \times Z_L$$
$$X_{Z1} = imag\,[Z_{z1}] \quad \text{.....(7)}$$
$$R_{Z1} = real\,[Z_{z1}]$$

إذْ إنَّ المنطقة الأولى تغطي 85% من طول الخط فإنَّ:

حساب قيم معايرة المنطقة الثانية Z0NE2 :

6- تحديد الخط الأقصر اللاحق $Z_{L(n-sh)}, L_{(n,sh)}$:

$$L_{(n,sh)} = \min(L[n, j])$$
$$Z_{L(n-sh)} = L_{(n,sh)} \times z_1 \quad \text{..... (8)}$$

حيث: $L_{(n,sh)}, Z_{L(n-sh)}$:هما ممانعة وطول الخط الأقصر اللاحق على التتالي.

7- فرضيات المعايرة للمنطقة الثانية:

الفرضية A: "المنطقة الثانية تغطي كامل الخط المحمي ونصف أقصر خط لاحق".

$$Z_{Z2A} = Z_L + 0.5 Z_{L(n-sh)} \text{..... ..... .(9)}$$

الفرضية B: "المنطقة الثانية تصل إلى ما دون نهاية المنطقة الأولى للحاكمة اللاحقة على الخط الأقصر اللاحق مع هامش أمان 15%".

$$Z_{Z2B} = 0.85(Z_L + 0.85 \times Z_{L(n-sh)}) \text{.....(10)}$$

كما يمكن استخدام **فرضية ثالثة** في حالة خط طويل متبوع بممانعة صغيرة (لخط قصير جداً أو لكابل قصير أو لمحولات كثيرة مربوطة على التفرع عند الباسبار البعيد) ويتم اعتماد العلاقة:

$$Z_{Z2C} = 1.2(Z_L) \quad \text{.....(11)}$$

مع ضرورة زيادة التأخير الزمني لهذه المنطقة يجب تحقق مجموعة من الشروط لكلتا الفرضيتين تتمثل بأن تكون ممانعة المنطقة الثانية أكبر من ممانعة المنطقة الأولى بهامش أمان 15% وأن لا تصل ممانعة المنطقة الثانية إلى نهاية المنطقة الأولى للخط الأقصر اللاحق مع هامش أمان 15%: وأن لاتصل ممانعة المنطقة الثانية إلى خلف المحولات الموصلة على التفرع على الباسبار البعيد مع هامش أمان 5%

وعند ذلك يتم اختيار الممانعة الكبرى من الفرضيتين A وB:

$$Z_{Z2P} = \max[Z_{Z2A}, Z_{Z2B}] \quad \text{.....(12)}$$

8 – حساب التيارات المساهمة في العطل على الباسبار البعيد I_r, I_c:

$$I_r = I_{3ph} - (I_{p-n} + I_{sh-n}) \quad \text{.....(13)}$$
$$I_c = I_{3ph} - I_{sh-n}$$

إذْ:

I_{3ph} : تيار العطل على الباسبار البعيد.

I_{p-n} : التيارالمسهم بالعطل من الخط المحمي.

I_{sh-n} : التيار المسهم بالعطل من الخط الأقصر اللاحق.

9- حساب ممانعة المنطقة الثانية ومفاعلتها Z, Z_{Z2}, X_{Z2}:

وتحسب من العلاقات الآتية وذلك بحسب الفرضية التي يتم اختيارها لمعايرة هذه المنطقة:

$$Z_{Z2} = Z_L + Z\frac{I_C}{I_{p-n}}$$
$$X_{Z2} = imag\ [Z_{Z2}] \quad \text{.....(14)}$$

إذْ Z هي الممانعة بين نهاية الخط والنهاية المطلوب حمايتها في المنطقة الثانية وتساوي إلى:

$$Z = Z_{Z2P} - Z_L \quad \text{.....(15)}$$

10-إظهار القيم الأساسية لمعايرة المنطقتين الأولى والثانية:

المنطقة الأولى: $R_{Z1(P-E)}$, $R_{Z1(P-P)}$, X_{Z1}

المنطقة الثانية: $R_{Z2(P-E)}$, $R_{Z2(P-P)}$, X_{Z2}

4-3-2 معادلات معايرة الحاكمة المسافية بعد حدوث التغير :

يتم الحصول على التغيرات في قيم المعايرة للمحددات الستة السابقة الناجمة عن فتح أحد القواطع، وفق الخطوات الآتية:

1- **تحديد الخط المحمي في المحطة** :p, n

إذْ تمثل p باسبار الخط القريب من الحاكمة و n الباسبار البعيد للخط .

2- تحديد قاعدة البيانات الموافقة لهذا الخط: DBp,n

3- اعتبار القيم الناتجة عن معادلات الحالة العامة قيماً مرجعيةً:

يتم أخذ القيم الست الناتجة عن المعادلات في المقطع السابق وعدّها قيماً مرجعية، ذلك أن المقارنة ستتم معها كونها تمثل قيم المعايرة في الحالة الطبيعية ومن ثَمَّ فإنَّ:

$$\begin{aligned} X_{Z1}^{ref} &= X_{Z1} \\ R_{Z1(P-P)}^{ref} &= R_{Z1(P-P)} \\ R_{Z1(P-E)}^{ref} &= R_{Z1(P-E)} \\ X_{Z2}^{ref} &= X_{Z2} \\ R_{Z2(P-P)}^{ref} &= R_{Z2(P-P)} \\ R_{Z2(P-E)}^{ref} &= R_{Z2(P-E)} \end{aligned} \quad (17)$$

إذْ تشير اللاحقة ref في العلاقات السابقة إلى القيم المرجعية، أي قيم المعايرة في الحالة الطبيعية.

4- إدخال حالة القاطع المفتوح:

إذْ يتم إدخال القاطع المفتوح من قبل المستخدم، وجعلنا هذا الأمر في البرنامج المنجز في هذا البحث، سهلاً من خلال واجهة المستخدم أو عبر واجهة إضافية. وفي حال هذا ربط البرنامج مع شبكة حقيقية مباشرة يمكن إدخال حالة القواطع عبر الربط مع مركز التنسيق.

5- إدخال قيم المتحولات الموافقة للحالة الجديدة:

والمقصود هنا قيم المتحولات الخمسة التي تتأثر بتغير بنية الشبكة وهي: المركبتان الموجبة والصفرية لممانعة المنبع، والتيارات الثلاثة المسهمة في العطل الثلاثي على الباسبار البعيد، وهذه القيم هي:

$$[Z_{S1} \quad ,Z_{S0} \quad ,I_{3ph} \quad ,I_{p-n} \quad ,I_{sh-n}]$$

وتُدْخَلُ من قاعدة المعرفة للحالة المتغيرة التي يتم الحصول عليها من نتائج برنامج حسابات القصر.

6- حساب قيم المعايرة الجديدة:

باستخدام المعادلات المذكورة في الفصل السابق نفسها تتم إعادة حساب قيم المعايرة الجديدة للمنطقتين الأولى والثانية والحصول على القيم الست الجديدة، وهي:

$$R_{Z1(P-E)} \quad و \quad R_{Z1(P-P)} \quad و \quad X_{Z1}$$

$$R_{Z2(P-E)} \quad و \quad R_{Z2(P-P)} \quad و \quad X_{Z2}$$

7- حساب التغير بين قيم المعايرة الجديدة والقيم المرجعية كنسب مئوية:

يتم الحصول على التغير في قيم المعايرة الناجمة عن حدوث تغير مقابل على الشبكة كأن يحدث فتح قاطع آلي، ومن ثَمَّ الحصول على تصور واضح عن أثر كل تغير طارئ في قيم المعايرة مثل:

$$[R_{Z2(P-E)}]\% = \frac{R_{Z2(P-E)}}{R^{ref}_{Z2(P-E)}} \times 100 \quad \text{.....} \quad \text{.....} (18)$$

3- نظم الحماية المتكيفة Adaptive Protection systems:

دخل مفهوم التكيّف إلى نظم الحماية الكهربائية بشكل واسع مع استخدام الحواكم الرقمية، واستخدام نظم الاتصال والتخاطب على مستوى الشبكة ككل وبصورة خاصة بعد استخدام الألياف الضوئية في نقل المعطيات، ويعني نظام الحماية المتكيف قدرة حواكم الحماية للنظام على تغيير سلوكها وفق التغيرات الحاصلة على نظام القدرة الكهربائية بإعادة المعايرة بما يتوافق ومعطيات الحالة الجديدة.

يتطلب استخدام نظم الحماية المتكيفة تحقيق ما يأتي:

1- توافر نظام اتصالات متطور لتأمين نقل سريع للمعلومات عن التغيرات المفاجئة في نظام القدرة (خروج أو دخول مجموعات توليد – محولات – خطوط نقل..الخ)

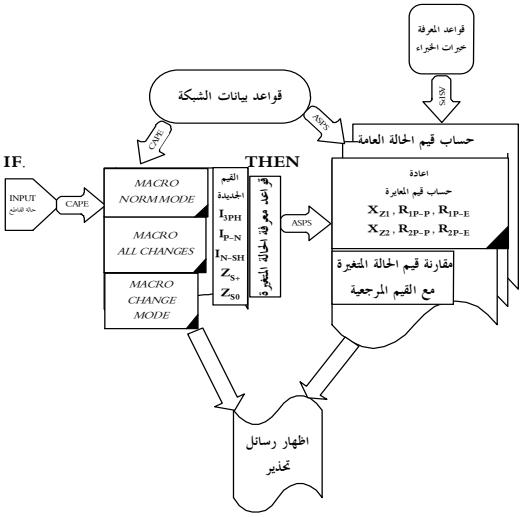
2- توافر برمجيات مناسبة قادرة على تحصيل المعطيات عن تغيرات حالة الشبكة ومحاكاة نظام القدرة قيد الدراسة.

3- توافر خوارزمية لحساب إعدادات الحاكمة انطلاقاً من متحولات الشبكة اللازمة لإنجاز المعايرة، وإعادة معايرة الحاكمة عند حدوث التغيرات الطارئة على هذه المحددات، وتغييرها بشكل مباشر عبر ربطها مع الحاكمة أو إصدار رسائل تنبيه للمشغلين لتعديل قيم المعايرة باستخدام مجموعة جديدة.

4- النظام المقترح لملاحقة أثر تغيرمحددات الشبكة في معايرة الحاكمة المسافية:

Proposed System for Tracking Effects of Electric Network Parameters changes on Distance Protection Settings

قمنا من خلال بحثنا بالتركيز على أثر التغيرات المختلفة في الشبكة في معايرة حاكمة الحماية المسافية، وبناء نظام قادر على ملاحقة أثر تغيرات الشبكة بشكل خاص في ممانعة المنبع والتيارات المسهمة في العطل على الباسبار البعيد، وهي أهم المتحولات التي تدخل في معادلات معايرة الحاكمة المسافية. وتظهر نتائج الحساب قيم المعايرة في الحالة الطبيعية والحالة المتغيرة والفرق بينهما كنسبة مئوية، وإظهار رسائل تحذيرية في حال كانت قيمة النسبة المئوية لإحدى القيم أكبر من قيمة افتراضية وقابلة للتعديل (مثلا 5% من قيم معايرة المنطقة الأولى)، وفي حال اقتراح ربط خرج البرنامج مباشرة بحاكمة فعلية فإن الخرج سيكون بمنزلة أمر بالانتقال إلى مجموعة (Group) مناسبة من قيم المعايرة المعدّة مسبقاً بمساعدة نتائج البرنامج السابقة نفسها التي تعطي تصوراً واضحاً عن أثر حالات التغير الممكنة كلّها على الشبكة، ومن ثَمَّ تصنيفها إلى مجموعات معايرة موافقة. يبيّن الشكل (7) البنية الصندوقية للنظام المقترح.



الشكل(7). مخطط صندوقي للنظام المقترح

5- قواعد المعرفة المتعلقة بمنهجية المعايرة للحاكمة المسافية: [13]

Knowledge Bases For Distance Protection Settings

تكتب قواعد المعرفة لأنظمة الذكاء الصنعي والنظم المتكيفة بصيغة IF- THEN ، وهي قواعد قابلة للتعديل وخاضعة للمراقبة وتعتمد على خبرة خبراء المجال المدروس، و فيما يلي عرض لبعض أهم هذه القواعد استناداً إلى حالة الشبكة : [6]

5-1 حالة الشبكة الشعاعية:

يمكن التعبير عن هذه الحالة رياضياً من خلال الشرط الآتي:

$$\textbf{IF } (I_{3PH} = I_{P\text{-}N} \pm 10\%) \textbf{ THEN } \quad Z_{Z2} = 1.2\, Z_L \quad \ldots\ldots\ldots (19)$$

عند حدوث العطل على نهاية الخط وكانت التغذية من جهة باسبار الحاكمة المدروسة، يمكن معايرة المنطقة الثانية للحاكمة وفقاً للفرضية التقليدية:

$$Z_{Z2} = 1.2\, Z_L \qquad (20)$$

5-2 حالة خط قصير يلي خطاً طويلاً:

يمكن التعبير عن هذه الحالة رياضياً من خلال الشرط الآتي:

$$\textbf{IF } (0.2 * Z_L) >= Z_L n\text{-}sh \quad \textbf{THEN } \quad Z_{Z2} = Z_L + 0.5 * Z_L n\text{-}sh\ T_{Z2} >> \quad \ldots\ldots (21)$$

في هذه الحالة إذا كان الخط اللاحق قصيراً جداً بالمقارنة مع الخط المحمي أي أقل من 20% منه نجعل معايرة المنطقة الثانية:

$$Z_{Z2} = Z_L + 0.5 * Z_L n\text{-}sh \qquad (22)$$

5-3 فرضيات معايرة المنطقة الثانية:

الفرضيات العامة المذكورة في معادلات المعايرة للحالة العامة جميعها تمثل قواعد معرفة خبيرة وهي:

$$Z_{Z2A} = Z_L + 0.5\, Z_{L(n-sh)} \quad \text{A}$$

$$Z_{Z2B} = 0.85\,(Z_L + 0.85 \times Z_{L(n-sh)}) \quad \text{B} \quad \ldots (23)$$

$$Z_{Z2P} = \max[\, Z_{Z2A}, Z_{Z2B}\,]$$

وكذلك جميع الشروط المتعلقة بهذه الفرضيات:

$$0.85(Z_{Z2(A,B)}) > Z_L$$
$$1.15(Z_{Z2(A,B)}) < Z_L + 0.85Z_{L(n-sh)} \quad (24)$$

فالفرضية A تقول بوصول المنطقة الثانية إلى منتصف الخط الأقصر اللاحق، والثانية بأنه لا يجوز تجاوز المنطقة الثانية للحاكمة المدروسة لنهاية المنطقة الأولى للحاكمة المتوضعة على الخط الأقصر اللاحق. وفي حالة تجاوز مستوى التوتر يمكن التعبير عن هذه الحالة رياضياً من خلال الشرط الآتي:

$$IF(Z_{z2p} < Z_L + 0.95Z_{Tn})THENZ_{z2p} = Z_L + 0.9Z_{Tn} \quad .....(25)$$

يعني هذا الشرط أن تعيير المنطقة الثانية يجب أن لا يغطي خلف المحولات المربوطة تفرعياً على الباسبار البعيد، أي يجب إلاَّ تستجيب الحاكمة لأعطال واقعة على شبكات ذات توتر مختلف، ولذلك لابد من إدخال الممانعة المكافئة للمحولات المربوطة تفرعياً (Z_{tn}) أو حسابها لكل مستوى توتر على حدة KV (-66 -400 -15).

4-5 حالة الخطوط المتوازية: وهي تعبر عن حالة خاصة تتعلق ببنية الشبكة كما في حالة الخطوط متعددة النهايات، أو حالة الخطوط المكونة من جزء هوائي وجزء كابل.

4-5 -1 الخط الموازي مفصول ومؤرض من طرفيه: وفي هذه الحالة يؤخذ عامل التعويض كما يأتي:

$$k_{N1} = \frac{X_0^2 - X_{m0}^2 - X_O.X_1}{3.X_1.X_0} \quad .....(26)$$

4-5 -2 الخط الموازي مفصول لكن غير مؤرض من طرفيه: في هذه الحالة يتم تخفيض وصول منطقة الحماية وفق العامل k1، كما هو مبيّن في العلاقة الآتية:

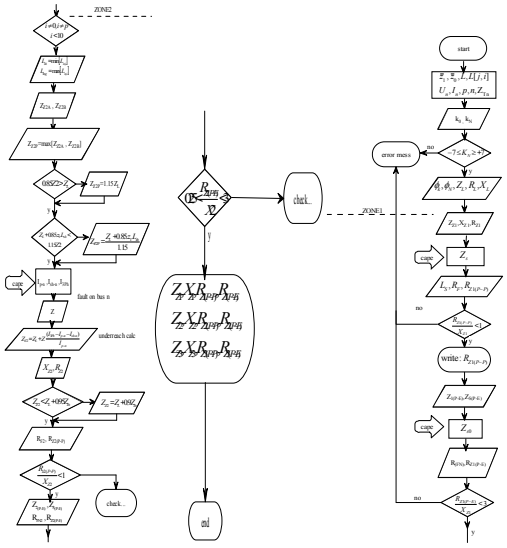
$$k_1 = \frac{(1+K_{N1set}) - 3.X_1}{2.X_1 + X_0} \quad ...(27)$$

4-5 -3 الخط الموازي موضوع في الخدمة: وسيظهر هنا انخفاض اضافي في وصول منطقة الحماية يصل إلى 15% ويمكن التعبير رياضياً عن ذلك كالآتي:

$$K_{N2} = \frac{X_0 + X_{m0} - X_1}{3.X_1} \quad .....(28)$$

6 - الخوارزمية المقترحة لمعايرة حاكمة الحماية المسافية المتكيفة:

يوضح الشكل (8) الخوارزمية المقترحة لمعايرة الحاكمة اعتماداً على المعادلات المذكورة السابقة



الشكل(8). الخوارزمية المقترحة لحساب قيم المعايرة للحاكمة المسافية

7- البرنامج المنجز Developed Program ASPR:

قمنا من خلال بحثنا بتصميم وتنفيذ برنامج أسميناه ASPR اختصاراً لعبارة Adaptive Setting of Protective Relays والهدف منه ملاحقة أثر تغيرات الشبكة في معايرة الحاكمة، ويتميز بإمكانية إدخال قواعد البيانات إلى أية شبكة مع إمكانية التعديل عليها، وإمكانية إدخال قواعد المعرفة المعبرة عن الحالة الطبيعية وعن الحالات الموافقة لفتح أي قاطع على الشبكة، ثم حساب قيم المعايرة للحاكمة المرغوب فيها

حالة العمل الطبيعي، وفي الحالات الموافقة لفتح القواطع وإجراء المقارنة بينها، و إظهار رسائل تحذير هي بحد ذاتها جزء من قواعد المعرفة القابلة للتعديل، ولذلك قمنا بتنفيذ الواجهات بما يخدم هذا الهدف. ويتضمن البرنامج قاعدة بيانات لعناصر الشبكة الضرورية جميعها، إذْ تُدْخَلُ هذه البيانات بسهولة من خلال واجهات البرنامج مع إمكانية التعديل والإضافة والإزالة، وتقسم هذه الواجهات إلى واجهة للمحطات، وواجهة لقضبان التجميع، وواجهة للخطوط، وواجهة للقواطع.

تتمثل طريقة تنفيذ البرنامج بالخطوات الآتية:

1- إدخال الحالة المتغيرة إلى البرنامج ASPR عبر الواجهة الرئيسية؛ وذلك بالنقر بالزر اليساري على القاطع المراد فتحه، فتتغير الأيقونة الخاصة به للدلالة على أنه مفتوح، كذلك فإن قيم المتغيرات الخمس في النافذة (CAPE values) ستتغير في الحقول الخاصة بها، ومن هذه الحقول نفسها يمكن إدخال هذه القيم وتعديلها.

2- يرسل البرنامج رسائل تنبيه في حالات تجاوز التغير قيماً معينة.

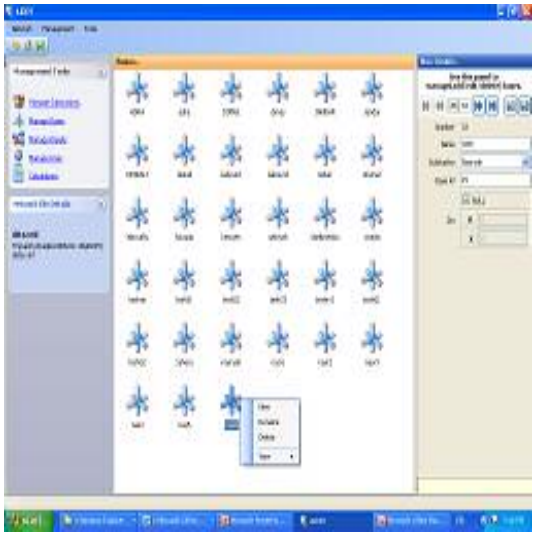
3- للبرنامج حلقة خاصة لتحديد الخط الأقصر اللاحق:

4- يتم إظهار النتائج ورسائل التحذير على الشاشة، أو على ملف.

1-7 واجهات البرنامج:

يبيّن الشكل (9) واجهة بيانات المحطات وتظهر فيها المحطات، المدخلة مع إمكانية إضافة أو إلغاء أو تعديل أي منها، كما يبيّن الشكل (10) واجهة بيانات قضبان التجميع، وتظهر هذه الواجهة قضبان التجميع المدخلة، ويمكن أيضاً إضافة أو إلغاء أو تعديل أي منها بالنقر بالزر اليميني أو بواسطة الواجهة الفرعية التي تظهر على يمين الشكل، والتي يتم من خلالها أصلاً إدخال قواعد بيانات قضبان التجميع، وكذلك الممانعة المكافئة للمحولات المربوطة على التفرع مع هذا الباسبار.

الشكل(9). واجهة بيانات المحطات



الشكل(10). واجهة بيانات الباسبارات

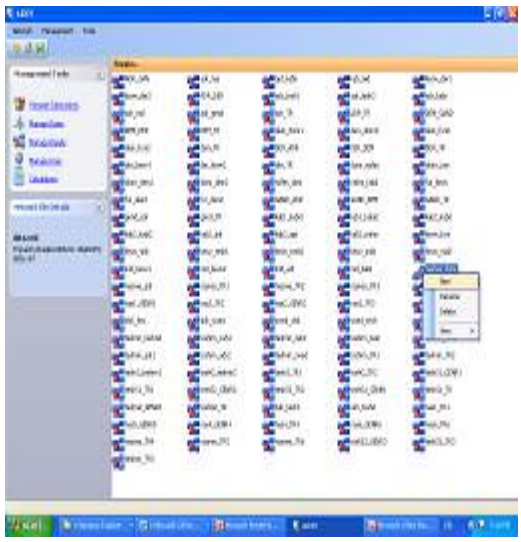
يبيّن الشكل (11) واجهة بيانات القواطع، وتظهر فيها القواطع المدخلة مع إمكانية إضافة أو إلغاء أو تعديل أي منها عبر النقر بالزر اليميني، كما يبيّن الشكل(12) واجهة بيانات الخطوط، وتظهر هذه الواجهة الخطوط المدخلة، ويمكن إضافة وإلغاء وتعديل أي منها بالنقر بالزر اليميني أو بواسطة الواجهة الفرعية التي تظهر على يمين الشكل، والتي يتم من خلالها أصلاً إدخال

قواعد بيانات الخطوط والمبينة في الجدول(1) الذي يحتوي معلومات أيضاً قضيب التجميع القريب والبعيد ورقم الدارة (أكبر من الواحد في الخطوط المتوازية) وطول الخط والممانعة الصفرية والموجبة للخط بالشكل الديكارتي.

2-7 قواعد المعرفة لبرنامجنا المنجز ASPR وبرنامج نتائج الحسابات:

للبرنامج قاعدة معرفة تحوي خبرة العاملين في مجال الحماية المسافية تتضمن قواعد قابلة للتعديل والإضافة، وكلما ازدادت هذه القواعد وتوسعت ازدادت فعالية البرنامج حيث تعبر قواعد المعرفة هذه عن التغييرات الممكنة على الشبكة، كما أن له آلية استدلال مدمجة في البرنامج تقوم بمطابقة كل حالة مستجدة مع قواعد المعرفة لتعيد الحساب إلى هذه الحالة وتستنتج الحل. [12]

كما يتضمن برنامجنا المنجز ASPR برنامجاً جزئياً يسمى نتائج الحسابات (Calculation Results)، ويعبر عن خوارزمية البرنامج، ويقوم بحساب قيم المعايرة في الحالة العامة وإعادة حسابها من أجل كل حالة طارئة.



الشكل(11). واجهة بيانات القاطع

الشكل(12). واجهة بيانات الخطوط

يبيّن الشكل (13) واجهة قواعد المعرفة، ويظهر فيها عامودين الأول يظهر القيم الخمس للمتحولات في حالة العمل الطبيعي، والثاني يظهر تلك القيم من أجل حالة التغير للقاطع الآلي أو الخط الذي يمكن اختياره من الجزء اليميني للواجهة نفسها عبر النقر على القاطع الذي يراد فتحه.

يبيّن الشكل(14) واجهة نتائج الحسابات وفيها ثلاثة أعمدة يعطي الأول منها قيم المعايرة للمنطقتين الأولى والثانية من أجل الحالة الطبيعية أي الحالة المرجعية وهي: Xz1, Rz1p-p Rz1p-E , Xz2, Rz2p-p , Rz2p-E، وتظهر في العامود الثاني هذه القيم الست نفسها، ولكن من أجل الحالة الموافقة لفتح قاطع من القواطع الموجودة على الجانب اليميني للواجهة، أما العامود الثالث فيظهر النسبة المئوية للتغير في قيم المعايرة الست ومدى خطورته.

الشكل(13) قواعد المعرفة للحالة المتغيرة

الشكل(14) واجهة نتائج الحسابات

8-برنامج حسابات القصر CAPE : Short Circuit Calculations Using CAPE [16]

يستخدم برنامج CAPE **(Computer-Aided Protection Engineering)** لإجراء حسابات القصر على شبكات التوتر العالي، ويمكن من خلاله نمذجة الشبكة الكهربائية المدروسة، ومحاكاة عمل الحواكم والقواطع في حالات الأعطال، وإنجاز حسابات متعددة على الشبكات الكهربائية وعند مستويات توتر مختلفة، وكذلك حساب المركبة الموجبة والصفرية لممانعة المنبع في أي نقطة من الشبكة وتستند النمذجة باستخدام CAPE إلى بعض الافتراضات؛ منها أن قواطع الكوبلاج ومجزئات البارات جميعها مغلقة، وأن المقاومات الأرضية للأبراج مهملة، وأن نسب التحويل للعديد من محولات التيار والتوتر توضع بشكل افتراضي، وأن مجموعات التوليد في الخدمة جميعها.

9 - تطبيق البرنامج المنجز ASPR على الحلقة الجنوبية من الشبكة السورية 230/400:

يظهر الشكل (15) الحلقة الجنوبية من الشبكة السورية عند مستويات التوتر (230-400kv)، التي تمت نمذجتها باستخدام برنامج (CAPE) وقد تم فصل هذه الحلقة عن الحلقة الوسطى في محطتي جندر وقطينة حيث ترتبط الحلقة الجنوبية بهما عبر خط (قابون– قطينة 230kv) وخط (عدرا– جندر230kv) وخط (عدرا– جندر 400kv)، وتمت الاستعاضة عن باقي الشبكة السورية بواسطة ثلاث شبكات مكافئة اثنتان في جندر الأولى (230kv)والثانية (400kv)، وواحدة في قطينة (230kv) . قمنا بإدخال قواعد المعرفة الضرورية إلى محطة واحدة من محطات الحلقة الجنوبية وهي محطة الميدان، وكذلك قواعد الحالة المتغيرة إلى البرنامج عبر الواجهات أو عبر ملف. وبالانتقال إلى واجهة الحسابات(calculations) المبينة في الشكل (14)، يمكن اختيار الحماية المطلوبة في هذه المحطة ولتكن الحماية المتوضعة على خط (ميدان – كسوة 2)، وبمجرد النقر عليها تظهر فوراً قيم المعايرة الست للحالة الطبيعية. يمكننا أن نستعرض بسهولة أثر فتح القواطع جميعها كل على حدة على قيم المعايرة لهذه الحاكمة، ومن ثَمَّ معرفة الحالات الحدية واختيار مجموعات المعايرة (groups) المتاحة ضمن

الحاكمة، وبحسب عدد المجموعات يمكن تنسيق إظهار الرسائل. عندما يفصل أي من هذه القواطع فإن رسالة التحذير الموافقة ستظهر وتقدم النصح بالانتقال إلى المجموعة الأنسب.

يتم تصنيف النسب المئوية للتغير في قيم المعايرة إلى أربع مجموعات:

نسبة التغير المئوية للمنطقة الثانية أقل من ... Group 1 [5%]

نسبة التغير المئوية للمنطقة الثانية ضمن المجال Group 2 [5%÷10%]

نسبة التغير المئوية للمنطقة الثانية ضمن المجال Group 3 10%÷20%]

نسبة التغير المئوية للمنطقة الثانية أكبر من Group 4 …… [20%]

جدول رقم (1) معطيات خطوط الشبكة السورية 230/400 Kv

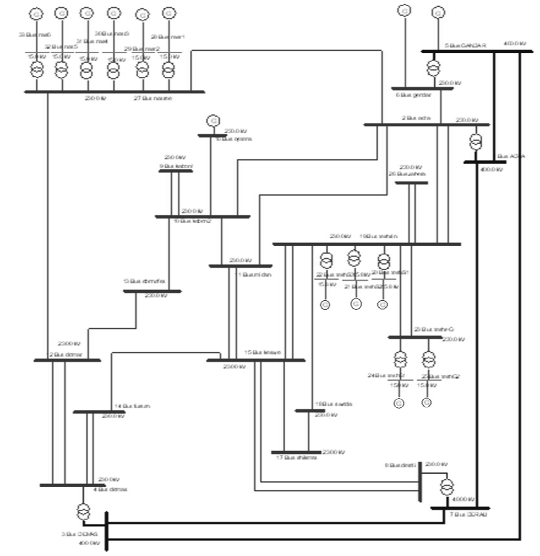
أُجْرِيَت الدراسة من أجل الحمايات جميعها في المحطة المدروسة أي محطة الميدان، وهي أربع حمايات، وتبين لنا النتائج الآتية:

– عند فصل أحد قاطعي خط (قابون2 ــ ميدان) ستكون هذه النسبة أكبر من 30%، ومن ثَمَّ لابد من الانتقال إلى المجموعة الرابعة.

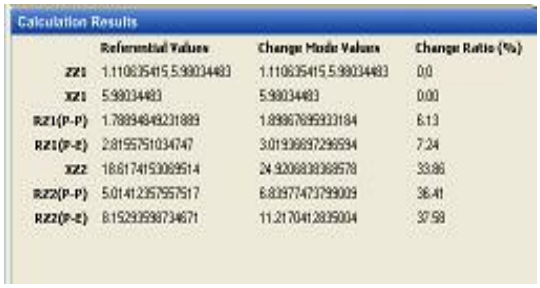
– عند فصل أحد قاطعي خط (قابون2 قطينة) ستكون النسبة 6.4%، ولابد من الانتقال إلى المجموعة الثانية.

– عند فصل أحد قاطعي خط (فرسان ــ كسوة) ستكون هذه النسبة 14.4%، ومن ثَمَّ يجب الانتقال إلى المجموعة الثالثة.

يبيّن الشكل(16) نتائج حسابات برنامجنا المنجز ASPR للحالة الطبيعية وللحالة المتغيرة، وكذلك النسبة المئوية للتغير، وذلك في إحدى الحالات الحدية، وهي إخراج الخط (قابون2 ــ ميدان) من حلقة المنطقة الجنوبية من الشبكة السورية.



الشكل (15). الشبكة السورية 230/400 Kv



Calculation Results			
	Referential Values	Change Mode Values	Change Ratio (%)
ZZ1	1.110635415,5.98034483	1.110635415,5.98034483	0.0
XZ1	5.98034483	5.98034483	0.00
RZ1(P-P)	1.788948493231889	1.898676959331184	6.13
RZ1(P-E)	2.815575103474 7	3.019396972965 94	7.24
XZ2	18.617415308951 4	24.920683836 8578	33.86
RZ2(P-P)	5.014123575575 17	6.839774737990 09	36.41
RZ2(P-E)	8.152939387346 71	11.21704128390 04	37.58

الشكل(16). نتائج ASPR من أجل حالة فصل قاطع على خط (قابون2ــ ميدان)

9- النتائج والتوصيات Conclusions and Recommendations

من خلال استخدام البرنامج ASPR تبين لنا النتائج التالية:

1- قمنا من خلال البحث بتنفيذ برنامج مبتكر قادر على حساب وإعادة حساب قيم المعايرة للحاكمة من أجل كل حالة طارئة على الشبكة. وبهذه الطريقة يمكن إبقاء قيم معايرة الحاكمة قريبة من القيم الفعلية الواجب إدخالها إلى الحالة المتغيرة وتحقيق معايرة متكيفة للحاكمة المسافية.

2- البرنامج المصمم قادر على حساب المتحولات الجديدة التي تتأثر بتغيرات الشبكة الموافقة لهذه الحالة، وعلى إعطاء المستخدم رسائل تحذير واضحة ليقوم بنقل الحاكمة من مجموعة معايرة إلى أخرى يقوم بتحديدها.

3- عند وصل دخل هذا البرنامج إلى نظام مراقبة وطني لحالة الشبكة، من السهل عليه معرفة حالة القواطع التي تتحدد بأحد الوضعين مفتوح أو مغلق، ويقوم البرنامج تلقائياً بحساب القيم الجديدة للمعايرة .

كما أن هناك توصيات يمكن اتباعها لتطوير البرنامج المنجز والاستفادة منه بأكبر قدر ممكن وهي:

1- يمكن أن يستفاد من البرنامج ASPR فضلاً عن الاستخدامات السابقة في تقديم الحسابات الضرورية لمعايرة الحاكمة في الحالة الطبيعية.

2- تطبيق المنهجية التي قمنا باتباعها من أجل الحاكمة المسافية على الحواكم جميعها ذات مناطق الحماية المفتوحة، مثل: حواكم زيادة التيار O.C (Over Current)، والحواكم الأرضية الاتجاهية DEF (Directional Earth Fault)، وتكون النتيجة في هذه الحالة انتقال الحاكمة من منحنى (تيار ــ زمن) إلى منحن آخر.

3- يمكن تطوير البرنامج وتعديله دون الحاجة إلى إعادة بنائه من جديد.

الخاتمة

يحقق استخدام حواكم نظم الحماية المتكيفة مثل ASPR على شبكات القدرة الكهربائية تأمين دعم كبير لمشغل النظام من حيث توفير الوقت اللازم لإجراء الحسابات للحالة الجديدة الناجمة، كما يوفر في الوقت اللازم لاتخاذ القرار في اختيار مجموعة التعيير الجديدة الموافقة لحالة التغير بعد حدوث العطل، كما يتيح استخدام برامج النظم المتكيفية في مجال حواكم الحماية إمكانية تخزين خبرة خبراء المجال، ومن ثَمَّ نقلها إلى المستجدين والباحثين في هذا المجال، وهو ما يمكن أن يدخل في إطار توريث الخبرة .

المراجع

1- Christophe Preve, Protection of Electrical Networks, first published 2006 by ISTE Ltd.

2- Jim Wilks, Development in Power System Protection, Annual Conference of Electric Energy Association of Australia, Canberra ACT 9&10th August 2002.

3- Ching-Shan Chen & Air Jiang ,A New Adaptive PMU Based Protection Scheme for Transposed/Untransposed Parallel Transmission Lines, IEEE Transactions on Power Delivery, VOL. 17, NO. 2, APRIL 2002.

4- D.V.Coury & J. S. Thorp & K. M. Hopkinson & K. P.Birman, Agent Technology Applied to Adaptive Relay Setting for Multi- Terminal Lines, 2005.

5- P. Kdash and D, P.Swain & H.P.Khincha and A.C.Liew, Digital Protective Relaying Using An Adaptive Neural Network, Catalogue No. 95 IEEE 1995.

6- EPAC 3100/EPAC 3500, Versions V5E-V6-V6E, Numerical Distance Relay

7- Siemens , Numerical Distance Protection Handbook 2000 .

8- GEC-ALSTHOM, Protective Relays, Application Guide 1995.

9- New Software Framework for Automated Analysis of Power System Transients 1998.

10- ABB Network Partner AB Distance protection 2005.

11- S. B. Wilkinson and C. A. Mathews , Dynamic Characteristics of MHO Distance Relays , GE Power Management 2005.
12- J. G. Andrichak, G.E. Alexander, Distance Relays
Fundamentals GE Power Management, 1994.
13- M. G. Adamiak ,G. E. Alexander , Advancements in Adaptive Algorithms for Secure High Speed Distance Protection ,GE, Power Management 2004.
14- ABB Relays , REL100 Series, Manual Setting instruction.
15- Power System Protection, Digital protection and signaling, The Institution of Electrical Engineers. 2005.
16- CAPE Program Catalogues 2003.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق: 2009/6/9.