

Assessing Distance Protection Systems' Impact on the Dynamic Security of the Power System

Dr. Tammam Hayder*
Dr. Soumaia Sharoof**
Samer Rasheed***

(Received 9 / 4 / 2023. Accepted 11 / 12 / 2023)

□ ABSTRACT □

Electrical power system security and reliability are considered to be the main tasks of transmission system operators (TSOs), but many research on power system security missed the assessment of the impacts of protection systems on system security. Therefore, in this paper, we present an assessment of the influences of the parameters and the functions of distance protection devices in transmission networks (especially the Direct Under-reaching Transfer Trip function (DUTT)) upon the dynamic security of the power system.

The effects of distance protection systems were analysed using a set of indices that are determined based on the number of pickups and unwanted operations with the corresponding time instants, as well as the amount of lost load and the time duration in which the impedance trajectory is inside the distance protection zones, throughout taking several contingencies into consideration.

As a result of the assessment, we get a ranking of distance protection devices that is useful to highlight weak points of the protection system which affect power system security. We also get a ranking of contingencies that is useful to determine cascade tripping cases and critical system conditions after the fault. This enables the selection of the optimal algorithms for distance protection relays and thus ensures a more secure operation of the electrical power system.

Keywords: Distance protection, dynamic security assessment, blackout prevention, security indices, direct under-reaching transfer trip.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Assistant Professor; Faculty of Electrical & Mechanical Engineering; Tishreen University; Lattakia; Syria.

**Assistant Professor; Faculty of Electrical & Mechanical Engineering; Tishreen University; Lattakia; Syria.

***Master Student; Faculty of Electrical & Mechanical Engineering; Tishreen University; Lattakia; Syria. samerrasheed@gmail.com

تقييم أثر نُظْم الحماية المسافية على الأمان الديناميكي لنظام القدرة الكهربائي

د. تمام حيدر*

د. سُمَيَّا شروف**

سامر رشيد***

(تاريخ الإيداع 9 / 4 / 2023. قُبِلَ للنشر في 11 / 12 / 2023)

□ ملخّص □

يُعتبر أمان وموثوقية نظام القدرة الكهربائي من المهام الرئيسية لمشغلي النظام، لكن يغيب عن العديد من الأبحاث المُتخصصة بدراسة أمان نظام القدرة تقييم أثر أنظمة الحماية على أمان النظام. لذا نقدم في هذه الورقة العلمية تقييماً لتأثير بارامترات ووظائف أجهزة الحماية المسافية في شبكات النقل (وعلى وجه الخصوص وظيفة الإرسال المباشر لإشارة الفصل DUTT) على الأمان الديناميكي لنظام القدرة. تم تحليل أثر أنظمة الحماية المسافية باستخدام مجموعة مؤشرات تُحدّد اعتماداً على عدد حالات التهيج والفصل غير المرغوب به مع اللحظات الزمنية الموافقة، بالإضافة إلى كمية الحمل المفقود ومُدّة بقاء مسار الممانعة ضمن مناطق الحماية وذلك من خلال دراسة مجموعة من الحوادث الإفرادية. نحصل بنتيجة التقييم على قائمة مُرتبة لتجهيزات الحماية المسافية تُفيد في تحديد نقاط الضعف في نظام الحماية والتي تؤثر على أمان نظام القدرة الكهربائي. كذلك نحصل على قائمة مُرتبة للحوادث الإفرادية تُفيد في تحديد حالات الفصل المتعاقب وحالات النظام الحرجة بعد العطل. مما يتيح اختيار الخوارزميات المُثلى لأجهزة الحماية المسافية وبالتالي يضمن عملاً أكثر أماناً لنظام القدرة الكهربائي.

الكلمات المفتاحية: الحماية المسافية، تقييم الأمان الديناميكي، الوقاية من التعتيم، مؤشرات الأمان، الإرسال المباشر لإشارة الفصل.



حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

* مدرس- اختصاص حماية نظم القدرة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

** مدرس- اختصاص نظم قدرة كهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

*** طالب ماجستير- اختصاص هندسة نظم القدرة الكهربائية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

samerrashed@gmail.com

مُقَدِّمَةٌ:

يشير مفهوم أمان نظام القدرة الكهربائي إلى مقدرة النظام على البقاء في حالة العمل المتواقت وإيصال الاستطاعة إلى الأحمال في ظل تعرضه للاضطرابات، ويؤخذ أمان النظام في الحسبان إما في مرحلة التخطيط (من خلال زيادة عدد خطوط النقل ومنابع الاستطاعة) أو في مرحلة الاستثمار (من خلال استخدام خوارزميات مختلفة لتحقيق أمان الشبكة القائمة) لكن تقترب حدود التشغيل في هذه الحالة من حدود الاستقرار الديناميكي.

يُعتبر تقييم أمان نظام القدرة الكهربائي للوقاية من حالات التعطيم الجزئي أو الكامل مهمة رئيسية لمُشغلي النظام، حيث قامت العديد من الأبحاث بدراسة تقييم الأمان الديناميكي للنظام في الزمن الحقيقي من خلال أخذ القياسات لحالة النظام الفعلية ومن ثم إجراء تحليل الأمان وإرسال المعلومات إلى المُشغليين أو إلى نظام التحكم بشكل مباشر [1,2]. نظراً لصعوبة الحصول على الموارد والتجهيزات اللازمة لتحقيق تقييم الأمان في الزمن الحقيقي بتكلفة مقبولة بالنسبة للأنظمة الكبيرة، اقترح الباحثون في [3] بعض المؤشرات والتقنيات لاختبار جميع الحالات الطارئة المحتملة وتحديد تلك التي يمكن أن تقود إلى عدم الاستقرار في نظام القدرة. لم تأخذ تلك الأبحاث أثر ردود فعل نظام الحماية على الأمان الديناميكي للنظام بالحسبان، لذا اتجه الباحثون في [4] لتقييم أمان نظام الحماية من خلال دراسة سلوك أجهزة الحماية خلال حالات الطوارئ المختلفة حيث تكون هذه التجهيزات عرضة لعمليات الفصل الخاطئ والتي تقود لفصل مُتعاقب في نظام القدرة الكهربائي. قامت الدراسات المُنجزَة في كل من [5,6,7] بتوسيع دراسة تقييم أمان نظام القدرة الكهربائي لتشمل نظام الحماية من خلال استخدام مجموعة مؤشرات لتقييم سلوك نظام الحماية ككل، حيث قدمت هذه الدراسات نظرة أكثر تفصيلاً لحالات التعطيم الجزئي أو الكامل الممكنة الحدوث والنتيجة عن عمليات الفصل الخاطئة في تجهيزات الحماية. استخدمت هذه المراجع برنامج المحاكاة العالمي PSS®NETOMAC لنمذجة كل من نظام القدرة الكهربائي ونظام الحماية.

تُقدم هذه الورقة تقييماً لتأثير بارامترات ووظائف أجهزة الحماية المسافية في شبكات النقل (وعلى وجه الخصوص وظيفة الإرسال المباشر لإشارة الفصل DUTT) على الأمان الديناميكي لنظام القدرة الكهربائي، بحيث تتم دراسة أثر ردود فعل نظام الحماية المسافية خلال الحالات العابرة على أمان نظام القدرة مع المحافظة على تحقيق المتطلبات الرئيسية لنظام الحماية فيما يتعلق بالانتقائية، الحساسية، سرعة الاستجابة والموثوقية.

تمت نمذجة الشبكة المدروسة وجهاز الحماية المسافية باستخدام برنامج ATP-EMTP المتخصص بدراسة الحالات العابرة، حيث تم إعداد البنية البرمجية لجهاز الحماية المسافية باستخدام لغة الفورتران ضمن وحدة المحاكاة MODELS. أما عملية معالجة النتائج وتقييم الأمان الديناميكي لنظام القدرة فقد تمت في برنامج الماتلاب باستخدام مجموعة مؤشرات تأخذ بالحسبان عدد حالات التهيج والفصل غير المرغوب بها من قبل أجهزة الحماية ومدة بقاء مسار الممانعة داخل مناطق الحماية وكمية الحمل المفقود نتيجة الحوادث الإفرادية.

أهمية البحث وأهدافه:

تلعب أنظمة الحماية دوراً رئيسياً في العديد من حالات التعطيم حيث يُمكن أن تقود عملية الفصل الخاطئ لجهاز حماية واحد إلى عملية فصل متعاقب للعديد من الأجهزة الأخرى وبالنتيجة انقطاع التغذية الكهربائية في أجزاء كبيرة من نظام القدرة وما يترتب على ذلك من أضرار فنية للتجهيزات الكهربائية وخسائر اقتصادية. من هنا تكمن أهمية البحث في

الحد من حالات الفصل الخاطئ لتجهيزات الحماية المسافية والتي يُمكن أن تؤدي إلى فصل جزئي أو كامل في نظام القدرة. وبالتالي تهدف هذه الدراسة إلى تقديم مساهمة في تحديد الخوارزميات المثلى لزواجل الحماية المسافية بما يضمن عملاً أكثر أمناً لنظام القدرة الكهربائي.

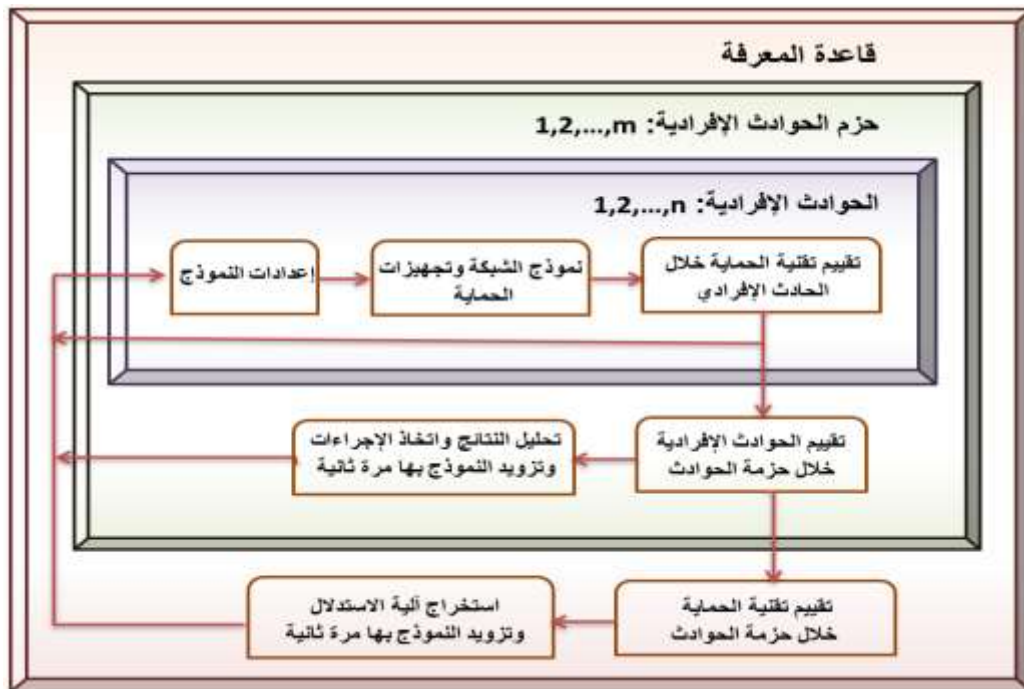
طرائق البحث ومواده:

يُقدّم المخطط الصندوقي الموضح في الشكل (1) نظرة عامة للخوارزمية المتبعة في عملية تقييم الأمان الديناميكي لنظام الحماية المسافية [6]. تُقسّم هذه الخوارزمية إلى ثلاثة مستويات:

(1) مُسْتَوَى الحادِثِ الإِفْرَادِي (Single Contingency): ويتم فيه تقييم تقنية الحماية خلال الحادِثِ الإِفْرَادِي، حيث يتضمن هذا المستوى من التقييم مجموعة مؤشرات لتحديد تجهيزات الحماية المتأثرة بالحادِثِ الإِفْرَادِي ومدى مشاركة كل منها في عمليات الفصل المتعاقب.

(2) مُسْتَوَى حزمة الحادِثِ (Contingency Package): ويتم فيه تقييم الحادِثِ الإِفْرَادِي بالنسبة لحزمة الحادِثِ المدروسة، وتكون نتيجة التقييم هي قائمة مُرتبة للحادِثِ الإِفْرَادِي تُفيد في معرفة حالات النظام الحرجة بعد العطل والحالات التي تقود إلى فصل جزئي أو كامل في الشبكة.

(3) مُسْتَوَى قاعدة المعرفة (Knowledge Base): ويتم فيه تقييم تقنية الحماية بالنسبة لحزمة الحادِثِ المدروسة، وتكون نتيجة التقييم هي قائمة مُرتبة لتجهيزات الحماية تُساهم بتحديد نقاط الضعف في نظام الحماية.



الشكل (1): خوارزمية تقييم الأمان الديناميكي لنظام الحماية "مخطط صندوقي"

نُعرض فيما يلي شرحاً لآليات التقييم على المستويات الثلاثة:

(1) تقييم تقنية الحماية خلال الحادث الإفرادي:

هدف تقييم أجهزة الحماية عند حادث إفرادي هو تقدير استعداد الجهاز للفصل عندما يكون ذلك مطلوباً. تجري عملية التقييم لأجل كل حادث إفرادي (C) ولكل جهاز حماية (L) من خلال ثلاثة مؤشرات وهي:

1. مؤشر نمط السلوك (Behavior Pattern Index) $BPI_{C,L}$.

2. مؤشر عامل الأمان (Security Factor Index) $SFI_{C,L}$.

3. مؤشر عدم حدوث تهيج (No Pickup Index) $NPI_{C,L}$ والذي يتم أخذه بالحسبان بشكل اختياري.

ونتيجة التقييم هي مؤشر أمان جهاز الحماية (Relay Security Index) $RSI_{C,L}$ الذي يمثل القيمة المتوسطة المُوزَّنة للمؤشرات الثلاثة السابقة حيث تُؤخذ بالحسبان معاملات التوزين a, b, c (وهي تنتمي لمجموعة الأعداد الصحيحة الموجبة) كما هو موضح في الشكل (2). نقدم فيما يلي شرحاً لهذه المؤشرات:

• مؤشر نمط السلوك $BPI_{C,L}$:

يعكس هذا المؤشر سلوك جهاز الحماية من خلال متابعة عدد مرات تهيج الجهاز والتي لا تتطور إلى فصل. ويأخذ بالحسبان كل دخول لمسار الممانعة إلى داخل مناطق الحماية، حيث أن تأرجح الاستطاعة يسبب مسار في مستوي الممانعة يمكن أن يعبر حدود مناطق الحماية المسافية. ويعبر عن هذا المؤشر رياضياً بالعلاقة [5]:

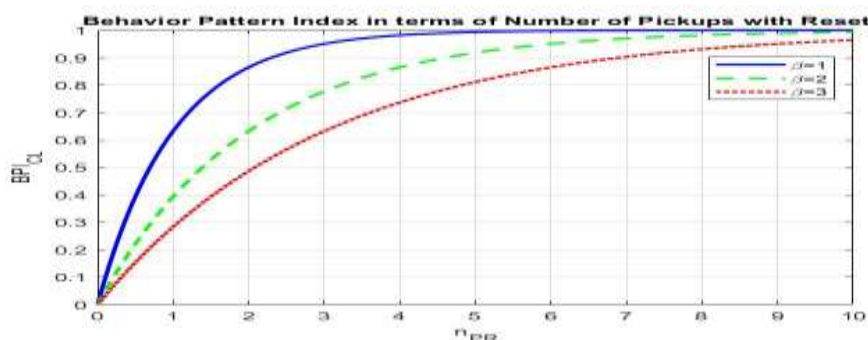
$$BPI_{C,L} = \begin{cases} 1 & ; n_{TR} = 1 \\ 1 - e^{-\frac{n_{PR}}{\beta}} & ; n_{TR} = 0 \end{cases}$$

حيث: n_{TR} : عدد حالات الفصل

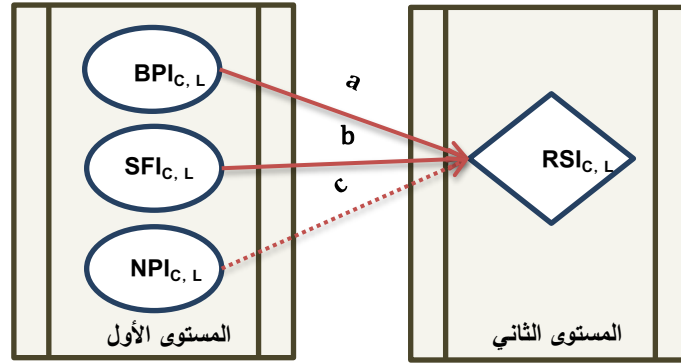
n_{PR} : عدد حالات التهيج

β : ثابت ينتمي لمجموعة الأعداد الحقيقية الموجبة R^{*+} يتم بمساعدته ملائمة صعود التابع الأسّي

تتراوح قيمة هذا المؤشر ضمن المجال $[0,1]$ ويأخذ القيمة 1 عند حدوث فصل غير مرغوب. يبين الشكل (3) تأثير المعامل β على عملية التقييم ونلاحظ أنه كلما كانت قيمة β أصغر يكون صعود التابع أكثر حدة وبذلك يجري ضمان أن عدد صغير من حالات التهيج يقود إلى قيمة مؤشر عالية نسبياً. (تم استخدام القيمة $\beta = 1$ وعندئذٍ يدخل المنحني حالة الإشباع من أجل $n_{PR} = 3$).



الشكل (3): أثر قيمة المعامل β على عملية التقييم من خلال المؤشر BPI_C



الشكل (2): بنية مؤشر تقييم أمان جهاز الحماية خلال الحادث الإفرادي

• **مؤشر عامل الأمان $SFI_{C,L}$:**

يتم بمساعدة هذا المؤشر تقييم مدة بقاء مسار الممانعة داخل مناطق الحماية حيث كلما كانت مدة بقاء المنحني داخل مناطق الحماية أكبر كلما كانت قيمة المؤشر أكبر (تقييم أكثر حدة)، وتتعلق قيمته بنوع المؤقتات الزمنية المستخدمة في جهاز الحماية حيث نميز نوعين من المؤقتات هما:

- (1) مؤقت واحد عام لجهاز الحماية المسافية يقيس الزمن بدءاً من لحظة تهيج المنطقة الخارجية.
- (2) مؤقت خاص لكل منطقة يقيس الزمن بدءاً من لحظة تهيج المنطقة المعنية.

ويعبر عن هذا المؤشر رياضياً بالعلاقة [5]:

$$SFI_{C,L} = \begin{cases} 1 & ; n_{TR} = 1 \\ \max_{m = 1, \dots, n_{PR}} \left\{ \max_{n = 1, \dots, n_{zones}} \left\{ \frac{\Delta t_{m,n}}{t_{zone,n}} \right\} \right\} & ; n_{TR} = 0 \end{cases}$$

حيث: n_{TR} : عدد حالات الفصل

n_{PR} : عدد حالات التهيج

n_{zones} : عدد مناطق الحماية لجهاز الحماية المسافية

$t_{zone,n}$: زمن تعبير المنطقة n من مناطق الحماية

$\Delta t_{m,n}$: في حال استخدام مؤقت واحد عام فإن $\Delta t_{m,n}$ تمثل الفاصل الزمني بين لحظة دخول مسار

الممانعة إلى منطقة الحماية الخارجية ولحظة خروجه من المنطقة n ، أما في حال استخدام

مؤقت خاص لكل منطقة حماية فإن $\Delta t_{m,n}$ تمثل الفاصل الزمني بين لحظة دخول المسار

إلى المنطقة n ولحظة خروجه منها، وذلك لأجل حالة التهيج m (2)

• **مؤشر عدم حدوث تهيج $NPI_{C,L}$:**

يخدم هذا المؤشر تقييم تجهيزات الحماية التي لم تُبدي أي ردة فعل خلال الحوادث المدروسة، حيث يأخذ بالحسبان بُعد مسار الممانعة عن الإطار الخارجي لمناطق الحماية وكذلك اتجاه حركة المسار على حدود المناطق وأيضاً زمن مكوث مسار الممانعة العابر بالقرب من مناطق الحماية.

إن حساب المؤشر $NPI_{C,L}$ صعب ومُكلف جداً وهو ضروري فقط في الحالات والحوادث التي لا تُظهر فيها تجهيزات الحماية أية ردة فعل لذلك نادراً ما يُستخدم هذا المؤشر.

• **مؤشر أمان جهاز الحماية $RSI_{C,L}$:**

يخدم هذا المؤشر عملية تشكيل قائمة مرتبة لتجهيزات الحماية خلال الحادث الإفرادي ويمثل القيمة المتوسطة الموزونة للمؤشرات الثلاثة $BPI_{C,L}$, $SFI_{C,L}$, $NPI_{C,L}$ ويعبر عن هذا المؤشر رياضياً بالعلاقة [5]:

$$RSI_{C,L} = \frac{a \cdot BPI_{C,L} + b \cdot SFI_{C,L} + c \cdot NPI_{C,L}}{a + b + c}$$

حيث: a, b, c : تُمثّل معاملات التوزين وهي تنتمي لمجموعة الأعداد الصحيحة الموجبة. (تم اختيار القيم $a = 1, b = 1, c = 0$ ويمكن ملاءمتها حسب الحاجة).

(2) **تقييم الحوادث الإفرادية خلال حزمة الحوادث:**

(3) يمكننا هذا المستوى من التقييم من تحديد الحالات الحدية للنظام وعمليات الفصل المتتابعة التي تحدث بعد العطل. تتم عملية التقييم من خلال مجموعة مؤشرات تأخذ بالحسبان عدد حالات الفصل والتهبيج التي تمت خلال الحادث الإفرادي، كذلك الفترة الزمنية بين الفصل الأول والأخير وبين التهبيج الأول والأخير، بالإضافة إلى كمية الحمل المفقود نتيجة الحادث الإفرادي.

يوضح الشكل (4) البنية الهرمية للمؤشرات المستخدمة حيث تتوزع هذه المؤشرات على ثلاثة مستويات. مؤشرات المستوى الأول هي:

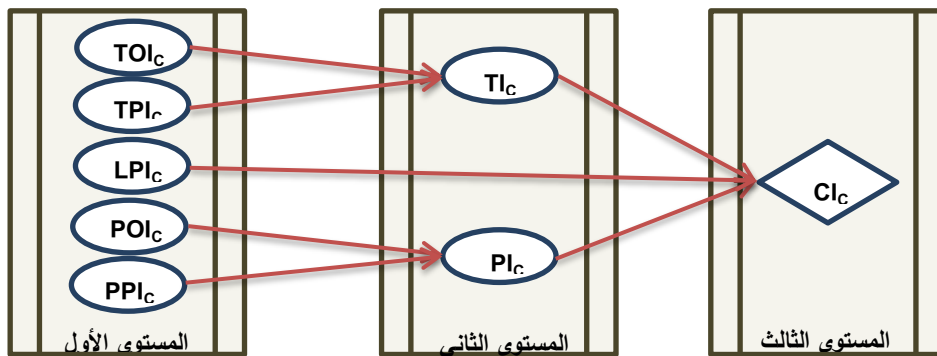
- مؤشر حدوث الفصل TOI_C (Trip Occurrence Index)
- مؤشر فترة الفصل TPI_C (Trip Period Index)
- مؤشر حدوث التهبيج POI_C (Pickup Occurrence Index)
- مؤشر فترة التهبيج PPI_C (Pickup Period Index)
- مؤشر استطاعة الحمل LPI_C (Load Power Index)

عن طريق الربط بين هذه المؤشرات باستخدام المنطق الضبابي (Fuzzy Logic) [8] ينشأ لدينا في المستوى الثاني المؤشرين التاليين للفصل والتهبيج:

1. مؤشر الفصل TI_C (Trip Index)

2. مؤشر التهبيج PI_C (Pickup Index)

ولترتيب قائمة الأولويات يتم في المستوى الثالث تشكيل مؤشر الطوارئ CI_C (Contingency Index). يتم حساب هذه المؤشرات من أجل كل حادث إفرادي مدروس C ، نقدم فيما يلي شرحاً لهذه المؤشرات:



الشكل (4): البنية الهرمية ثلاثية المستويات لتقييم الحوادث الإفرادية خلال حزمة الحوادث

• مؤشر حدوث الفصل TOI_C :

يحدد عدد حالات الفصل غير المرغوب به لتجهيزات الحماية والتي جرت خلال الحادث الإفرادي C وعلاقتها بالعدد الأعظمي خلال الحزمة. تنتمي قيمة هذا المؤشر إلى المجال $[0, 1]$ ويعرف بالعلاقة [7]:

$$TOI_C = \frac{n_{TRP,c}}{\max_{i=1, \dots, N_C} \{n_{TRP,c,i}\}} \quad (4)$$

حيث N_C : عدد الحوادث الإفرادية التي تتم مراقبتها (رصدتها)

$n_{TRP,c,i}$: عدد حالات الفصل غير المرغوب به خلال الحادث الإفرادي i من قِبَل جميع تجهيزات الحماية

$n_{TRP,c}$: عدد حالات الفصل غير المرغوب به خلال الحادث الإفرادي C من قِبَل جميع تجهيزات الحماية

• مؤشر فترة الفصل TPI_C :

إضافة لعدد مرات الفصل يتم باستخدام هذا المؤشر تقييم الفترة الزمنية بين الفصل الأول والأخير لحادث إفرادي وعلاقتها مع الفترة الزمنية الأعظمية بين الفصل الأول والأخير خلال حزمة الحوادث، يُعطى بالعلاقة [7]:

$$TPI_C = 1 - \frac{t_{TRP,c} - t_{TRP,1,c}}{\max_{k=1, \dots, N_C} \{t_{TRP,n,c,k} - t_{TRP,1,c,k}\}} \quad (5)$$

حيث: N_C : عدد الحوادث الإفرادية التي تتم مراقبتها

$t_{TRP,c}$: اللحظة الزمنية للفصل الأخير خلال الحادث الإفرادي (الذي تتم مراقبته) C

$t_{TRP,1,c}$: اللحظة الزمنية للفصل الأول خلال الحادث الإفرادي المراقب C

$t_{TRP,n,c,k}$: اللحظة الزمنية للفصل الأخير خلال الحادث الإفرادي k

$t_{TRP,1,c,k}$: اللحظة الزمنية للفصل الأول خلال الحادث الإفرادي k

ويشكل مشابه لمؤشري حدوث الفصل وفترة الفصل، نحصل على مؤشري حدوث التهيج (POI_C) وفترة التهيج (PPI_C) حيث نستخدم عدد مرات التهيج واللحظات الزمنية للتهيج بدلاً من عدد مرات الفصل واللحظات الزمنية للفصل في العلاقات (4) و(5).

• مؤشر استطاعة الحمل LPI_C :

يتم باستخدام هذا المؤشر تقييم كمية الحمل الخارج من الخدمة $P_{AUS,c}$ بعد العطل (نتيجة الحادث الإفرادي

(6) المراقب C) ويُعرّف رياضياً بالعلاقة [7]:

$$LPI_C = \min \left\{ 1 ; \frac{P_{AUS,c}}{a.P_{ges}} \right\}$$

حيث: $P_{AUS,c}$: كمية الحمل الخارج من الخدمة نتيجة الحادث الإفرادي C

P_{ges} : مجموع استطاعات الأحمال في النظام المدروس

a : معامل يستخدم لضبط التقييم ويتم اختياره بحسب رغبة المستثمر ويؤخذ ضمن المجال $[0, 1]$

(تم اختيار القيمة $a = 0.1$ حيث يؤدي فصل حمل قريب من القيمة $a.P_{ges}$ إلى تقييم حاد لأمان الشبكة).

• مؤشرات المستوى الثاني:

يتم الحصول على مؤشرات المستوى الثاني (مؤشر الفصل TI_C ومؤشر التهيج PI_C) باستخدام المنطق الضبابي بحيث

يُعطى عدد مرات الفصل والتهيج (TOI_C/POI_C) وزن أكبر من فترة الفصل والتهيج (TPI_C/PPI_C)، وقواعد النظام

مبينة في الجدول (1):

الجدول (1): مصفوفة القواعد القياسية لتشكيل المؤشرين PI_C و TI_C

| | | TOI_C/POI_C | | | | |
|---------------|----|---------------|---|---|---|----|
| | | VL | L | M | H | VH |
| TPI_C/PPI_C | VL | VL | L | M | H | VH |
| | L | L | L | M | H | VH |
| | M | L | L | M | H | VH |
| | H | L | L | M | H | VH |
| | VH | M | M | H | H | VH |

● مؤشر الطوارئ (CI_C):

الخطوة الأخيرة في عملية تقييم الحوادث الإفرادية خلال حزمة الحوادث هي تشكيل مؤشر الطوارئ CI_C الذي يُمثّل قائمة مُرتبة للحوادث الإفرادية وينتج من المؤشرات PI_C و TI_C و LPI_C معاً. حيث تتم ملائمة مصفوفة القواعد القياسية الموضحة في الجدول (1) باستخدام قيم المؤشر LPI_C من العلاقة (6). يحدد الجدول (2) قيم معامل الانزياح V_{SRM} لمصفوفة القواعد القياسية وفقاً لانتماء المؤشر LPI_C . وبالتالي تؤثر قيم هذا المؤشر بشكل كبير على النتيجة النهائية، ذلك لأن خروج الحمل يُعتبر أمر حاسم في تقييم أمان النظام.

| | | V_{SRM} |
|---------|----|-----------|
| LPI_C | VL | -2 |
| | L | -1 |
| | M | 0 |
| | H | 1 |
| | VH | 2 |

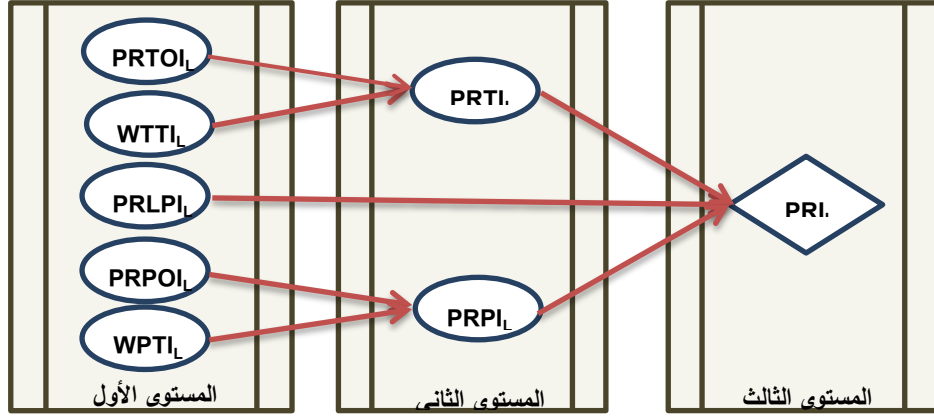
الجدول (2): قيم معامل الانزياح لمصفوفة القواعد القياسية لتشكيل المؤشر CI_C

(3) تقييم تقنية الحماية خلال حزمة الحوادث:

هدف تقييم تقنية الحماية خلال حزمة حوادث هو وضع قائمة مرتبة لأجهزة الحماية ذات الحالة الحدية، بحيث يتم تحديد التجهيزات التي تتأثر بالحوادث العابرة الكهروميكانيكية، وتلك المسؤولة عن خروج الحمل. تتم عملية التقييم بمساعدة مجموعة من المؤشرات تأخذ بالحسبان عدد الحوادث الإفرادية المترافقة بفصل أو تهييج الجهاز، واللحظات الزمنية للفصل والتهييج خلال الحوادث الإفرادية وكذلك مشاركة الجهاز في خروج الحمل عند حادث إفرادي. يوضح الشكل (5) البنية الهرمية للمؤشرات المستخدمة حيث تتوزع هذه المؤشرات على ثلاثة مستويات. يضم المستوى الأول المؤشرات الخمس التالية:

1. مؤشر حدوث الفصل لزاغل الحماية ($PRTOI_L$) Protection Relay Trip Occurrence Index.
2. مؤشر زمن الفصل الموزون ($WTTI_L$) Weighted Trip Time Index.
3. مؤشر حدوث التهييج لزاغل الحماية ($PRPOI_L$) Protection Relay Pickup Occurrence Index.
4. مؤشر زمن التهييج الموزون ($WPTI_L$) Weighted Pickup Time Index.
5. مؤشر استطاعة الحمل لزاغل الحماية ($PRLPI_L$) Protection Relay Load Power Index.

مؤشرات المستوى الثاني يتم الحصول عليها باستخدام المنطق الضبابي وهي:



الشكل (5): البنية الهرمية ثلاثية المستويات لتقييم تقنية الحماية خلال حزمة الحوادث

1. مؤشر الفصل لجهاز الحماية (PRTI_L) Protection Relay Trip Index.
 2. مؤشر التهييج لجهاز الحماية (PRPI_L) Protection Relay Pickup Index.
- يتم تشكيل المؤشر النهائي (مؤشر جهاز الحماية (Protection Relay Index (PRI_L) في المستوى الثالث أيضاً باستخدام المنطق الضبابي واستناداً إلى ذلك يتم وضع قائمة مرتبة لتجهيزات الحماية. يتم حساب هذه المؤشرات من أجل كل جهاز حماية L، نقدم فيما يلي شرحاً لهذه المؤشرات:
- **مؤشر حدوث الفصل لجهاز الحماية (PRTOL):**
- يُقِيم هذا المؤشر عدد الحوادث التي يقوم فيها جهاز الحماية L بفصل غير مرغوب فيه بالنسبة للعدد الأعظمي للحوادث التي قامت بها أجهزة الحماية المدروسة بفصل غير مرغوب فيه، ويُعرّف بالعلاقة [6]:

$$PRTOL = \frac{n_{TRP,i}}{\max_{i=1, \dots, N_{TRP}} \{n_{TRP,i}\}} \quad (8)$$

حيث: N_{TRP} : عدد تجهيزات الحماية المدروسة

$n_{TRP,i}$: عدد الحوادث الفردية التي قام فيها جهاز الحماية المُراقب L بفصل غير مرغوب به

$n_{TRP,i}$: عدد الحوادث الفردية التي قام فيها جهاز الحماية i بفصل غير مرغوب به

- **مؤشر زمن الفصل الموزون (WTTIL):**

يأخذ هذا المؤشر بالحسبان اللحظة الزمنية التي قام فيها الجهاز L بالفصل خلال الحادث الإفرادي، كما تتم عملية الحساب فقط لأجل الحوادث الفردية التي حدث فيها على الأقل حالتين فصل منفصلتين زمنياً والتي يقوم فيها جهاز الحماية المُراقب L بالفصل. ويُعبّر عن هذا المؤشر بالعلاقة [6]:

$$WTTIL = k = 1, \dots, N_{TRP,PR} \left\{ e^{-\gamma \frac{t_{TRP,k,i} - t_{TRP,1}}{t_{TRP,n} - t_{TRP,1}}} \right\} \quad (9)$$

حيث: $N_{TRP,PR}$: عدد الحوادث الفردية التي لها على الأقل حالتين فصل منفصلتين زمنياً والتي قام فيها

جهاز الحماية المُراقب L بالفصل

$t_{TRP,k,l}$: اللحظة الزمنية التي قام فيها جهاز الحماية المُراقب L بالفصل خلال الحادث الإفرادي k

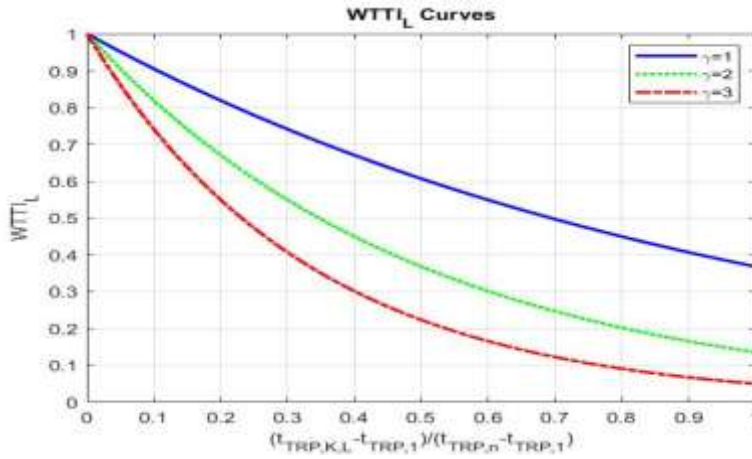
$t_{TRP,n}$: اللحظة الزمنية لآخر عملية فصل تمت خلال الحادث الإفرادي k

$t_{TRP,1}$: اللحظة الزمنية لأول عملية فصل تمت خلال الحادث الإفرادي k

γ : مُعامل يُستخدم لملائمة عملية التقييم

يتم باستخدام المُعامل γ ملائمة التقييم بحيث يتم الأخذ بالاعتبار أثر الدومينو (Domino effect) للفصل المتعاقب (أي أن عمليات الفصل التي حدثت بشكل مُبكر في فصل متعاقب تُعطى تقييم أكثر حدة من عمليات الفصل اللاحقة).

يبين الشكل (6) منحنيات WTL_L من أجل قيم مختلفة للمعامل γ . (تم اعتماد القيمة $\gamma = 3$ في عملية التقييم). وبشكل مشابه للمؤشرين السابقين، نحصل على مؤشري حدوث التهيج لجهاز الحماية ($PRPOI_L$) وزمن التهيج الموزون ($WPTI_L$) حيث نستخدم عدد مرات التهيج واللحظات الزمنية للتهيج بدلاً من عدد مرات الفصل واللحظات الزمنية للفصل في العلاقات (7) و (8).



الشكل (6): مجموعة منحنيات المؤشر

• مؤشر استطاعة الحمل لجهاز الحماية ($PRLPI_L$):

يأخذ هذا المؤشر مشاركة جهاز الحماية المُراقب L في عمليات الفصل غير المرغوبة التي ترافقت بخروج حمل خلال الحوادث الإفرادية، حيث يتم جمع مؤشرات LPI_C لجميع الحوادث الإفرادية التي شارك فيها جهاز الحماية المُراقب L بعمليات الفصل غير المرغوبة ويؤخذ المجموع الكلي لمؤشرات LPI_C في حزمة الحوادث كقيمة مرجعية. ويُعبّر عن هذا المؤشر بالعلاقة [6]:

$$PRLPI_L = \frac{\sum_{k=1}^{N_c} x_k \cdot LPI_{C,k}}{\sum_{k=1}^{N_c} LPI_{C,k}} ; x_k = \begin{cases} 1 & ; n_{TR} \neq 0 \\ 0 & ; n_{TR} = 0 \end{cases}$$

حيث: N_c : عدد الحوادث الإفرادية المدروسة.

• مؤشرات المستوى الثاني:

يتم الحصول على مؤشرات المستوى الثاني (مؤشر الفصل لزاغل الحماية $PRTI_L$ ومؤشر التهيج لزاغل الحماية $PRPI_L$) باستخدام المنطق الضبابي، وتُعطى مصفوفة القواعد القياسية في تشكيل هذين المؤشرين في الجدول (3)، وهي مختلفة قليلاً عن مصفوفة القواعد القياسية السابقة بحيث يجري ضمان أن أجهزة الحماية التي تحقق بشكل

متساوي المعيارين (عدد مرات الفصل (أو التهيج) والنقطة الزمنية) يتم تقييمها بدرجة أعلى من أجهزة الحماية التي تحقق معيار واحد.

الجدول (3): مصفوفة القواعد القياسية لتشكيل المؤشرين PRPIC و PRTIC

| | | PRTO _L /PRPO _L | | | | |
|-------------------------------------|----|--------------------------------------|----|---|---|----|
| WTT _L /WPPT _L | | VL | L | M | H | VH |
| | VL | VL | VL | L | L | M |
| | L | VL | L | L | L | M |
| | M | L | L | M | M | H |
| | H | L | L | M | H | H |
| | VH | M | M | H | H | VH |

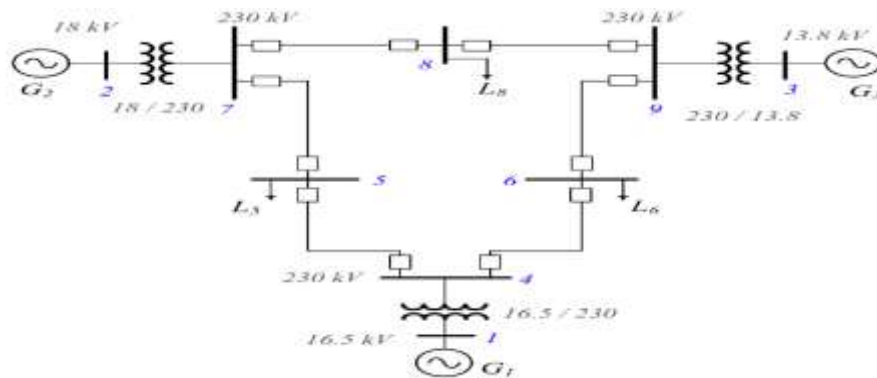
• مؤشر جهاز الحماية PR_L:

يمثل هذا المؤشر قائمة مرتبة لتجهيزات الحماية ويتم تشكيله من المؤشرات PRT_L و PRP_L و PRLP_L معاً. حيث تتم ملائمة مصفوفة القواعد القياسية الموضحة في الجدول (3) باستخدام المؤشر PRLP_L. تؤخذ قيم معامل الانزياح V_{SRM} لمصفوفة القواعد القياسية وفقاً لانتماء المؤشر PRLP_L من الجدول (2) بشكل مشابه لما وجدناه عند تشكيل مؤشر الطوارئ C_{IC}. وبالتالي تؤثر قيم المؤشر PRLP_L بشكل كبير على النتيجة النهائية، أي أن مشاركة جهاز الحماية في فصل الحمل تلعب دوراً هاماً في التقييم النهائي لأجهزة الحماية خلال حزمة الحوادث.

(4) الشبكة المدروسة:

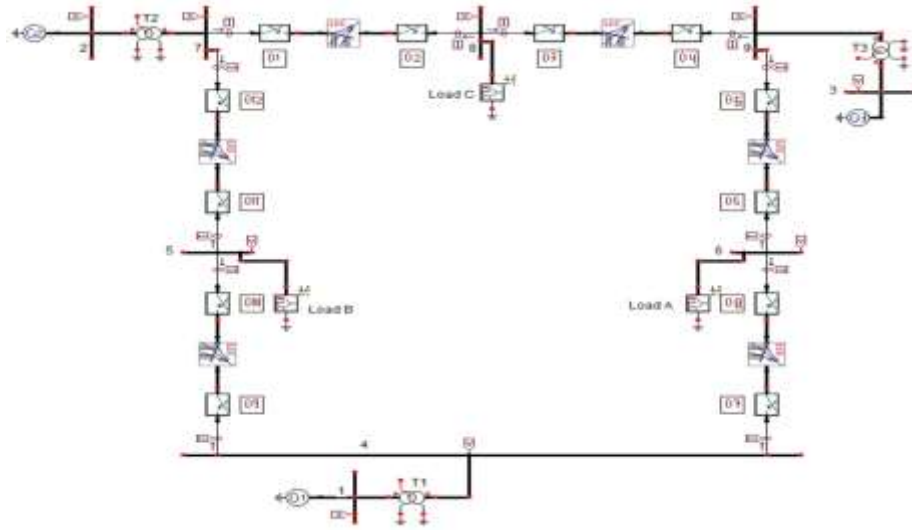
تحتوي شبكة الاختبار (IEEE-9 bus system) على 3 مولدات باستطاعة توليد إجمالية 420 MVA، 6 خطوط نقل بمستوى توتر 230 kV وكل خط نقل محمي بجهازي حماية مسافية عند طرفي الخط (أي يتم استخدام 12 جهاز حماية مسافية)، يبلغ الحمل الإجمالي للشبكة حوالي 335 MVA (الشكل 7).

تمت نمذجة الشبكة المدروسة مع تجهيزات الحماية المسافية باستخدام برنامج ATP-EMTP المتخصص بدراسة الحالات العابرة (الشكل 8)، حيث تتيح وحدة المحاكاة MODELS إمكانية نمذجة خوارزميات جهاز الحماية المسافية باستخدام لغة الفورتران. تم اختيار إعدادات تجهيزات الحماية المسافية بالاعتماد على بيانات الشبكة، حيث استُخدمت مميزة التشغيل رباعية الأضلاع (Quadrilateral characteristic) مع ثلاثة مناطق حماية مسافية بالاتجاه الأمامي (حدود المناطق مُعرفة بواسطة Generisch)، بالإضافة لمنطقة تهيج لكشف العطل [10,9]. تمكنا عملية الربط بين وحدة



الشكل (7): الشبكة المدروسة - IEEE-9-bus

MODELS ونظام القدرة الكهربائي في برنامج ATP من تقييم أداء جهاز الحماية المسافية خلال حالات العطل المختلفة.



الشكل (8): نموذج ATP للشبكة المدروسة

يتم تخزين بيانات العطل (الجهود والتيارات عند موقع جهاز الحماية المسافية) وبيانات أجهزة الحماية المسافية (ممانعة العطل المقاسة بالإضافة إلى عدد مرات التهييج أو الفصل واللحظات الزمنية الموافقة) في ملف (.PL4)، حيث استخدم برنامج الماتلاب لمعالجة النتائج وإعداد البنية البرمجية اللازمة لدراسة تقييم الأمان الديناميكي لنظام القدرة بالاعتماد على المؤشرات الموصوفة أعلاه.

النتائج والمناقشة:

1) حالة عطل طور مع الأرض عند منتصف الخط:

في هذه الحالة تمت محاكاة عطل طور مع الأرض (L1-E) عند منتصف كل خط نقل حيث استُخدمت مقارنة الممانعة مع حدود مناطق الحماية كميّار للفصل. يبين الجدول (4) قيم مؤشرات المستوى الأول من التقييم (BPI_{CL} , SFI_{CL} , RSI_{CL}) لبعض أجهزة الحماية (D_1, D_2, \dots, D_6) وذلك خلال مجموعة الحوادث الإفرادية المدروسة. نلاحظ من الجدول أن المؤشرات الثلاثة تأخذ القيمة (1) لأجل الأعطال على الخط المحمي مما يدل على استجابة مثالية بالنسبة للفصل الانتقائي للعطل. من جهة ثانية نجد بالاستفادة من قيم المؤشر BPI_{CL} أن أعطال طور أرض تسبب تهييج في جميع تجهيزات الحماية المسافية في الشبكة المدروسة، لكن ذلك لم يقود إلى حالات فصل خاطئ حيث أن قيم المؤشر SFI_{CL} تتراوح بين القيمتين 0.2872 و 0.3227 مما يدل على أن مدة بقاء مسار الممانعة ضمن مناطق الحماية لا تتجاوز 33% من زمن تعيير المنطقة المعنية وبذلك يجري ضمان تجنب الفصل الخاطئ لأجهزة الحماية المسافية مع المحافظة على الفصل الانتقائي للعطل.

الجدول (4): قيم المؤشرات (RSI_{CL} , SFI_{CL} , BPI_{CL}) لبعض أجهزة الحماية المدروسة خلال أعطال طور-أرض

| رقم جهاز الحماية | الخط المصاب بالعطل (L1-E) | | | | | |
|-----------------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | L78 | L89 | L96 | L64 | L45 | L57 |
| قيم المؤشر BPI_{CL} | D ₁ | 1 | 0.6321 | 0.6321 | 0.6321 | 0.6321 |
| | D ₂ | 1 | 0.6321 | 0.6321 | 0.6321 | 0.6321 |
| | D ₃ | 0.6321 | 1 | 0.6321 | 0.6321 | 0.6321 |
| | D ₄ | 0.6321 | 1 | 0.6321 | 0.6321 | 0.6321 |
| | D ₅ | 0.6321 | 0.6321 | 1 | 0.6321 | 0.6321 |
| | D ₆ | 0.6321 | 0.6321 | 1 | 0.6321 | 0.6321 |
| قيم المؤشر SFI_{CL} | D ₁ | 1 | 0.3145 | 0.3073 | 0.3162 | 0.3053 |
| | D ₂ | 1 | 0.2932 | 0.3139 | 0.3171 | 0.3016 |
| | D ₃ | 0.2878 | 1 | 0.312 | 0.3212 | 0.3114 |
| | D ₄ | 0.3227 | 1 | 0.3016 | 0.3203 | 0.3053 |
| | D ₅ | 0.3073 | 0.3137 | 1 | 0.2914 | 0.2994 |
| | D ₆ | 0.3137 | 0.3024 | 1 | 0.3205 | 0.3107 |
| قيم المؤشر RSI_{CL} | D ₁ | 1 | 0.4738 | 0.4697 | 0.4742 | 0.4687 |
| | D ₂ | 1 | 0.4626 | 0.473 | 0.4746 | 0.4669 |
| | D ₃ | 0.4599 | 1 | 0.4721 | 0.4767 | 0.4718 |
| | D ₄ | 0.4774 | 1 | 0.4669 | 0.4762 | 0.4687 |
| | D ₅ | 0.4697 | 0.4729 | 1 | 0.4617 | 0.4658 |
| | D ₆ | 0.4729 | 0.4672 | 1 | 0.4763 | 0.4714 |

(2) حالة عطل طورين مع الأرض عند منتصف الخط:

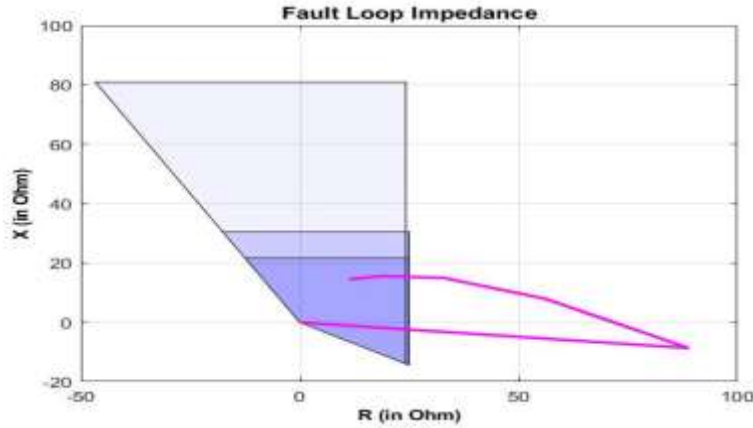
في هذه الحالة تمت محاكاة عطل طورين مع الأرض (L1-L2-E) عند منتصف كل خط نقل في الحالتين:

1. استخدام مقارنة الممانعة مع حدود مناطق الحماية كمعيار للفصل.
 2. استخدام وظيفة الإرسال المباشر لإشارة الفصل (Direct underreaching transfer trip (DUTT)).
- يبين الجدول (5) قيم مؤشر أمان جهاز الحماية RSI_{CL} من أجل بعض الحوادث الإفرادية المدروسة (عطل طورين مع الأرض عند منتصف كل من خطي النقل L78, L89). نلاحظ أن تجهيزات الحماية تُبدي استجابة ممتازة بالنسبة للفصل الانتقائي حيث تقوم الزواجل D_1 و D_2 بالفصل الانتقائي لأجل عطل على الخط المحمي L78 وكذلك تقوم الزواجل D_3 و D_4 بالفصل الانتقائي لأجل عطل على الخط المحمي L89 (حيث يأخذ المؤشر RSI_{CL} القيمة 1). من جهة ثانية عند استخدام مقارنة الممانعة مع حدود المناطق كمعيار للفصل تميل بعض الزواجل للفصل الخاطئ لأجل عطل خارج منطقة الحماية مما يتسبب بفقدان في الحمل. فمثلاً يقوم جهاز الحماية D_4 بفصل خاطئ لأجل عطل على الخط L78 المحمي بالجهازين D_1 , D_2 مما يتسبب بانقطاع التغذية الكهربائية عن الحمل L8. أما عند

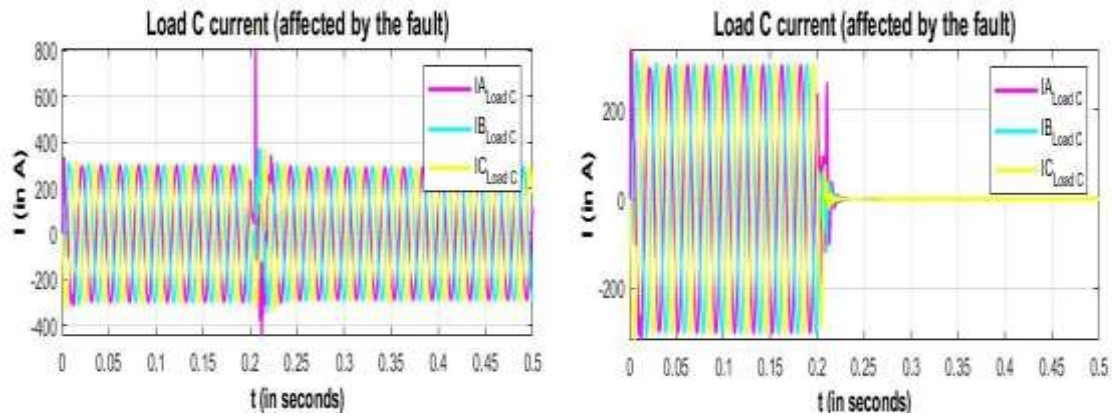
استخدام وظيفة الإرسال المباشر لإشارة الفصل DUTT نلاحظ تحسن كبير في استجابة تجهيزات الحماية حيث يأخذ المؤشر RSI_{CL} القيمة 0.6486 مما يدل على حدوث تهبيح في جهاز الحماية لكن بدون وجود فصل خاطئ.

الجدول (5): قيم مؤشر RSI_{CL} لأجل حزم الحوادث L1-L2-E مع ابدون تفعيل وظيفة DUTT

| رقم جهاز الحماية | الخط المُصاب بالعطل L1-L2-E {قيم مؤشر RSI_{CL} } | | | |
|------------------|--|---------------|-----------------|---------------|
| | L78 | | L89 | |
| | بدون تفعيل DUTT | مع تفعيل DUTT | بدون تفعيل DUTT | مع تفعيل DUTT |
| D ₁ | 1 | 1 | 1 | 0.6473 |
| D ₂ | 1 | 1 | 0.6249 | 0.6349 |
| D ₃ | 0.6316 | 0.6248 | 1 | 1 |
| D ₄ | 1 | 0.6486 | 1 | 1 |
| D ₅ | 0.6315 | 0.6354 | 0.6333 | 0.6418 |
| D ₆ | 0.6315 | 0.6462 | 0.626 | 0.626 |
| D ₇ | 0.6436 | 0.6454 | 0.635 | 0.6404 |
| D ₈ | 0.6321 | 0.6456 | 0.6324 | 0.6303 |
| D ₉ | 0.629 | 0.6394 | 0.6337 | 0.6361 |
| D ₁₀ | 0.6364 | 0.6396 | 0.6382 | 0.6384 |
| D ₁₁ | 0.6329 | 0.6397 | 0.6348 | 0.6275 |
| D ₁₂ | 0.6335 | 0.6228 | 0.6311 | 0.6429 |



يوضح الشكل (9) أن الممانعة المُشاهدة من قبل جهاز الحماية D₁ لأجل عطل على الخط المحمي تقع في منطقة الحماية الأولى، أما في الشكل (10) فنجد مقارنة بين تيارات الحمل L8 لأجل عطل على الخط L78 في كل من الحالتين: عند تفعيل وظيفة DUTT وعند استخدام مقارنة الممانعة مع حدود مناطق الحماية كميّار للفصل.



الشكل (9): الممانعة المقاسة من قبل D_1 لأجل عطل على الخط المحمي

نجد في الجدول (6) قيم المؤشرين (مؤشر الطوارئ C_{IC} ومؤشر جهاز الحماية PRI_L) من اجل حزمة الحوادث الإفرادية (L1-L2-E). وتبين النتائج الانخفاض الواضح في قيم مؤشر الطوارئ C_{IC} الناتج عن تجنب فقدان الحمل عند تفعيل وظيفة DUTT

بدون تفعيل وظيفة DUTT مع تفعيل وظيفة DUTT

الشكل (10): مقارنة تيارات الحمل L8 لأجل عطل على الخط L78 في الحالتين مع ابدون تفعيل DUTT

الجدول (6): قيم المؤشرين PRI_L , C_{IC} لأجل حزمة الحوادث L1-L2-E مع ابدون تفعيل وظيفة DUTT

| رقم جهاز الحماية | حزمة حادث L1-L2-E {قيم المؤشر PRI_L } | | رقم الحادث | حزمة حادث L1-L2-E {قيم المؤشر C_{IC} } | |
|------------------|--|---------------|------------|---|---------------|
| | بدون تفعيل DUTT | مع تفعيل DUTT | | بدون تفعيل DUTT | مع تفعيل DUTT |
| D_1 | 0.5913 | 0.2506 | C1 | 0.9199 | 0.2172 |
| D_2 | 0.0876 | 0.0886 | | C2 | 0.9199 |
| D_3 | 0.0876 | 0.0934 | C3 | | 0.9199 |
| D_4 | 0.5913 | 0.2157 | | C4 | 0.9199 |
| D_5 | 0.2315 | 0.1653 | C5 | | 0.9199 |
| D_6 | 0.5913 | 0.3080 | | C6 | 0.9199 |
| D_7 | 0.5913 | 0.1717 | | | |
| D_8 | 0.2144 | 0.0886 | | | |
| D_9 | 0.5913 | 0.212 | | | |
| D_{10} | 0.3425 | 0.0922 | | | |
| D_{11} | 0.2352 | 0.0886 | | | |
| D_{12} | 0.5913 | 0.2399 | | | |

(3) حالة عطل ثلاثة أطوار مع الأرض عند منتصف الخط:

في هذه الحالة تمت محاكاة عطل ثلاثة أطوار مع الأرض (L1-L2-L3-E) عند منتصف كل خط نقل مع تفعيل وظيفة الإرسال المباشر لإشارة الفصل (DUTT). تقدم الجداول (7,8) قيم المؤشرات (مؤشر أمان جهاز الحماية RSI_{CL} ومؤشر الطوارئ CI_C ومؤشر جهاز الحماية PRI_L) من أجل حزمة الحادث المدروسة. توضح النتائج أن تجهيزات الحماية تُبدي استجابة ممتازة للفصل الانتقائي للعطل، كما نلاحظ من الجدول (7) انخفاض في حالات التهيج غير الضرورية (حيث يأخذ المؤشر RSI_{CL} القيمة 0) بالمقارنة حزمة الحادث L1-L2-E. من جهة ثانية نجد في الجدول (8) أن قيم مؤشر الطوارئ CI_C تتراوح بين [0.0872, 0.1087] كذلك تقع قيم المؤشر PRI_L ضمن المجال [0.0886, 0.3425] مما يدل على عدم وجود فصل خاطئ أو فقدان في الحمل نتيجة الحوادث الإفرادية المدروسة وبالتالي تحسن استجابة تجهيزات الحماية بالمقارنة مع حزمة الحادث L1-L2-E.

الجدول (7): قيم مؤشر RSI_{CL} لأجل حزمة الحادث L1-L2-L3-E مع تفعيل وظيفة DUTT

| رقم جهاز الحماية | الخط المُصاب بالعطل L1-L2-L3-E (قيم المؤشر RSI_{CL}) | | | | | |
|------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| | L78 | L89 | L96 | L64 | L45 | L57 |
| D ₁ | 1 | 0.6289 | 0.624 | 0.6311 | 0.6249 | 0.6211 |
| D ₂ | 1 | 0.6271 | 0 | 0.6292 | 0.6242 | 0.6308 |
| D ₃ | 0.6249 | 1 | 0 | 0.6262 | 0.6243 | 0.6261 |
| D ₄ | 0.6256 | 1 | 0.6228 | 0.6256 | 0 | 0.6265 |
| D ₅ | 0.6261 | 0.6298 | 1 | 0.625 | 0 | 0.6241 |
| D ₆ | 0.6256 | 0.6212 | 1 | 0.6257 | 0 | 0.6265 |
| D ₇ | 0.6265 | 0.6273 | 0.6301 | 1 | 0 | 0.628 |
| D ₈ | 0.629 | 0.6254 | 0.6261 | 1 | 0 | 0.6290 |
| D ₉ | 0.6278 | 0.6250 | 0.6247 | 0 | 1 | 0.6281 |
| D ₁₀ | 0.6276 | 0.6226 | 0.631 | 0.6271 | 1 | 0.6232 |
| D ₁₁ | 0 | 0.6247 | 0.6243 | 0 | 0.6261 | 1 |
| D ₁₂ | 0 | 0.6319 | 0.6238 | 0 | 0.6221 | 1 |

الجدول (8): قيم المؤشرين PRI_L و CI_C لأجل حزمة الحادث L1-L2-L3-E مع تفعيل وظيفة DUTT

| رقم جهاز الحماية | حزمة حادث L1-L2-L3-E | رقم الحادث | حزمة حادث L1-L2-L3-E |
|------------------|----------------------|------------|----------------------|
| | قيم المؤشر PRI_L | | قيم المؤشر CI_C |
| D ₁ | 0.1523 | C1 | 0.0872 |
| D ₂ | 0.0912 | | |
| D ₃ | 0.1981 | C2 | 0.1087 |
| D ₄ | 0.3425 | | |

| | | | |
|-----------------|--------|----|--------|
| D ₅ | 0.0886 | C3 | 0.0903 |
| D ₆ | 0.1928 | | |
| D ₇ | 0.2365 | C4 | 0.0942 |
| D ₈ | 0.0886 | | |
| D ₉ | 0.2516 | C5 | 0.0902 |
| D ₁₀ | 0.0901 | | |
| D ₁₁ | 0.0946 | C6 | 0.0962 |
| D ₁₂ | 0.2191 | | |

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- 1- قدمنا في هذه الورقة العلمية دراسة لتقييم أثر وظائف وبارامترات تجهيزات الحماية المسافية على الأمان الديناميكي لنظام القدرة الكهربائي مما يساهم في اختيار الخوارزميات المثلى لعمل هذه التجهيزات.
- 2- تمت عملية التقييم بالاعتماد على مجموعة من المؤشرات تأخذ في الحسبان عدد حالات التهيج والفصل غير المرغوب بها من قبل زواجل الحماية المسافية واللحظات الزمنية للفصل والتهيج وكذلك كمية الحمل المفقود نتيجة مجموعة من الحوادث الإفرادية.
- 3- بينت النتائج أن تجهيزات الحماية المسافية تُبدي استجابة مثالية لحالات الفصل الانتقائي للعطل، وكان تفعيل وظيفة الإرسال المباشر لإشارة الفصل DUTT هو الإجراء المناسب لتجنب حالات الفصل الخاطئ لأجل أعطال خارج الخط المحمي في بعض الحالات.

التوصيات:

- 1- توسيع الدراسة لتشمل باقي نظام الحماية المخصص لحماية كامل نظام القدرة الكهربائي.
- 2- الاعتماد على نتائج هذه الدراسة في اختيار البارامترات الأمثل لزواجل الحماية المسافية باستخدام خوارزميات ذكاء اصطناعي متقدمة.

References:

- [1] Morrison, K., Wang, L. and Kundur, P. *Power System Security Assessment*. IEEE Power & Energy Magazine, Vol.(2) No.(5) 2004, 30–39.
- [2] Mhmoud, K. A., Imam, A. A. and Elhassan, A. *Power System Dynamics and Stability*. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, Vol.(16) No.(2) 2021, 26–38.
- [3] Oyekanmi, W. A., Radman, G. and Ajewole, T. A. *Transient stability based dynamic security assessment indices*. Cogent Engineering, Vol.(4) No.(1) 2017, 1–17.
- [4] Jaeger, J. and Krebs, R. *Protection Security Assessment-An Important Task for Blackout Prevention*. IEEE International Conference on Power System Technology, 2010, 1–6.
- [5] Romeis, C. and Jaeger, J. *Dynamic Protection Security Assessment, a Technique for Blackout Prevention*. IEEE Grenoble conference, 2013, 1–6.
- [6] Romeis, C., Jaeger, J. and Eberle, T. *Dynamic Protection Security Assessment: Influences of Protection Systems on the Transient System Security*. 13th IET International Conference on Development in Power System Protection, 2016, 1–6.

- [7] Romeis, C. *Dynaische Schutzsicherheit Unter Beruecksichtigung Elektromechanischer Ausgleichsorgangein Hochspannungsnetzen*. SHAKER VERLAG, 2017.
- [8] Jain, A. and Sharma, A. *Membership Function Formulation Methods for Fuzzy Logic System: A Comprehensive Review*. Journal of Critical Reviews, Vol.(7) No.(19) 2020, 8717–8733.
- [9] Ziegler, G. *Numerical Distance Protection, Fourth Edition*. Erlangen Publicis Corporate Publishing, Germany, 2011, 421.
- [10] Schindler, J., Prommetta, J. and Jager, J. *Secure and Dependable Protection Relay Behavior in Extremely High Loaded Transmission System*. Institute of Electrical Energy Systems, Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nürnberg (FAU), 2019, 1–6.
- [11] Mehre, V. and Sawle, D. *Static Security Assessment of Power System*, Iconic Research and Engineering Journals, Vol.(5) No.(12) 2022, 216–219.

