

تأثير محطات شحن المركبات الكهربائية على أداء مُرْجِلة المسافة

شاكِر محمود خضير

عمر شرف الدين يحيى

وسام محمد نجم

shakeralhyane@uomosul.edu.iq o.yehya@uomosul.edu.iq wisam.20enp50@student.uomosul.edu.iq

جامعة الموصل - كلية الهندسة - قسم الهندسة الكهربائية - موصل - العراق

تاريخ القبول: 2022-10-5

استلم بصيغته المنقحة: 2022-9-18

تاريخ الاستلام: 2022-8-15

المخلص

تعتبر الحماية المسافية مهمة واساسية في منظومات القدرة. نتيجة للتطور الحاصل في منظومات التوزيع وتغير طوبولوجيا المنظومة من وقت لآخر، يؤدي أضافة المركبات الكهربائية لمنظومة التوزيع الى زيادة مستوى العطل وضخ التوافقيات في المنظومة. بما ان المركبات هي احمال متغيرة باستمرار، فهذا يؤدي الى صعوبة تضبيب الحمائيات التي تعتمد على التيار في عملية ضبطها، ونتيجة لذلك يتم استخدام الحماية المسافية في منظومات التوزيع. هذه الورقة البحثية تبين تأثير اضافة محطات شحن المركبات الكهربائية على أداء مُرْجِلة الحماية المسافية في منظومة التوزيع، حيث تم بناء مُرْجِلة حماية مسافية بالاعتماد على شبكات الذكاء الاصطناعي لتكثيف مع ظروف المنظومة. كانت دقة نموذج الشبكة العصبية المستخدم لكشف العطل (99.9%) ونسبة الخطأ في تحديد موقع العطل (0.00079%).

الكلمات الدالة:

مُرْجِلة المسافة، المركبات الكهربائية، محطات الشحن، شبكات الذكاء الاصطناعي

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

<https://rengj.mosuljournals.com>

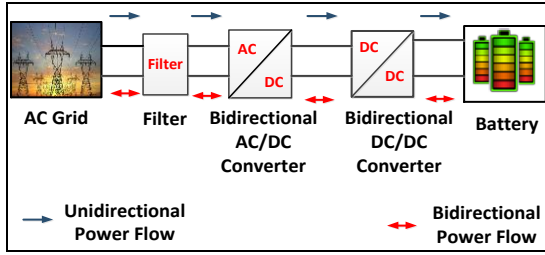
1. المقدمة

المركبة الى الشبكة (V2G) مع مختلف استراتيجيات شحن المركبات الكهربائية وتحليل أثارها على شبكات توزيع القدرة. حيث اتضح من خلال هذه الورقة البحثية بان المركبات الكهربائية المزودة بتقنية من المركبة الى الشبكة (V2G) لها العديد من المزايا، تنظيم القدرة (Active Power Regulation)، دعم القدرة التفاعلية، موازنة الحمل وترشيح التيار من التوافقيات. وعلى الرغم من هذه المحاسن التي ذُكرت تواجه هذه التقنية عدة مشاكل منها، تدهور البطاريات، مشكلة الاتصالات بين المركبة والشبكة وتغيرات في البنى التحتية لشبكة التوزيع. في الورقة البحثية [7]، قام الباحثون بدراسة تأثير اضافة محطات الشحن على مستوى تيار العطل، حيث توصل الباحثون أنه عند اضافة محطات الشحن سوف تؤدي الى زيادة مستوى العطل (Short Circuit Level)، وزيادة الطلب على القدرة التفاعلية (Reactive power). مع ذلك، هناك عدد قليل من الدراسات حول تأثير اضافة محطات الشحن على اجهزة الحماية في انظمة التوزيع. في الورقة البحثية [8]، قام الباحثون في دراسة تأثير الشحن السريع (Fast charging FC) للمركبات الكهربائية على منظومة توزيع بدون استخدام التعويض (Compensation) ولعدة مواقع مختلفة، حيث تم دراسة سريان القدرة، تحليل الاعطال و استخدام الحماية اللازمة لحماية المحول من تيارات الاعطال المختلفة. في الورقة البحثية [1]، قام الباحثون في دراسة تأثير دمج محطات شحن المركبات الكهربائية (EVCSs) على تنسيق مرحلات الحماية ودقتها في شبكات التوزيع، تم وضع الحلول اللازمة لتفادي تأثير اضافة هذه المحطات.

في ظل التطور الحاصل في انظمة التوزيع وانتشار المركبات الكهربائية بشكل كبير، اصبح من الضروري الاهتمام بأنظمة الحماية، وذلك بسبب تغير طوبولوجيا المنظومة حسب عدد المركبات الكهربائية التي يتم دمجها في هذه المنظومة، وبالتالي سوف تؤدي الى تغير مستوى تيارات العطل في المنظومة، لكون هذه المركبات تعتبر احمال متغيرة وغير متوقعة.

تمتاز المركبة الكهربائية (EV) بالعديد من المزايا، مثل عزم الدوران العالي، قليلة الضجيج، وعديمة التلوث (Zero Emission)، تقليل استهلاك الوقود الاحفوري، وبالتالي تقليل انبعاث الغازات والحد من ظاهرة الاحتباس الحراري. علاوة على ذلك، فإن المركبات الكهربائية يمكن ان تدعم منظومة القدرة في أوقات الذروة عندما تعمل هذه المركبات بتقنية من المركبة الى الشبكة (V2G) [1]. التكامل الهائل للمركبات الكهربائية في منظومة التوزيع لا يؤثر فقط على تباين وضع التشغيل وهيكلية منظومة التوزيع، ولكنه يعمل على التأثير على خصائص عناصر المنظومة. مع زيادة معدل دمج المركبات الكهربائية في منظومة التوزيع، تصبح الاستجابة اللحظية لتيار العطل أكثر تعقيداً، وبالتالي يصبح إعداد الحماية والتنسيق بين مناطق الحماية المختلفة أكثر صعوبة [2].

تم إجراء العديد من الدراسات حول تأثير اضافة محطات شحن المركبات الكهربائية الى منظومة التوزيع. في [3]، تم إجراء مراجعة أدبية للتأثيرات التي تسببها محطات شحن المركبات الكهربائية على عناصر منظومة التوزيع لكل من، استقراره الفولتية، الخسائر، عامل القدرة وجودة القدرة. بينما تناولت الورقة البحثية [4]، دراسة تأثير اضافة محطات شحن المركبات الكهربائية على محولات القدرة والعمر الافتراضي لها. وفي البحث [5]، قام الباحثون بتحليل ودراسة منظومة القدرة الخاص ب (IEEE 16 bus system) حيث ان الدراسة في هذه الورقة البحثية تهدف الى تحليل التأثير الديناميكي بدقه لكل من مصادر الطاقة المتجددة والمركبات الكهربائية الهجينة المستخدمة بكثرة (High Penetration) على أداء عامل الجودة (Power Quality PQ)، والمحتوى التوافقي لأنظمة التوزيع. أيضا هناك فوائد من اضافة محطات الشحن الى منظومة التوزيع عندما تعمل بتقنية من المركبة الى الشبكة (Vehicle to Grid V2G). في الورقة البحثية [6]، قام الباحثون بمراجعة تفصيليه حول تقنية من



شكل (2) شاحن يعمل بالاتجاهين حسب سريان القدرة.

في هذا البحث تم استخدام شاحن يتكون من ست نبضات ثلاثية الطور مسيطر عليه ذو حلقة مغلقة، للحصول على فولتية اخراج ثابتة، باستخدام الثايرسترات (Thyristors).

5. تأثير محطة الشحن على مُرَجَلَة المسافة

يتم تقسيم الاحمال المتصلة بالشبكة الكهربائية الى نوعين، احمال خطية، واحمال غير خطية، تعتبر محطات شحن المركبات الكهربائية احمالاً غير خطية، بما إن محطات شحن المركبات الكهربائية تعمل على تحويل التيار المتردد الى تيار مستمر باستخدام اجهزة الكترونيات القدرة، ونتيجة لعمليات الغلق والفتح لمفاتيح الكترونيات القدرة، يؤدي الى توليد توافقيات وبالتالي تشوه موجتي التيار والفولتية. بالإضافة الى تقليل عامل القدرة، تقليل الفولتية، زيادة الخسائر في المنظومة وزيادة التحميل سنودي الى زيادة التوافقيات (Harmonics)، وبالتالي تؤدي الى حدوث اشتغال خاطئ لأجهزة الحماية [16].

ان قيمة الممانعة المنظورة من قبل مُرَجَلَة المسافة تتأثر بشكل كبير نتيجة للتوافقيات الموجودة في التيار والفولتية مما يؤدي الى سوء الاداء والاشتغال الخاطئ لمرجلة المسافة نتيجة لهذه التوافقيات. يمكن حساب قيمة التيار والفولتية التي تحدد قيمة الممانعة المنظورة، كما مبينه في المعادلة (2،1)

$$|V_{rms}| = \sqrt{V_1^2 + (|V_i||_{h=5})^2 + (|V_i||_{h=7})^2 + \dots} \quad (1)$$

$$|I_{rms}| = \sqrt{I_1^2 + (|I_i||_{h=5})^2 + (|I_i||_{h=7})^2 + \dots} \quad (2)$$

ولكي يتم حساب الممانعة المنظورة من قبل مُرَجَلَة المسافة يتم استخدام المعادلة ادناه.

$$Z_{relay} = \frac{|V_{rms}| \angle \theta}{|I_{rms}| \angle \phi} \quad \dots \dots \dots (3)$$

حيث تمثل V_{rms} ، I_{rms} ، الفولتية والتيار مضمنه معهما التوافقيات الموجودة، بينما تمثل Z_{relay} ، الممانعة المنظورة من قبل مُرَجَلَة المسافة. نتيجة لهذا التوافقيات التي يتم حقنها في منظومة التوزيع تؤدي الى حدوث بعد المدى (Over Reach) لمرجلة المسافة، وكذلك يؤثر على تحديد موقع العطل، ولذلك لابد من وضع الحلول اللازمة لتفادي هذه التأثيرات.

لبيان تأثير اضافة المركبات الكهربائية على أداء مُرَجَلَة المشافة في منظومة توزيع مقترحة مكونة من عموميين يتم دراسة مجموعة من الحالات، في بداية الامر يتم إجراء التمثيل الحاسوبي للمنظومة المقترحة وبحمل ثابت لبيان الحالة الطبيعية للمنظومة، ومن ثم يتم دراسة مجموعة من الحالات لغرض بيان التأثير، اضافة 30 مركبة، 50 مركبة، 75 مركبة، الحالات التي تمت دراستها مبينة ادناه.

1- الحالة الطبيعية للمنظومة بدون اضافة المركبات الكهربائية، مع تغير قيمة مقاومة العطل (0-15 أوم) وتغير موقع العطل بنسبة من 5% الى 80%، وإجراء العطل طور مع الارضي (Line to Ground Single) وتسجيل قيم المقاومة (R) الفعالة (X).

2- اضافة 30 مركبة كهربائية وإعادة السيناريو للحالة الاولى.

3- اضافة 50 مركبة وإعادة السيناريو للحالة الاولى.

في هذه الورقة البحثية سوف يتم التحقق من تأثير اضافة محطات شحن المركبات الكهربائية السريعة (Fast Charging Station FCS) على مُرَجَلَة المسافة في منظومة التوزيع، باستخدام برمجيات (MATLAB/SIMULINK)، ومن ثم تصميم مُرَجَلَة تكيفية باستخدام شبكات الذكاء الاصطناعي (Artificial Neural Networks ANNs).

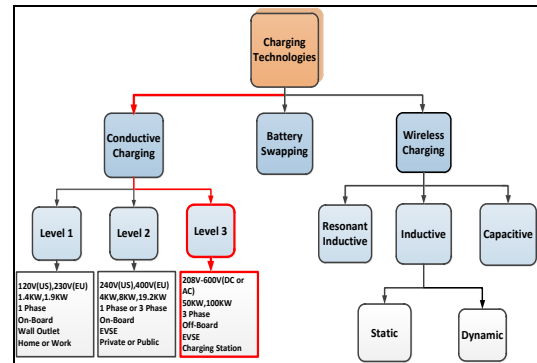
تم تقسيم هذه الورقة البحثية الى ثمانية اقسام، القسم الاول المقدمة، القسم الثاني المبادئ الاساسية لمرجلة المسافة، القسم الثالث تقنيات الشحن المختلفة، القسم الرابع تكوين الشاحن، والقسم الخامس تأثير محطة الشحن على خصائص مُرَجَلَة المسافة، القسم السادس شبكات الذكاء الاصطناعية، القسم السابع نتائج المحاكاة والقسم الثامن الاستنتاجات.

2. المبادئ الاساسية لمرجلة المسافة

إن الهدف الاساسي لمرحلات المسافة حماية خطوط النقل وبالتالي حماية وضمن سلامة المنظومة الكهربائية [9]. تعتمد مُرَجَلَة المسافة في عملها على الممانعة المقاسة في لحظة العطل، يتم ادخال كل من اشارة الفولتية والتيار الى مُرَجَلَة المسافة بشكل مستمر، تعمل المُرَجَلَة بصورة مستمرة على قياس الممانعة، في الحالة الطبيعية، تكون الممانعة المنظورة من قبل المُرَجَلَة اكبر من ممانعة الضبط للمُرجلة، ولهذا لا يحدث إي اشتغال للمُرجلة. وعند حدوث عطل معين، فإن الممانعة المنظورة من قبل مُرَجَلَة المسافة تكون اقل من الممانعة التي تم ضبط مُرَجَلَة المسافة عليها، وبذلك تعمل المُرَجَلَة على اتخاذ القرار واصدار اشارة الاقالات الى قاطع الدورة لفصل الجزء المعطوب عن الشبكة [10][11]. لكن هنالك عوامل اخرى تؤثر على عمل المُرَجَلَة، مثل مقاومة العطل، وانظمة نقل التيار المتردد المرنة (FACTS) [12]. أيضا اضافة محطات شحن المركبات الكهربائية تؤدي الى حدوث بُعد المدى (Over Reach) لمرجلة المسافة، وهذا ما سوف يتم دراسته في هذه الورقة البحثية.

3. تقنيات الشحن المختلفة

تتم عملية شحن بطاريات المركبات الكهربائية عن طريق اجهزة الكترونيات القدرة، حيث يتم استخدام تقنيات مختلفة لإجراء عملية الشحن، وهناك العديد من التقنيات المستخدمة في عمليات شحن المركبات الكهربائية، كما مبينه في الشكل (1).

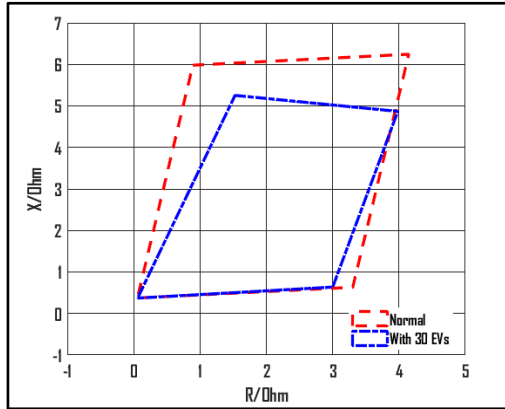


شكل (1) التقنيات المستخدمة في شحن المركبات الكهربائية.

4. تكوين الشاحن

لشحن المركبات الكهربائية، يتم استخدام معدل الفولتية (Rectifier) للحصول على الفولتية المستمرة من اجل شحن البطاريات لخرن الطاقة الكهربائية واستخدامها في امداد المحرك الكهربائي الذي يقود المركبة الكهربائية. هنالك عدة أليات لشحن البطاريات منها، الشواحن ثلاثية واحادية الطور [13]، تصنف أيضاً الشواحن حسب اتجاه القدرة. الشكل (2) يبين شاحن يعمل بالاتجاهين.

يتم اضافة 30 مركبة كهربائية الى منظومة التوزيع، وإعادة نفس السيناريو في الحالة الاولى. الشكل (5) يبين خصائص المُرْجَلة في الحالة الثانية وتأثير اضافة 30 مركبة كهربائية مقارنة بالحالة الاولى.

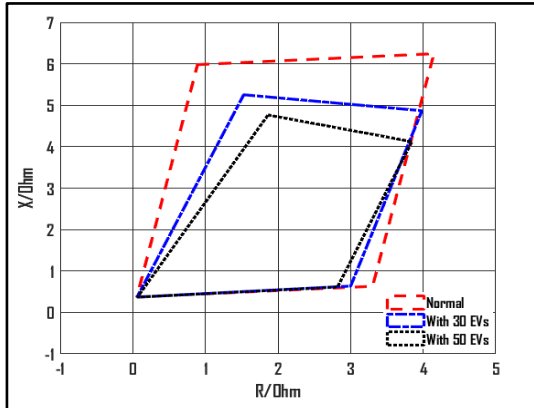


شكل (5) خصائص المُرْجَلة في حالة اضافة 30 مركبة مقارنة بالحالة الطبيعية.

الشكل (5) يبين انه في حالة اضافة 30 مركبة كهربائية يؤدي الى حدوث بعد المدى لمرْجَلة المسافة، اي ان الممانعة المنظورة في حالة وجود المركبات الكهربائية أصبحت اقل من قيمتها في الحالة الطبيعية، وهذا يؤدي الى سوء الاداء ومشاكل في الاختيارية للقواطع التي يجب ان تفصل في لحظة العطل، كذلك الحال بالنسبة لموقع العطل، حيث تكون هناك صعوبة في تحديده، وذلك لان عملية تحديد العطل تعتمد بالاساس على قيمة الممانعة.

الحالة الثالثة:

وبزيادة عدد المركبات الكهربائية إلى 50 مركبة، وإعادة نفس السيناريو في الحالة الاولى، الشكل (6) يبين خصائص المُرْجَلة في الحالة الثالثة وتأثير اضافة 50 مركبة كهربائية مقارنة بالحالة الاولى والثانية.

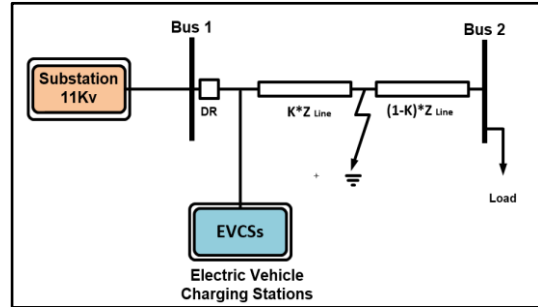


شكل (6) خصائص المُرْجَلة في حالة اضافة 50 مركبة مقارنة بالحالة الطبيعية و30 مركبة.

الحالة الرابعة:

وبزيادة عدد المركبات الكهربائية إلى 75 مركبة، وإعادة نفس السيناريو في الحالة الاولى. الشكل (7) يبين خصائص المُرْجَلة في الحالة الرابعة وتأثير اضافة 75 مركبة كهربائية مقارنة بالحالات السابقة.

4- اضافة 75 مركبة كهربائية وإعادة نفس السيناريو السابق. فيما يلي نموذج المنظومة المقترحة، لبيان تأثير اضافة المركبات الكهربائية على مُرْجَلة المسافة. والموضحة في الشكل (3)، بينما يبين الجدول (1) مقننات المنظومة.



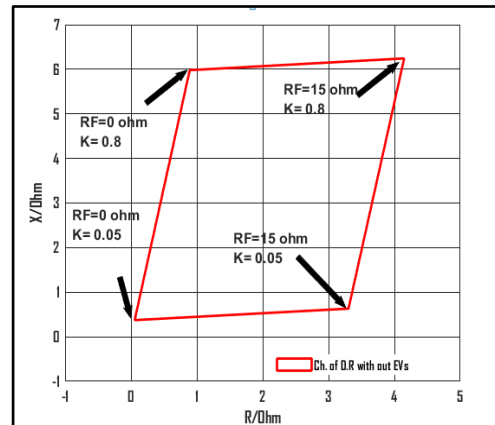
شكل (3) منظومة التوزيع المقترحة لبيان تأثير محطات الشحن.

جدول (1) بيانات المنظومة المقترحة

| Element | Data |
|-------------------|---|
| Substation | 3 Phase, $V_{ph-ph} = 11Kv$, $f=50$ Hz |
| EV capacity | Charging current=75 A, V Battery=450 V, Pin=34 Kw |
| Transmission Line | $[\Omega/Km]=0.0474$, $R_0=[\Omega/Km]=R_1=0.3073$, $L_1[mH/Km]=1.011$, $L_0[H/Km]=0.003476$, $C_1[F/Km]=11.3 * 10^{-9}$, $C_0[F/Km]=8.14 * 10^{-9}$, Line Length = 58.8 Km |
| Load | 3 phase Yg, $V_{ph-ph} = 11Kv$, $f=50$ Hz S=11.2 KVA, PF=0.8944 lag |

الحالة الاولى:

في هذه الحالة يتم تمثيل الشكل (3) باستخدام برمجيات الحاسوب (MATLAB/SIMULINK)، يتم تطبيق العطل طور الى الارض (A-G) عند زمن (t=1.3 sec) وبدون اضافة أي مركبة كهربائية والتي تمثل الحالة الطبيعية للمنظومة. يتم تغير قيمة (K) بمقدار 5% الى 80%، ولقيم متغيرة من مقاومة العطل (0-15 أوم). يتم تسجيل جميع القراءات التي يتم الحصول عليها، والتي تمثل قيمة المقاومة (R/Ohm) والمحاثة (X/Ohm)، ومن ثم رسم خصائص المُرْجَلة المسافية باستخدام قيم المقاومة والمحاثة التي تم الحصول عليها. يبين الشكل (4) خصائص مُرْجَلة المسافية في الحالة الطبيعية.



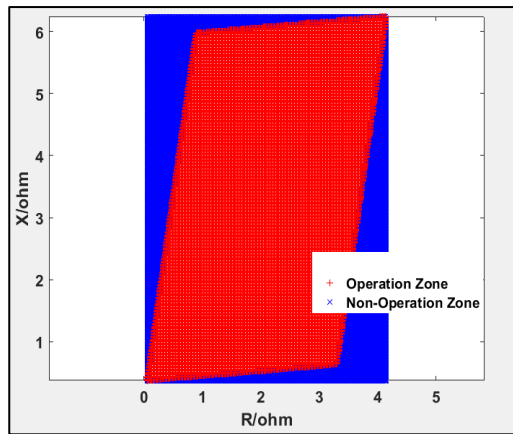
شكل (4) خصائص مُرْجَلة المسافية في الحالة الطبيعية.

الحالة الثانية:

(Function)، وطبقة الإخراج والتي تحتوي على دالة التنشيط نوع (Soft Max) المستخدمة في اكتشاف العطل وإصدار إشارة الافلات، ودالة التنشيط الخطية (Linear) المستخدمة لتحديد موقع العطل. يتم جمع البيانات اللازمة لتدريب الشبكات العصبية من خلال البيانات التي تم جمعها من الحالات التي تمت دراستها أعلاه. فيما يلي كيفية الحصول على البيانات لإستخدامها في عملية التدريب، من أجل الحصول على نموذج الشبكة العصبية المسؤولة عن إصدار إشارة الافلات، واخرى مسؤولة عن تحديد موقع العطل، يتم إجراء عطل طور الى الارض (A-G Fault) لأربعة نقاط من أجل رسم الخصائص لمرحلة المسافة، النقطة الاولى عطل عند 5% من طول الخط المحمي ومقاومة عطل 0 اوم، النقطة الثانية عطل عند موقع 80% ومقاومة عطل 0 اوم، النقطة الثالثة عطل عند موقع 5% ومقاومة عطل 15 اوم، النقطة الرابعة عطل عند موقع 80% ومقاومة عطل 15 اوم. ومن ثم يتم رسم الخصائص للمرحلة باستخدام دوال الماتلاب، بعد ان تم رسم الخصائص للمرحلة، ايضاً باستخدام دوال الماتلاب يتم تحويل هذه الخصائص الى مجموعة من النقاط والتي تمثل قيم (R-X) داخل المنطقة الحمانية الاولى. يتم استخراج هذه القيم بشكل جدول يتكون من عمودين ، العمود الاول قيمة المقاومة، العمود الثاني قيمة المفاعلة، ومن ثم يتم ادخال هذه القيم الى الشبكة العصبية لتكون مجموعة التدريب للكشف عن العطل اذا كان داخل هذه الخصائص ام خارجها. فيما يلي عمليات التدريب التي جرت على البيانات التي تم استخراجها من كل حالة من الحالات.

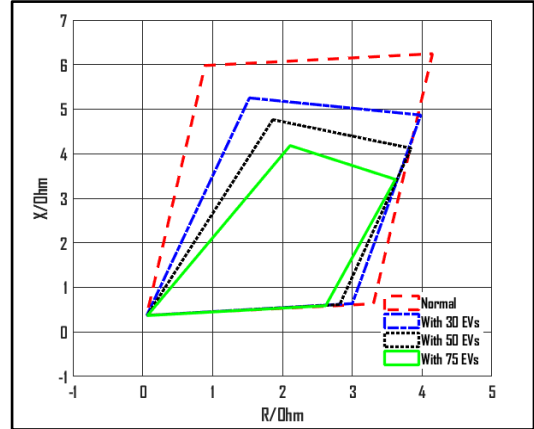
الحالة الاولى:

يتم تحويل خصائص مُرَجلة المسافة في الشكل(4) الى مجموعة من البيانات(Data) كما في الشكل (8)، يتم ادخال هذه البيانات الى الشبكة العصبية لتكون مجموعة التدريب. وبذلك تكون هذه البيانات جاهزة لتدريب الشبكات العصبية الاصطناعية. الشكل (8) يبين خصائص المُرَجلة في الحالة الطبيعية بهيئة نقاط.



شكل (8) خصائص مُرَجلة المسافة في الحالة الطبيعية بهيئة نقاط.

بعد ان تمّ الحصول على مجموعة التدريب (Training Group) باستخدام الماتلاب (MATLAB) يتم تدريب الشبكات العصبية باستخدام خوارزمية خاصة بالتصنيف (Classification) واستخدام خوارزمية (Scaled conjugate gradient)، الجدول (2) يمثل مواصفات الشبكة العصبية التي تعطي افضل النتائج، حيث يمثل العمود الاول من الجدول عدد العصبونات (Neurons) في الطبقة الخفية، العمود الثاني يمثل الخوارزمية المستخدمة للتدريب، العمود الثالث والرابع يمثل نسبة الخطأ للبيانات، بينما يمثل العمود الاخير عدد التكرار لتدريب الشبكة العصبية.



شكل (7) خصائص المُرَجلة في حالة اضافة 75 مركبة مقارنة مع الحالات السابقة.

من خلال الحالات التي تمت دراستها، يلاحظ أنّ خصائص مُرَجلة المسافة في الحالة الطبيعية (Normal) لها شكل معين وكما تم توضيحه في الشكل (4)، لكن عندما تم اضافة 30 مركبة كهربائية يلاحظ أنّ خصائص مُرَجلة المسافة يحدث لها إنكماش، بمعنى آخر تصبح قيمة الممانعة المنظورة لهذه الحالة اقل من قيمة الممانعة المنظورة في الحالة الطبيعية وهذا ما يتم توضيحه في الشكل (5)، ايضاً ومع زيادة عدد المركبات الكهربائية من (30) الى (50) مركبة كهربائية، يلاحظ حدوث انخفاض في قيمة الممانعة المنظورة ايضاً مقارنة بالحالات السابقة، وهذا ما يسمى ببُعد المدى (Over Reach) الذي يحدث لمُرجلة المسافة. يمثل الشكل (7) جميع الحالات التي تمت دراستها لغرض بيان تأثير اضافة المركبات الكهربائية على اداء مُرَجلة المسافة، يتبين أنّ اضافة المركبات الكهربائية في المنظومة يؤدي الى حدوث بعد المدى لمُرجلة المسافة، ولكي تعمل هذه المُرَجلة بشكل صحيح يجب أن يتم تكيف خصائص هذه المُرَجلة حسب عدد المركبات المتصلة بالشبكة، الحالة الطبيعية، اضافة 30 مركبة كهربائية، 50 مركبة كهربائية، 75 مركبة كهربائية في بحثنا هذا.

6. شبكات الذكاء الاصطناعية (ANN)

شبكات الذكاء الاصطناعية هي فرع من فروع الذكاء الاصطناعي (Artificial Intelligent AI)، يمكن تعريف الذكاء الاصطناعي على أنه محاكاة الكمبيوتر لعملية التفكير البشري [17][18]. تعد الشبكات العصبية ذات التغذية الامامية

(Feed Forward Neural Network FNN)

احدى تقنيات الشبكات الاصطناعية، ويتم وصف هذه التقنية بالمعادلة(4).

$$Y = F(\sum_{i=1}^n I_i * w_i) \dots\dots\dots(4)$$

تمثل (Y)، الإخراج للشبكة العصبية الامامية. ويمثل (I_i) عدد الإدخالات لهذه الشبكة، بينما يمثل (w_i) الاوزان الخاصة بالانحياز لخلايا الشبكة العصبونية. يتم تدريب الشبكات العصبية على مجموعة من البيانات، وذلك للحصول على شبكة عصبية تستطيع التنبؤ بالحالات الاخرى التي لم يتم التدرّب عليها. تعتمد نسبة الخطأ للتدريب في الشبكات العصبية على نوع الخوارزمية التي يتم فيها تدريب الشبكات العصبية، نوع دالة التنشيط (Activation function)، عدد الخلايا العصبية، وعدد الطبقات الخفية لهذه الشبكات[19].

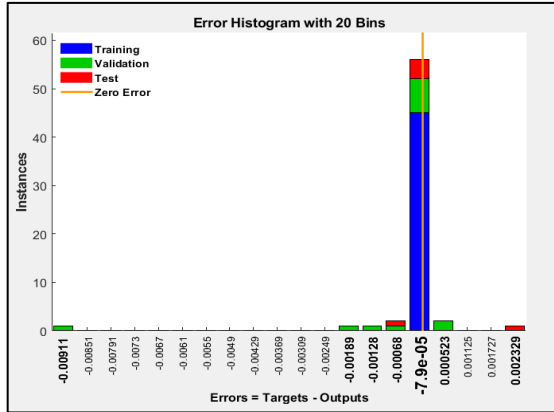
يتم استخدام شبكة عصبية ذات تغذية أمامية مكونه من طبقتين، الطبقة الخفية مع دالة التنشيط نوع (Sigmoid

العمود الثالث يمثل نسبة الخطأ للبيانات، العمود الرابع يمثل الانحدار والذي يمثل قوة ترابط البيانات للتنبؤ بالبيانات التي لم يتدرب عليها، بينما يمثل العمود الأخير عدد التكرار لتدريب الشبكة العصبية. تم الحصول على مجموعة التدريب الخاصة بتصحيح الخطأ لحاصل في عملية تحديد الموقع وكانت نتائج تدريب الشبكة العصبية كما مبين ادناه.

جدول (3) وصف افضل تدريب للشبكة العصبية لحالة تحديد موقع العطل في الحالة الطبيعية.

| Number of hidden neurons | Training algorithm | Mean Squared Error(MSE) | Regression (R) | Epoch |
|--------------------------|---------------------|-------------------------|----------------|-------|
| 10 | Levenberg-Marquardt | 6.5e-9 | 1 | 590 |

يبين الشكل (11) الرسم البياني للخطأ (Error Histogram)، والذي يتم من خلاله التعرف على نسبة الخطأ للبيانات التي تم تدريب الشبكة العصبية عليها في الحالة الطبيعية بدون اضافة المركبات الكهربائية.



شكل (11) الرسم البياني للخطأ في الحالة الطبيعية.

الحالة الثانية:

يتم تحويل الخصائص التي تم الحصول عليها في حالة اضافة 30 مركبة في المنظومة وكما مبينه في الشكل (5)، هذه الخصائص يتم تحويلها ايضاً الى بيانات ليتم تدريب الشبكة العصبية عليها، وبعد الحصول على البيانات تم تدريب الشبكة العصبية والحصول على مواصفات الشبكة العصبية كما مبين في الجدول (4).

جدول (4) وصف افضل تدريب للشبكة العصبية لحالة كشف العطل في حالة اضافة 30 مركبة.

| Number of hidden neurons | Training algorithm | Cross-entropy Error | Error | Epoch |
|--------------------------|---------------------------|---------------------|--------|-------|
| 20 | Scaled conjugate gradient | 0.0042 | 9.6e-4 | 408 |

الاشكال (12) و(13) يتم من خلالها عرض مصفوفة الارتباك (Confusion Matrix) التي تبين دقة الشبكة العصبية في التنبؤ والتي تكون دقتها الكلية (99.9%)، وافضل اداء (Best validation performance) للشبكة العصبية في اتخاذ القرار من اجل اصدار اشارة الافلات الى قاطع الدورة في حالة اضافة 30 مركبة كهربائية.

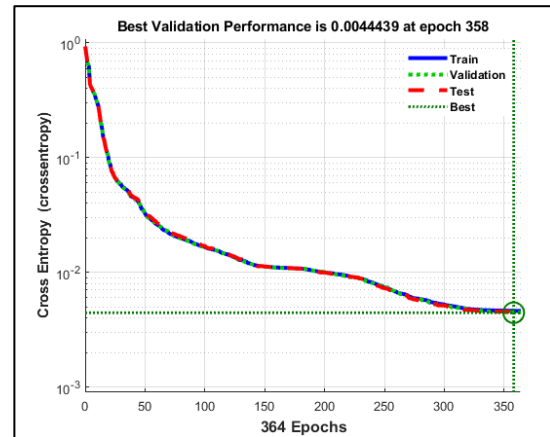
جدول (2) وصف افضل تدريب للشبكة العصبية لحالة كشف العطل في الحالة الطبيعية.

| Number of hidden neurons | Training algorithm | Cross-entropy Error | Error | Epoch |
|--------------------------|---------------------------|---------------------|--------|-------|
| 40 | Scaled conjugate gradient | 0.0046 | 0.0009 | 364 |

الاشكال (9) و(10) يتم من خلالها عرض مصفوفة الارتباك (Confusion Matrix) التي تبين دقة الشبكة العصبية في التنبؤ والتي تكون دقتها الكلية (99.9%)، وافضل اداء (Best validation performance) للشبكة العصبية في اتخاذ القرار من اجل اصدار اشارة الافلات الى قاطع الدورة.

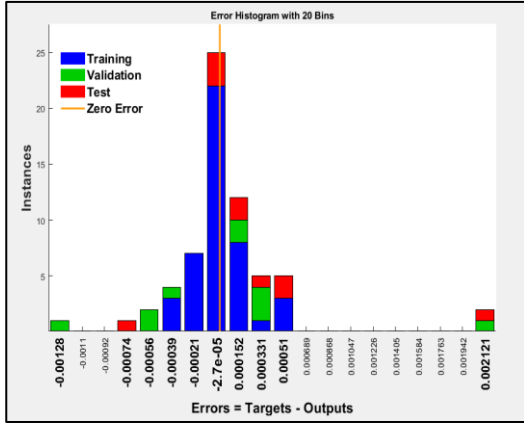


شكل (9) مصفوفة الارتباك في الحالة الطبيعية.



شكل (10) افضل اداء للتحقق من الصحة للشبكة العصبية في الحالة الطبيعية.

نتيجة لتأثير مقاومة العطل سوف يحدث خطأ في عملية تحديد موقع العطل في الحالة الطبيعية، ولهذا يجب ان يتم تصحيح هذا الخطأ عن طريق استخدام الشبكات العصبية، وفي هذه الحالة تم استخدام خوارزمية (Levenberg-Marquardt)، وعن طريق استخدام قيمة الممانعة (Z)، والزاوية للممانعة، الجدول (3) يمثل مواصفات الشبكة العصبية التي تعطي افضل النتائج، حيث يمثل العمود الاول من الجدول عدد العصبونات (Neurons) في الطبقة الخفية، العمود الثاني يمثل الخوارزمية المستخدمة للتدريب،



شكل (14) الرسم البياني للخطأ عند اضافة 30 مركبة كهربائية.

الحالة الثالثة:

يتم تحويل الخصائص التي تم الحصول عليها في حالة اضافة 50 مركبة في المنظومة وكما مبينه في الشكل (6)، هذه الخصائص يتم تحويلها ايضاً الى بيانات ليتم تدريب الشبكة العصبية عليها، وبعد الحصول على البيانات تم تدريب الشبكة العصبية والحصول على مواصفات الشبكة العصبية كما مبين في الجدول (6).

جدول (6) وصف افضل تدريب للشبكة العصبية لحالة كشف العطل في حالة اضافة 50 مركبة.

| Number of hidden neurons | Training algorithm | Cross-entropy Error | Error | Epoch |
|--------------------------|---------------------------|---------------------|---------|-------|
| 10 | Scaled conjugate gradient | 0.0025 | 3.44e-4 | 307 |

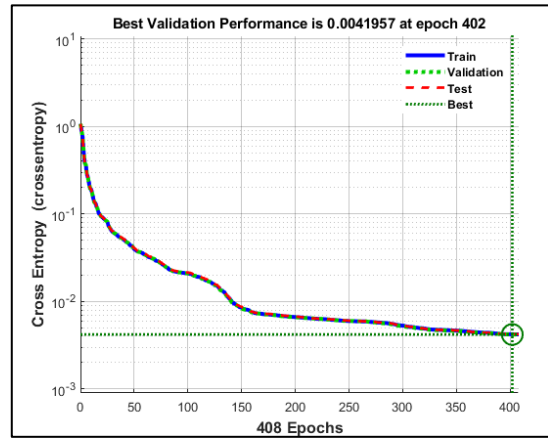
الاشكال (15) و(16) يتم من خلالها عرض مصفوفة الارتباك (Confusion Matrix) التي تبين دقة الشبكة العصبية في التنبؤ والتي تكون دقتها الكلية (100%)، وافضل اداء (Best validation performance) للشبكة العصبية في اتخاذ القرار من اجل اصدار اشارة الافلات الى قاطع الدورة في حالة اضافة 50 مركبة كهربائية.



شكل (15) مصفوفة الارتباك في حالة اضافة 50 مركبة.



شكل (12) مصفوفة الارتباك في حالة اضافة 30 مركبة.



شكل (13) افضل اداء للتحقق من الصحة للشبكة العصبية في حالة اضافة 30 مركبة.

في حالة اضافة المركبات الكهربائية تحدث حالة بعد المدى لمُرَجلة المسافة، كما مبين في الشكل (5)، مما يؤدي حدوث خطأ في عملية تحديد موقع العطل، يتم استخدام الشبكات العصبية لتصحيح هذا الخطأ، وبنفس الطريقة في الحالة الاولى يتم الحصول على مجموعة التدريب. فيما يلي النتائج التي تم الحصول عليها من تدريب الشبكات العصبية كما مبينة في الجدول (5).

جدول (5) وصف افضل تدريب للشبكة العصبية لحالة تحديد موقع العطل عند اضافة 30 مركبة.

| Number of hidden neurons | Training algorithm | Mean Squared Error(MSE) | Regression (R) | Epoch |
|--------------------------|---------------------|-------------------------|----------------|-------|
| 10 | Levenberg-Marquardt | 3.79e-8 | 1 | 155 |

يبين الشكل (14) الرسم البياني للخطأ (Error Histogram)، والذي يتم من خلاله التعرف على نسبة الخطأ للبيانات التي تم تدريب الشبكة العصبية عليها في الحالة الطبيعية عند اضافة 30 مركبة كهربائية.

يتم تحويلها أيضاً الى بيانات ليتم تدريب الشبكة العصبية عليها، وبعد الحصول على البيانات تم تدريب الشبكة العصبية والحصول على مواصفات الشبكة العصبية كما مبين ادناه.

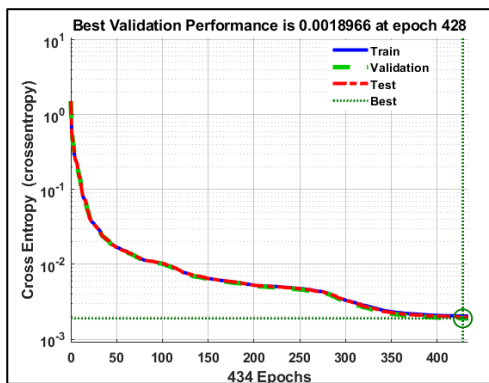
جدول (8) وصف افضل تدريب للشبكة العصبية لحالة كشف العطل في حالة اضافة 75 مركبة.

| Number of hidden neurons | Training algorithm | Cross-entropy Error | Error | Epoch |
|--------------------------|---------------------------|---------------------|----------|-------|
| 50 | Scaled conjugate gradient | 0.002 | 3.46 e-4 | 434 |

الاشكال (20) و(21) يتم من خلالها عرض مصفوفة الارتباك (Confusion Matrix) التي تبين دقة الشبكة العصبية في التنبؤ والتي تكون دقتها (100%)، وافضل اداء (Best validation performance) للشبكة العصبية في اتخاذ القرار من اجل اصدار اشارة الاقلام الى قاطع الدورة في حالة اضافة 75 مركبة كهربائية.

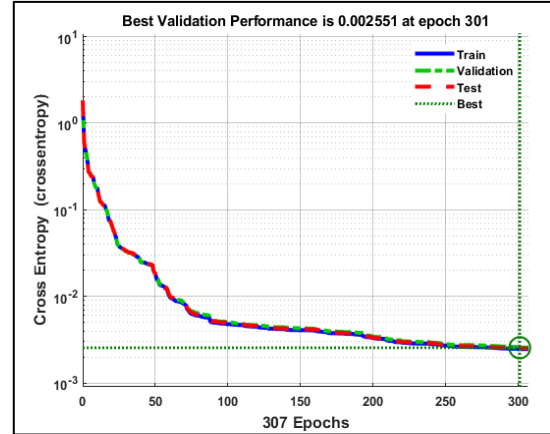
| Training Confusion Matrix | | | Validation Confusion Matrix | | |
|---------------------------|---|-----------------|-----------------------------|--------|------|
| Output Class | 0 | 241740 39.8% | 90 0.0% | 100.0% | 0.0% |
| Output Class | 1 | 120 0.0% | 364811 60.1% | 100.0% | 0.0% |
| Target Class | 0 | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 0.0% |
| Target Class | 1 | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 0.0% |
| Test Confusion Matrix | | | All Confusion Matrix | | |
| Output Class | 0 | 52013 40.0% | 13 0.0% | 100.0% | 0.0% |
| Output Class | 1 | 18 0.0% | 77976 60.0% | 100.0% | 0.0% |
| Target Class | 0 | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 0.0% |
| Target Class | 1 | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 0.0% |

شكل (20) مصفوفة الارتباك في حالة اضافة 75 مركبة.



شكل (21) افضل اداء للتحقق من الصحة للشبكة العصبية في حالة اضافة 75 مركبة.

عند اضافة 75 مركبة كهربائية تتغير خصائص مُرَجلة المسافة ايضا، كما موضحة في الشكل (7)، بالتالي يؤدي الى صعوبة تحديد الموقع نتيجة بعد المدى الذي يحدث لمرحلة المسافة، ايضا يتم استخدام نفس السيناريو السابق لتصحيح هذا الخطأ، وبعد



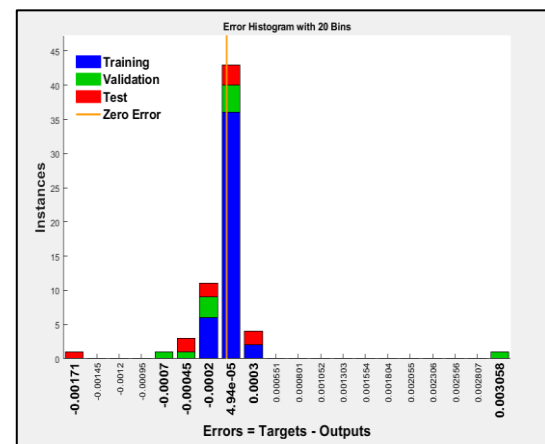
شكل (16) افضل اداء للتحقق من الصحة للشبكة العصبية في حالة اضافة 50 مركبة.

عند اضافة 50 مركبة كهربائية تتغير خصائص مُرَجلة المسافة كما موضحة في الشكل (6)، بالتالي يؤدي ايضا الى صعوبة تحديد الموقع نتيجة بعد المدى الذي يحدث لمرحلة المسافة، ايضا يتم استخدام نفس السيناريو السابق لتصحيح هذا الخطأ، وبعد اجراء التدريب للشبكة العصبية، وبطريقة الخطأ والصواب للحصول على اقل نسبة خطأ ممكنة، تم الحصول على المواصفات التالية للشبكة العصبية المستخدمة لتصحيح الخطأ في تحديد موقع العطل، وكما مبينة في الجدول (7).

جدول (7) وصف افضل تدريب للشبكة العصبية لحالة تحديد موقع العطل عند اضافة 50 مركبة.

| Number of hidden neurons | Training algorithm | Mean Squared Error | Regression (R) | Epoch |
|--------------------------|---------------------|--------------------|----------------|-------|
| 12 | Levenberg-Marquardt | 6.44e-9 | 1 | 323 |

يبين الشكل (17) الرسم البياني للخطأ (Error Histogram)، والذي يتم من خلاله التعرف على نسبة الخطأ للبيانات التي تم تدريب الشبكة العصبية عليها في الحالة الطبيعية عند اضافة 50 مركبة كهربائية.



شكل (19) الرسم البياني للخطأ عند اضافة 50 مركبة كهربائية.

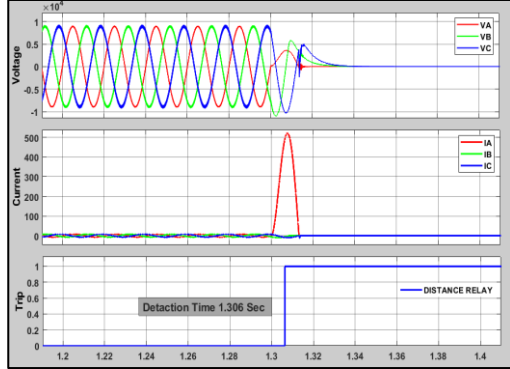
الحالة الرابعة:

ان الخصائص التي تم الحصول عليها في حالة اضافة 50 مركبة في المنظومة وكما مبينه في الشكل (7)، هذه الخصائص

بعد اكمال تدريب الشبكات العصبية على مجموعات التدريب لكل حالة من الحالات التي تم ذكرها سابقاً، والحصول على افضل المواصفات للشبكة العصبية، في هذا القسم سوف يتم اختبار المُرجلة المسافية في حالة حدوث العطل الارضي (SLG)، لإصدار اشارة الافلات (TRIP)، وكذلك تحديد موقع العطل، لكل الحالات التي تمت دراستها.

نتائج الحالة الاولى

يتم تطبيق عطل ارضي (SLG)، ومقاومة عطل (7Ω)، وموقع عطل عند (50%)، وعند الزمن (1.3 sec)، تعتبر هذه الحالة هي الحالة الطبيعية بدون اضافة اي مركبة كهربائية. الشكل (24) يبين تيار العطل الارضي واستجابة مُرجلة المسافة في اصدار اشارة الافلات.



شكل (24) عطل طور الى الارض عند زمن $t=1.3$ sec.

من خلال الشكل (24)، يلاحظ حدوث العطل الارضي من خلال الاول عند زمن (1.3 sec)، نلاحظ ان مرحل الحماية قام بإصدار اشارة الافلات الى قاطع الدورة وبزمن مقداره (6 msec) لعزل الجزء المعطوب من المنظومة. أما بالنسبة لموقع العطل، سوف يتم عرض جدول يوضح نسبة الخطأ لمجموعة مختلفة لمواقع العطل. يبين الجدول (10) مواقع العطل الفعلية، والمواقع التي تم التنبؤ بها في لحظة العطل، عندما تكون مقاومة العطل (0Ω).

جدول (10) مواقع العطل المختلفة عند قيمة ($RF=0\Omega$) في الحالة الطبيعية.

| Actual fault Loc. | ANN Estimated fault Loc. | %Error |
|-------------------|--------------------------|-----------|
| 5% | 0.050004419 | -0.000442 |
| 15% | 0.149760179 | 0.023982 |
| 25% | 0.249947508 | 0.005249 |
| 35% | 0.359411399 | -0.941140 |
| 45% | 0.449968803 | 0.003120 |
| 55% | 0.549966433 | 0.003357 |
| 65% | 0.650328907 | -0.032891 |
| 75% | 0.750000991 | -0.000099 |
| 80% | 0.799717419 | 0.028258 |

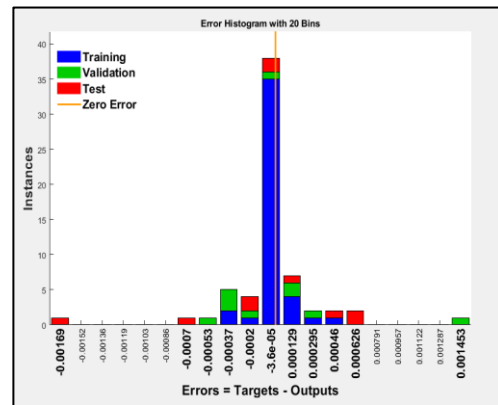
بالنسبة للعطل على بعد 50% من الخط، ومقاومة عطل ($Rf=7\Omega$)، كان موقع العطل المتوقع من قبل مُرجلة المسافة (50.0431%) ونسبة خطأ (0.0431%)، علماً ان المعادلة المستخدمة لإيجاد نسبة الخطأ كما مبينه ادناه. حيث تعتبر هذه النسبة اقل من (5%) وبذلك يكون هذا النموذج ذو دقة عالية في تحديد موقع العطل.

نتائج الحالة الثانية

اجراء التدريب للشبكة العصبية، وبطريقة الخطأ والصواب للحصول على اقل نسبة خطأ ممكنة، تم الحصول على المواصفات التالية للشبكة العصبية المستخدمة لتصحيح الخطأ في تحديد موقع العطل، وكما مبينة في الجدول (9).

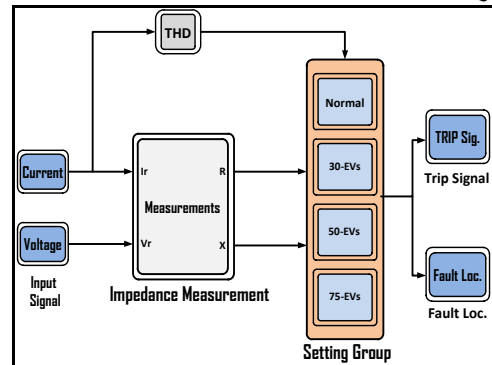
| Number of hidden neurons | Training algorithm | Mean Squared Error(MSE) | Regression (R) | Epoch |
|--------------------------|---------------------|-------------------------|----------------|-------|
| 10 | Levenberg-Marquardt | 1.38e-8 | 1 | 347 |

يبين الشكل (22) الرسم البياني للخطأ (Error Histogram)، والذي يتم من خلاله التعرف على نسبة الخطأ للبيانات التي تم تدريب الشبكة العصبية عليها في الحالة الطبيعية عند اضافة 75 مركبة كهربائية.



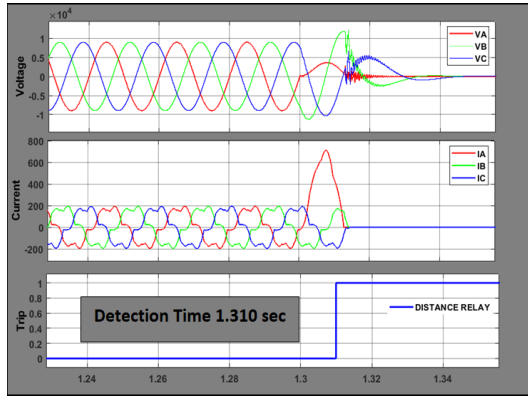
شكل (22) الرسم البياني للخطأ عند اضافة 75 مركبة كهربائية.

يتم تكيف مُرجلة المسافة، وذلك لكي تلائم حالة المنظومة في الحالة الطبيعية وفي ظل وجود المركبات الكهربائية (75,50,30) مركبة. إن اضافة المركبات الكهربائية يؤدي زيادة التشوه التوافقي الكلي (THD)، وعن طريق قياس التشوه التوافقي يتم معرفة اذا كانت هذه المركبات متصلة بالمنظومة. حيث إن مقدار التشوه التوافقي الكلي للمركبات المضافة (18.8%، 20%، 21.6%) على التوالي. وبذلك يتم اختيار الخصائص للمُرجلة المسافية بحيث تناسب حالة المنظومة وتعمل بشكل صحيح في اصدار اشارة الافلات الى تحديد موقع العطل بدقة عالية. الشكل (23) يبين هيكلية مُرجلة المسافة المقترحة.



شكل (23) هيكلية مُرجلة المسافة المقترحة.

7. نتائج التمثيل الحاسوبي



شكل (26) عطل طور الى الارض عند زمن $t=1.3$ sec مع اضافة 50 مركبة.

من خلال الشكل (26)، يلاحظ حدوث العطل الارضي للطور الاول عند زمن (1.3 sec)، نلاحظ ان مرحل الحماية قام بإصدار اشارة الافلات الى قاطع الدورة وبزمن مقداره (10 msec) لعزل الجزء المعطوب من المنظومة. أما بالنسبة لموقع العطل، سوف يتم عرض جداول توضح نسبة الخطأ لمجموعة مختلفة لمواقع العطل في حال اضافة 50 مركبة كهربائية، يبين الجدول (12) مواقع العطل الفعلية، والمواقع التي تم التنبؤ بها في لحظة العطل، عندما تكون مقاومة العطل (0Ω).

جدول (12) مواقع العطل المختلفة عند قيمة ($R_F=0 \Omega$) عند اضافة 50 مركبة.

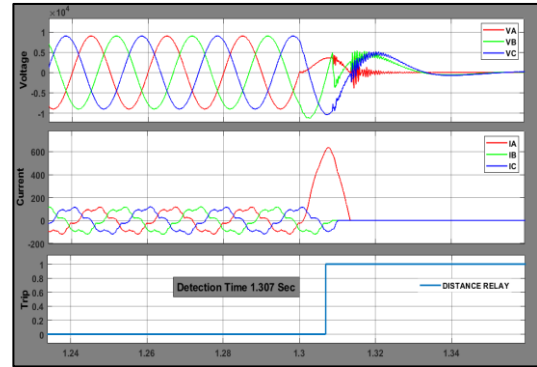
| Actual fault Loc. | ANN Estimated fault Loc. | %Error |
|-------------------|--------------------------|--------------|
| 5% | 0.049999106 | 8.94188 E-05 |
| 15% | 0.149627753 | 0.037224664 |
| 25% | 0.250546802 | -0.054680193 |
| 35% | 0.349997566 | 0.00024336 |
| 45% | 0.450255783 | -0.02557833 |
| 55% | 0.549999035 | 9.65343 E-05 |
| 65% | 0.650042931 | -0.004293094 |
| 75% | 0.749947732 | 0.005226791 |
| 80% | 0.799993721 | 0.000627874 |

بالنسبة للعطل على بعد 50% من الخط ، ومقاومة عطل ($R_f=7\Omega$) واطافة 50 مركبة كهربائية، كان موقع العطل المتوقع من قبل مُرجلة المسافة (49.866%) وبنسبة خطأ (0.133739244%).

نتائج الحالة الرابعة

وبنفس الاسلوب المتبع في الحالة الاولى يتم تطبيق العطل الارضي، يتم عرض النتائج ادناه. الشكل (27) يمثل تيار العطل الارضي واستجابة المُرجلة في حال اضافة 75 مركبة كهربائية.

يتم تطبيق العطل الارضي، يتم عرض النتائج ادناه. الشكل (25) يمثل تيار العطل الارضي واستجابة المُرجلة في حال اضافة 30 مركبة كهربائية.



شكل (25) عطل طور الى الارض عند زمن $t=1.3$ sec مع اضافة 30 مركبة.

من خلال الشكل (25)، يلاحظ حدوث العطل الارضي للطور الاول عند زمن (1.3 sec)، نلاحظ ان مرحل الحماية قام بإصدار اشارة الافلات الى قاطع الدورة وبزمن مقداره (7 msec) لعزل الجزء المعطوب من المنظومة. أما بالنسبة لموقع العطل، سوف يتم عرض جداول توضح نسبة الخطأ لمجموعة مختلفة لمواقع العطل في حال اضافة 30 مركبة كهربائية، يبين الجدول (11) مواقع العطل الفعلية، والمواقع التي تم التنبؤ بها في لحظة العطل، عندما تكون مقاومة العطل (0Ω).

جدول (11) مواقع العطل المختلفة عند قيمة ($R_F=0 \Omega$) عند اضافة 30 مركبة.

| Actual fault Loc. | ANN Estimated fault Loc. | %Error |
|-------------------|--------------------------|--------------|
| 5% | 0.050001405 | -0.000140533 |
| 15% | 0.150094842 | -0.009484205 |
| 25% | 0.24968351 | 0.03164895 |
| 35% | 0.35042466 | -0.042466041 |
| 45% | 0.447789023 | 0.22109772 |
| 55% | 0.549524804 | 0.047519626 |
| 65% | 0.649623016 | 0.03769839 |
| 75% | 0.750060355 | -0.006035455 |
| 80% | 0.799995879 | 0.000412111 |

بالنسبة للعطل على بعد 50% من الخط ، ومقاومة عطل ($R_f=7\Omega$) واطافة 30 مركبة كهربائية، كان موقع العطل المتوقع من قبل مُرجلة المسافة (49.698%) وبنسبة خطأ (0.301%).

نتائج الحالة الثالثة

يتم تطبيق العطل الارضي، الشكل (26) يمثل تيار العطل الارضي واستجابة المُرجلة في حال اضافة 50 مركبة كهربائية.

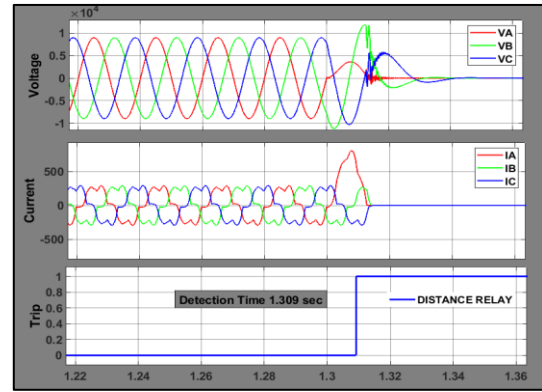
مسيطر عليه. من خلال النتائج يتبين أن إضافة المركبات الكهربائية يؤدي إلى زيادة تيار العطل، زيادة التوافقيات في التيار المسحوب من المنظومة وزيادة التوافقيات في التيار المسحوب. كما إن زيادة عدد المركبات الكهربائية يؤدي إلى سوء الأداء للمرحلة، حيث تكون قيمة الممانعة المنظورة من قبل مرحلة المسافة أقل مقارنة بالحالة الطبيعية، وهذا ما يعرف ببعُد المدى الذي يحدث لمرحلة المسافة، وهذا يؤدي إلى تغير خصائص مرحلة المسافة مع زيادة عدد المركبات الكهربائية المضافة. في هذا البحث تم تصميم مرحلة مسافة ذكية تكيفية بالاعتماد على شبكات الذكاء الاصطناعية لتكييف مع حالة المنظومة، تعمل على تغير خصائصها بالاعتماد على مقدار التشوه التوافقي للتيار، وبهذا يتم اختيار مجموعة التنظيم (Group Setting) المناسبة حسب عدد المركبات المضافة، في هذا البحث تم تصميم المرحلة بالاعتماد على أربع حالات (الحالة الطبيعية، إضافة 30 مركبة، إضافة 50 مركبة، إضافة 75 مركبة كهربائية). من خلال النتائج يتبين صحة المرحلة المقترحة، حيث كانت دقة نموذج الشبكة العصبية (99.9%) في كشف العطل، بينما كانت نسبة الخطأ في تحديد موقع العطل أقل بكثير من الحد المسموح، كانت نسبة الخطأ عند موقع العطل (5%) هي (0.000442%) في الحالة الطبيعية، وعند إضافة 30 مركبة كانت نسبة الخطأ ولنفس الموقع هي (0.00014%)، أيضاً كانت نسبة الخطأ عند إضافة 50 مركبة هي (5% e-8.94)، كذلك الحال بالنسبة للحالة الأخيرة عندما تم زيادة عدد المركبات الكهربائية إلى 75 مركبة، حيث كانت نسبة الخطأ في تحديد الخطأ وعند موقع عطل (5%) هي (0.00079%).

الشكر

يود الباحثون أن يشكروا جميع الذين دعموا هذا العمل. كما يشكر الباحثون جامعة الموصل كلية الهندسة على دعمهم المتواصل لإثراء هذا البحث بما يحتاجه.

المصادر

- [1] C. Gong *et al.*, "Research on influence and resolution of the relay protections with electric vehicle charging station integrating into distribution network," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 29, pp. 18747–18753, 2017, doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.04.181.
- [2] J. Ma, J. Liu, G. Yang, and A. G. Phadke, "Research on regional centralized protection scheme for distribution network integrated with electric vehicles," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 119, p. 105903, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.ijepes.2020.105903.
- [3] M. Nour, J. P. Chaves-Ávila, G. Magdy, and Á. Sánchez-Miralles, "Review of Positive and Negative Impacts of Electric Vehicles Charging on Electric Power Systems," *Energies*, vol. 13, no. 18, p. 4675, Sep. 2020, doi: 10.3390/en13184675.
- [4] M. Utakrue and K. Hongesombut, "Impact Analysis of Electric Vehicle Quick Charging to Power Transformer Life Time in Distribution System," in *ITEC Asia-Pacific 2018 - 2018 IEEE Transp. Expo. Asia-Pacific E-Mobility A Journey from Now Beyond*, 2018, pp. 1–5, doi: 10.1109/ITEC-AP.2018.8433281.
- [5] M. Farhoodnea, A. Mohamed, H. Shareef, and H. Zayandehroodi, "Power quality impacts of high-penetration electric vehicle stations and renewable energy-based generators on power distribution systems," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 46, no. 8, pp. 2423–2434, 2013, doi:



شكل (27) عطل طور الى الارض عند زمن $t=1.3$ sec مع إضافة 75 مركبة.

من خلال الشكل (27)، يلاحظ حدوث العطل الأرضي للطور الأول عند زمن (1.3 sec)، نلاحظ ان مرحل الحماية قام بإصدار إشارة الإفلات إلى قاطع الدورة وبزمن مقداره (9 msec) لعزل الجزء المعطوب من المنظومة. أما بالنسبة لموقع العطل، سوف يتم عرض جداول توضح نسبة الخطأ لمجموعة مختلفة لمواقع العطل في حال إضافة 75 مركبة كهربائية، يبين الجدول (13) مواقع العطل الفعلية، والمواقع التي تم التنبؤ بها في لحظة العطل، عندما تكون مقاومة العطل (0 Ω).

جدول (13) مواقع المختلفة عند قيمة (RF=0 Ω) عند إضافة 75 مركبة.

| Actual fault Loc. | ANN Estimated fault Loc. | % Error |
|-------------------|--------------------------|--------------|
| 5% | 0.049992012 | 0.000798829 |
| 15% | 0.149992395 | 0.000760458 |
| 25% | 0.249988535 | 0.001146482 |
| 35% | 0.350252949 | -0.02529486 |
| 45% | 0.450014705 | -0.00147054 |
| 55% | 0.549961502 | 0.003849778 |
| 65% | 0.650046843 | -0.004684311 |
| 75% | 0.74999662 | 0.000338007 |
| 80% | 0.800637807 | -0.063780653 |

بالنسبة للعطل على بعد 50% من الخط، ومقاومة عطل (RF=7Ω) وإضافة 75 مركبة كهربائية، كان موقع العطل المتوقع من قبل مرحلة المسافة (50.2455641%) وبنسبة خطأ (0.245564093%) من خلال النتائج التي تم عرضها يمكن القول ان مرحلة المسافة المقترحة تكون مناسبة جداً لهذه الحالات، حيث كانت إشارة الإفلات التي تعمل على فتح قاطع الدورة لعزل العطل سريعة، وتراوح زمن الفصل من (6 ملي ثانية – 10 ملي ثانية)، وهذا الزمن يعتبر قليل جداً مقارنة مع المرحلات الرقمية من نوع سيمنز الذي يتراوح زمن الفصل فيها للقطاع الأول (Zone one) بين (20-30) ملي ثانية [20]. وكذلك الحال بالنسبة لتحديد الموقع يعتبر نموذج الشبكة العصبية الخاص بتحديد موقع العطل بدقته العالية وكما موضح في الجداول الخاصة بتحديد موقع العطل اعلاه.

8. الاستنتاجات

في هذه الورقة البحثية تمت دراسة تأثير محطة شحن المركبات الكهربائية على أداء مرحلة حماية المسافة في منظومة التوزيع، حيث تم استخدام شاحن ثلاثي الطور ذو ست نبضات

- [14] P. Richardson, D. Flynn, and A. Keane, "Impact assessment of varying penetrations of electric vehicles on low voltage distribution systems," *IEEE PES Gen. Meet. PES 2010*, pp. 1–6, 2010, doi: 10.1109/PES.2010.5589940.
- [15] L. Wang, Z. Qin, T. Slangen, P. Bauer, and T. van Wijk, "Grid Impact of Electric Vehicle Fast Charging Stations: Trends, Standards, Issues and Mitigation Measures - An Overview," *IEEE Open J. Power Electron.*, vol. 2, pp. 56–74, 2021, doi: 10.1109/OJPEL.2021.3054601.
- [16] A. S. Khraiwish, M. Alshamasin, R. Kassarbeh, Y. Al shibou, Z. Al-Qudah, and M. Al-Busoul, "The Effect of the Harmonics, the Fault Location and the Fault Resistance on the Performance of the Impedance-Type Distance Relay," *Am. J. Appl. Sci.*, vol. 6, no. 4, pp. 788–796, Apr. 2009, doi: 10.3844/ajas.2009.788.796.
- [17] M. Mulholland, D. B. Hibbert, P. R. Haddad, and P. Parslov, "A comparison of classification in artificial intelligence, induction versus a self-organising neural networks," *Chemom. Intell. Lab. Syst.*, vol. 30, no. 1, pp. 117–128, 1995, doi: 10.1016/0169-7439(95)00050-X.
- [18] E. Systemsfer, "Artificial Intelligence and Expert Systems for Engineers," *Artif. Intell. Expert Syst. Eng.*, 2018, doi: 10.1201/9781315137773.
- [19] I. I. Alnaib, A. N. B. Alsammak, and S. Sabry, "Protection Relay Performance Comparison for Faults Detection and Classification Based on ANN and ANFIS," in *Control, Instrumentation and Mechatronics: Theory and Practice*, Z. M. Norhaliza Abdul Wahab, Ed. Springer, Singapore, 2022, pp. 545–555.
- [20] G. Ziegler, *Numerical Distance Protection, Principles and Applications*. John Wiley & Sons, 2011.
- [6] S. Habib, M. Kamran, and U. Rashid, "Impact analysis of vehicle-to-grid technology and charging strategies of electric vehicles on distribution networks - A review," *J. Power Sources*, vol. 277, pp. 205–214, 2014, doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.12.020.
- [7] R. Kumar and D. Saxena, "Impact of Plug-In Electric Vehicles on Faulted Distribution System," *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 45, no. 3, pp. 1599–1614, 2019, doi: 10.1007/s13369-019-04104-1.
- [8] M. Etezadi-Amoli, K. Choma, and J. Stefani, "Rapid-charge electric-vehicle stations," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 25, no. 3, pp. 1883–1887, 2010, doi: 10.1109/TPWRD.2010.2047874.
- [9] A. Nasser and S. Arkan, "Enhancement Effects of the STATCOM on the Distance Relay Protection," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 182, no. 40, pp. 10–14, 2019, doi: 10.5120/ijca2019918461.
- [10] A. N. Alsammak and M. I. I. Abdulhameed, "Performance Improvement for Distance Relay Based Fuzzy Logic for All Prospective Faults," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 05, no. 08, pp. 1489–1495, 2018.
- [11] G. Electric, "MiCOM P40 Agile, Technical Manual," 2017.
- [12] A. N. Alsammak and M. S. A. Janderma, "Design a Fuzzy Distance Relay Including STATCOM Effects," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 06, no. 08, pp. 1072–1078, 2019.
- [13] S. Khudher, I. Aris, M. Othman, and N. Mailah, "Output-Input Hybrid Passive Filter Design for Electric Vehicle Charging Station," *Al-Rafidain Eng. J.*, vol. 26, no. 2, pp. 132–142, Oct. 2021, doi: 10.33899/rengj.2021.129599.1084.

Effect of Electric Vehicle Charging Stations on the Performance of Distance Relay

Wisam M. Najem

wisam.20enp50@student.uomosul.edu.iq

Omar Sh. Alyozbak

o.yehya@uomosul.edu.iq

Shaker M. Khudher

shakeralhyane@uomosul.edu.iq

Electrical Engineering Department, Collage of Engineering, University of Mosul, Mosul, Iraq

Received: 2022-8-15

Received in revised form: 2022-9-18

Accepted: 2022-10-5

ABSTRACT

Distance protection is considered important and essential in power systems. Due to the development of distribution systems and the system's topology change from time to time, integrating electric vehicles into the distribution system leads to an increase in short circuit level and injection of harmonics into the system. Since the vehicles are continuously variable loads, this leads to difficulty in adjusting the protections that depend on the current in the process of adjusting them. As a result, distance protection is used in distribution systems. This paper shows the effect of integrating electric vehicle charging stations on the relay performance of distance protection in the distribution system. Distance protection relay was built based on artificial neural networks adapted to the system conditions. The accuracy of the neural network model used for fault detection was (99.9%), and the error rate in locating the fault was (0.00079%).

Keywords:

Distance Relay, Electric Vehicles, Charging Stations, Artificial Neural Networks

ملحق A

تُثبت المختصرات

| المصطلح بالإنكليزي | المصطلح بالعربي |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| EVs: Electric Vehicles | المركبات الكهربائية |
| V2G: Vehicle to Grid | من المركبة الى الشبكة |
| PQ: Power Quality | جودة القدرة |
| FC: Fast Charging | الشحن السريع |
| FCSs: Fast Charging Stations | محطات شحن المركبات الكهربائية السريعة |
| ANN: Artificial Neural Networks | شبيكات الذكاء الاصطناعي |
| FACTS: AC Flexible Transmission line | اجهزة نقل القدرة المرنة |
| FFN: Feed Forward Neural Network | الشبيكات العصبية ذات التغذية الامامية |
| SLG: Single Line to Ground | عطل طور الى الارض |