

## تصميم وتنفيذ مرحلة تفاضلية بالاعتماد على المتحكم الدقيق لحماية محولات القدرة

### الخلاصة

تواجه الحماية التفاضلية عددا من المصاعب عند استخدامها في حماية محولات القدرة، وأهمها تيار الاندفاع المغناطيسي الذي يظهر عند الحالة العابرة للمحولة. وللتشابه بين هذا التيار وتيار العطل الداخلي الذي يحصل داخل محولة القدرة ويؤدي إلى حصول تشغيل غير صحيح لتلك الحماية، تم استخدام المتحكم الدقيق ليعمل كمرحلة تفاضلية، كذلك ليقوم بالتمييز بين تيار الاندفاع وتيار العطل الداخلي، عن طريق خزن أشكال موجات التيارات والمقارنة بينهما. تم في هذا البحث تصميم وتنفيذ مرحلة تفاضلية عمليا وبرمجيا وفحصها. أثبتت النتائج قابلية المرحلة المصممة على التمييز بين تيارات الاندفاع والعطل الداخلي والخارجي. كما أثبتت النتائج البرمجية، الحصول على أقل زمن للتمييز بين تيار الاندفاع والعطل الداخلي وهو (20 msec). وأثبتت النتائج البرمجية والعملية أيضا بان المرحلة التفاضلية تكون سريعة جدا إذ لايزيد زمن العمل عن (500 msec).

عبد الغني عبد الرزاق عبد الغفور  
الهندسة الكهربائية، جامعة الموصل، العراق  
[drabdulghani2010@yahoo.com](mailto:drabdulghani2010@yahoo.com)

رشا عبد النافع محمد  
التقنية الهندسية، الجامعة التقنية الشمالية،  
العراق.

تاريخ استلام البحث: 2017/3/7  
تاريخ القبول: 2017/10/12  
تاريخ النشر: 2018/12/25

## Design and Implementation of Differential Relay Based on Microcontroller to Protect Power Transformers

### Abstract

Differential protection faces many difficulties when used in protection of power transformers, and the most important of these is the magnetizing inrush current, that appears at the transient state for transformer. Because of the similarity between this current and internal fault current, which occurs in power transformer and leads to false operation for such protection. The micro controller is used to act as a differential relay, as well as to Discrimination between inrush current and internal fault current, by storing forms of current waves and a differential relay was comparing between them. In this paper a differential relay was designed and implemented, and programmatically and practically tested. The results demonstrate the ability designed relay to distinguish between the, inrush currents, internal and external faults. The results prove less time is required to distinguish between inrush, internal and fault currents about (20msec.). The programming and practical results prove also that the differential relay is very fast where the working time does not exceed (500 msec.).

**Key words:** inrush current , differential protection , power transformers protection

كيف تستشهد بهذه المقالة: الهام طالب عبد الحسين ، رشا عبد النافع محمد ، " تصميم وتنفيذ مرحلة تفاضلية بالاعتماد على المتحكم الدقيق لحماية محولات القدرة ، " مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد 36، العدد الخاص ، 25-13، 2018.

### 1. المقدمة

لقد أدى ازدياد الطلب على الطاقة الكهربائية إلى زيادة تعقيد منظومات القدرة الكهربائية التي تتمثل بتكامل الشبكات الكهربائية وتوسعها بشكل يعكس مدى التطور العلمي الحاصل للطاقة الكهربائية ، لقد تطورت مرحلات الحماية من المعدات الكهروميكانيكية مع ملامسات الإفلات إلى المرحلات الرقمية المستندة على المتحكمات، هناك عدة طرق لمنع اشتغال الحماية التفاضلية خلال فترة تيار الاندفاع منها ما هو بسيط حيث يقوم أحيانا بعض مهندسي التشغيل بتعطيل الحماية لمدة ثواني حتى تدخل المحولة للخدمة وينتهي تيار الاندفاع ، ثم يعيدها مرة أخرى . وهذا الحل على بساطته فيه خطورة كبيرة لأنه قد يصادف حدوث عطل حقيقي أثناء بدء دخول المحولة للخدمة ويتسبب هذا في تدمير المحولة لان الحماية معطلة، لذا نستبعد هذا الحل تماما وأحيانا يتم ذلك بطريقة أقل خطورة بتقليل حساسية الحماية لفترة زمنية بعد دخول المحولة للخدمة.

والطريقة الأخرى لحل هذه المشكلة هي طريقة استخدام التوافقية الثانية ( $2^{nd}$  harmonic) لمنع اشتغال جهاز الحماية وسبب اختيار هذه الطريقة هو انه من تحليل إشارات تيارات الاندفاع وجد أنها غنية إلى حد كبير بهذه الدرجة من التوافقيات حيث يمكن ان تصل قيمتها (40:50%) بينما قيمة هذه التوافقية في حالة الأعطال الحقيقية لا تتعدى (7%) وعلى هذا فقد تم عمل مرشح (filter) لاستخلاص قيمة التوافقية الثانية من تيار الاندفاع وبناء على قيمة هذه التوافقية يمكن إرسال إشارة منع اشتغال إذا تعدت قيمة التوافقية الثانية (10:20%) لان ذلك يعني أن هذا التيار المرتفع هو تيار اندفاع وليس نتيجة العطل. إما إذا كانت القيمة صغيرة فعندها يتم إرسال إشارة لقاطع الدورة لفصل المحولة عن العمل. وفي هذا البحث تم استخدام طريقة جديدة هي خزن شكل موجة تيار الاندفاع كطريقة للتمييز بين تيارى الاندفاع والعطل الداخلي عند بداية تشغيل المحولة. وهناك مشاكل عملية أخرى تؤدي إلى تشغيل الحماية في الحالة الطبيعية للمحولة هي وجود فروق بين تيارى الابتدائي والثانوي نتيجة اختلاف عدد لفات الملفين ويمكن حل هذه المشكلة باستخدام قيم مختلفة لل (CTR) في الابتدائي عنه في الثانوي وكذلك بعض المحولات تكون مزودة بما يسمى (Tap changer) وغالبا ما يكون من النوع الذي يستخدم أثناء وجود المحولة بالخدمة (On-load) Tap changer مما يترتب عليه تغيير قيمة تيار الجانب المزود به دون حدوث تغيير في الجانب الأخر وهذا يعالج باختبار (slope) مناسب لتجنب اكبر خطأ متوقع والمشكلة الأخرى تتعلق بطريقة توصيل المحولات الثلاثية Y-Y أم Y- أو Y- وكل طريقة من هذه الطرق تنشأ علاقة بين التيار الابتدائي والثانوي مختلفة في القيمة والاتجاه عن الأخرى وهذا ال (Phase) shift يمكن تجاوز تأثيره بتوصيل محولات التيار Y على شكل والعكس بالعكس.

### 1- تصميم نظام الحماية المستند على المتحكم الدقيق [2]

إن تصميم نظام الحماية المستند على المتحكم الدقيق يتكون من جزأين هما المعدات والبرمجة، وفيما يأتي شرح المخطط الكتلي لنظام الحماية التفاضلية المستند على المتحكم الدقيق الذي يوضحه الشكل (1) والذي يقسم إلى ثلاثة مخططات أساسية هي:



#### I مخطط العزل والإشارة التناظرية

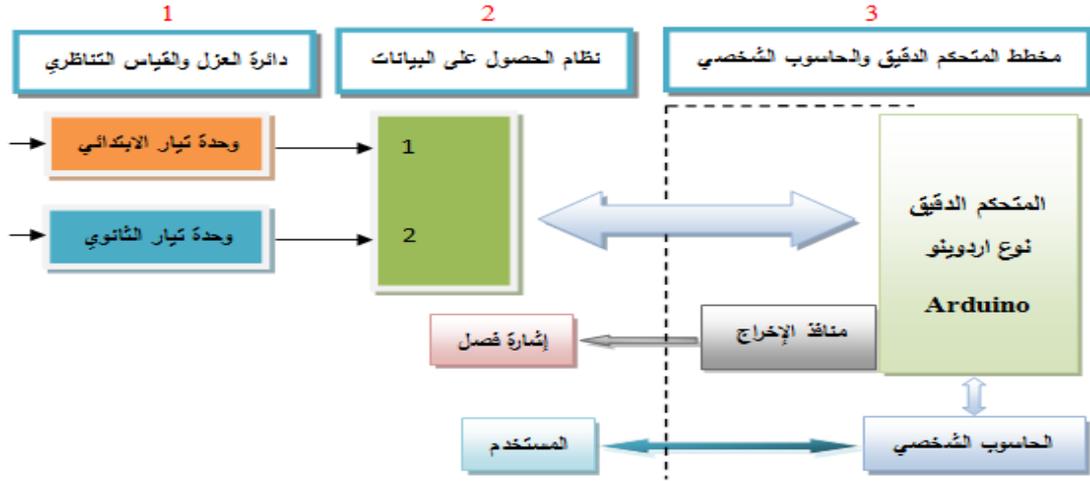
يتكون مخطط العزل والإشارة التناظرية من وحدتين متشابهتين لمعالجة التيار بواسطة محولات التيار من نوع Hall effect current transformer (HECT) التي نستقبل عن طريقها تيار الابتدائي والثانوي للمحولة. وان من فوائد استخدام هذا النوع من محولات التيار هو أن أدائها مميز وتعمل في ترددات عالية مقارنة مع محولات التيار الكهرومغناطيسية (الاعتيادية). وتعطي محولات التيار هذه إشارة فولتية المكافئة لإشارة التيار، لان المتحكم الدقيق يتعامل فقط مع إشارة فولتية.

#### II مخطط الحصول على البيانات

يتكون مخطط الحصول على البيانات للنظام من دائرة المعدات، التي تقطع العينات وتخزينها عند معدل محدد للربط مع الإشارة التناظرية للمتحكم الدقيق. إذ يجب أن تحول الإشارة التناظرية في البداية إلى إشارة رقمية، ثم تعالج بعدها بواسطة (CPU). إذ يمتلك نظام الحصول على البيانات، قناتين للإشارة التناظرية تحول إلى رقمية، ثم يتم الربط لإدخال الإشارات التناظرية إلى (MCUS) للمغير (A/D).

#### III مخطط الحاسوب الدقيق

يتكون مخطط الحاسوب الدقيق (micro computer) للمرحلة من متحكم دقيق نوع (arduino due) مع (12 bit) من شركة (Atmel manufacturing)، الذي تم استخدامه مع الحاسوب الشخصي لبرمجته ومن ثم مشاهدة موجة التيار، ويوفر هذا البورد منافذ لتوصيل المكونات الالكترونية إلى المتحكم مباشرة عن طريق 54 (مدخل/مخرج) من النوع الرقمي من (54) منفذ يوجد (12) منفذ يمكن استخدامها كمخارج من النوع (PWM) pulse width modulation أو ما يعرف بالتعديل الرقمي المستند على تضمين عرض الموجة، وتحوي الدائرة أيضا على هزاز كريستال بتردد (84 MHZ)، فضلا عن مدخل (USB) للتواصل مع الحاسوب.



الشكل (1) المخطط الكتلي لنظام الحماية التفاضلية المستندة على المتحكم الدقيق  
2-نظام البرمجة

يتكون نظام البرمجة من جزأين الأول البرنامج الفرعي وهو المسؤول عن مشاهدة موجة تيار الاندفاع عند لحظة تشغيل المحولة وموجة تيار العطل إذا صادف حدوث عطل مع بداية تشغيل المحولة، وتتم كتابة هذا البرنامج الفرعي باستخدام برمجيات MATLAB. أما الجزء الثاني فهو برنامج رئيسي تمت كتابته باستخدام برنامج (arduino IDE) بلغة (arduino C). ويكون هذا البرنامج مسؤولاً عن التمييز بين تيار الاندفاع والعطل الداخلي عند بداية تشغيل المحولة، والعمل بوصفه حماية تفاضلية في حالة وجود عطل داخلي.

#### I برمجة التمييز بين تيار الاندفاع المغناطيسي والعطل

تيار الاندفاع المغناطيسي هو تيار عابر يظهر في جهة الابتدائي للمحولة عند ربط المحولة بمصدر فولتية، وتكون جهة الثانوي مفتوحة (غير مربوطة بحمل)، إذ يرتفع الفيض إلى ضعف قيمته في الحالة المستقرة، فضلاً عن الفيض المتبقي، لذا سوف تنتشعب المحولة وتسحب تيار عالي قد يصل إلى تيار الحمل المقتن الكامل لمفلات المحولة، وهذا التيار قيمته عالية ويكون كثير التوافقيات على الرغم من انه ينتج من ربط المحولة بالمصدر، لكنه يحدث كذلك لأسباب عديدة منها حدوث عطل خارجي، استعادة الفولتية بعد إزالة العطل الخارجي، تغيير نوع العطل (مثلاً من عطل L-G إلى L-L-G)، ربط المحولة على التوازي مع المحولات التي تكون بالفعل في الخدمة [3].

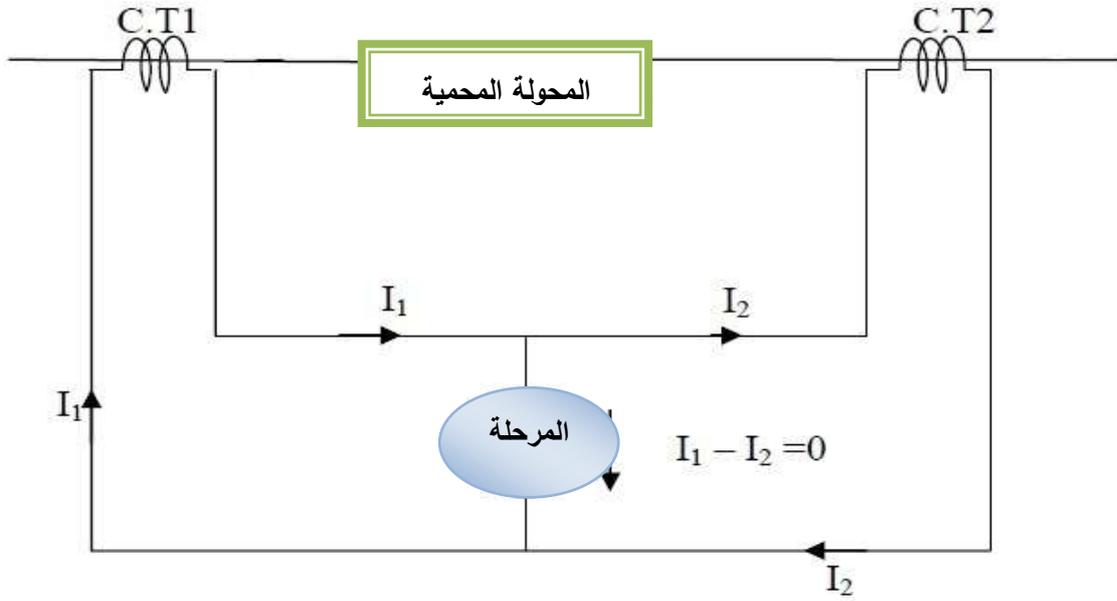
عندما تكون المحولة خارج العمل تبقى كمية من الفيض المتبقي داخل القلب بسبب خواص معدن القلب والفيض المتبقي الذي يمكن أن يكون أكبر من (80-90%) من أعظم فيض تشغيل، بالاعتماد على نوع الفولاذ للقلب [4]. قيمة وشكل تيار الاندفاع يعتمد على عوامل عديدة منها حجم المحولة، وممانعة النظام التي يتم عندها ربط المحولة بمصدر التجهيز، وخصائص المغنطة لمعدن القلب، والمغناطيسية في القلب الحديدي [5].

إن هذا البرنامج الرئيسي يستخدم للتمييز بين تيار الاندفاع والعطل وذلك لمنع الحماية التفاضلية من العمل في حالات التشغيل الطبيعية، وفي هذا البرنامج يتم استخدام طريقة خزن شكل موجة تيار الاندفاع إذ تعتمد هذه الطريقة على حقيقة أن تيار الاندفاع المغناطيسي، هو موجة جيبيه مشوهة يكون فيها الجزء الموجب أكبر من الجزء السالب بأضعاف عديدة أو بالعكس، ويعتمد شكل الموجة على لحظة الإعادة للمحولة، وفي هذا البحث يكون أكبر من خمسة أضعاف أما موجة تيار العطل الداخلي فيكون الجزء الموجب فيها أكبر من الجزء السالب بأقل من خمسة أضعاف أو بالعكس، وفي بعض الأنواع من الأعطال قد يتساوى الجزء الموجب والسالب من الموجة. فإذا كانت نتيجة التمييز وجود عطل يعطي المتحكم إشارة فصل لقاطع الدورة مباشرة لفصل المحولة عن العمل وأما إذا كانت نتيجة التمييز وجود تيار الاندفاع فيحصل تأخير زمني (1 sec) لتمرير موجة تيار الاندفاع ولا تعمل الحماية في هذه الحالة [2].

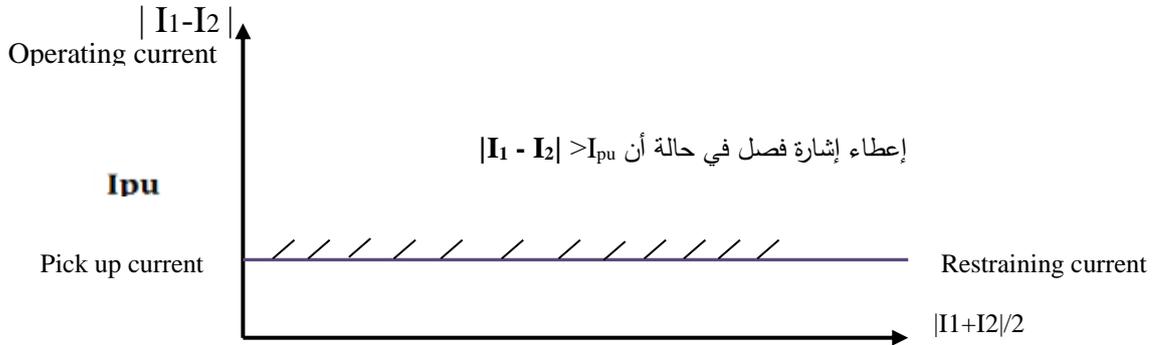
#### II برمجة الحماية التفاضلية

تتميز الحماية التفاضلية بالقابلية على التمييز بين الأعطال داخل المنطقة المراد حمايتها وخارجها، لذا فهي تعرف أحياناً بالحماية الوحدوية، لأنها قادرة على حماية وحدة واحدة من الشبكة فقد تكون هذه الوحدة هي المولدة نفسها وقد تكون المحولة ويمكن أن تكون المولدة والمحولة معاً، وربما كانت احد خطوط النقل، وفي كل الأحوال، فإن المرحلة التفاضلية لن تعمل إلا إذا كان العطل داخل المنطقة المراد حمايتها فقط، ويسمى هذا العطل بالعطل الداخلي [6].

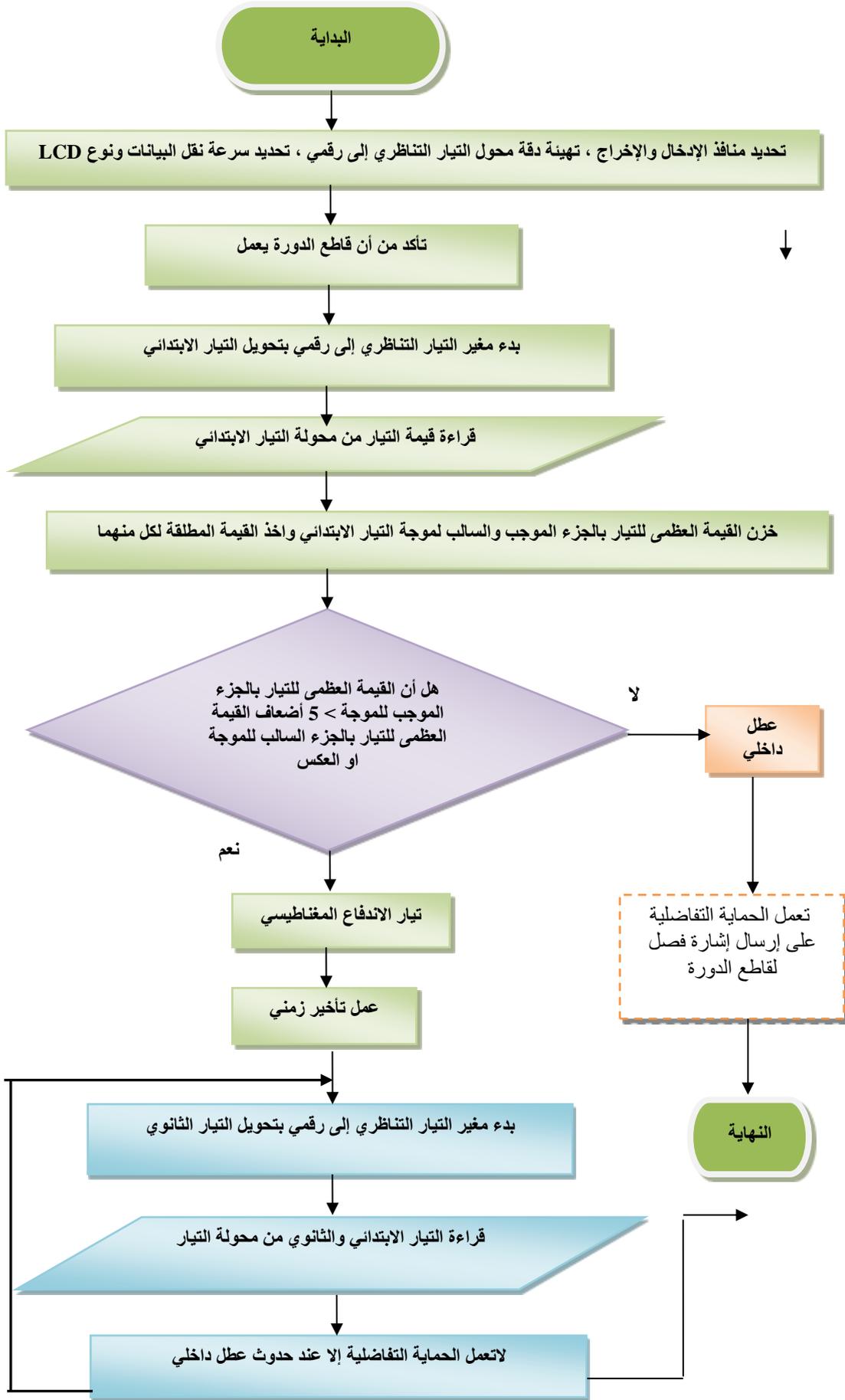
تعتمد فكرة عمل الحماية التفاضلية على عمل مراقبة للمحصلة الاتجاهية لتيارين وتكون هذه المحصلة تقريبا صفر في الحالة الاعتيادية وتزداد هذه القيمة في حالة حدوث عطل، وفي حالة وصول هذه القيمة إلى قيمة الضبط (تيار الالتقاط)، يؤدي ذلك إلى اشتغال المرحلة التفاضلية، التي تقوم بدورها بفصل قاطع الدورة. وتحدد المنطقة المحمية من المرحلة بمحولتي تيار، لانتاثر الحماية التفاضلية بالأعطال الخارجية إذ تتساوى نسبة الزيادة بالتيارين الابتدائي والثانوي [7]. ويوضح الشكل (2-a) المرحلة التفاضلية والشكل (2-b) خصائص المرحلة حيث يتضح بأنه مهما تكون قيمة تيار الكبح  $|I_1+I_2|/2$ ، فإن المرحلة تعمل، ومن ثم فإن خواص المرحلة تتمثل بخط أفقي، إذ تعمل المرحلة عندما تتجاوز قيمة التيار الداخل فيها  $|I_1-I_2|$  قيمة تيار الالتقاط  $I_{pu}$ ، يعرف تيار الالتقاط بأنه أقل تيار يعمل على تشغيل المرحلة [6]. ويوضح الشكل (3) المخطط الانسيابي لنظام الحماية التفاضلية المستند على المتحكم الدقيق.



الشكل (2-a) المرحلة التفاضلية



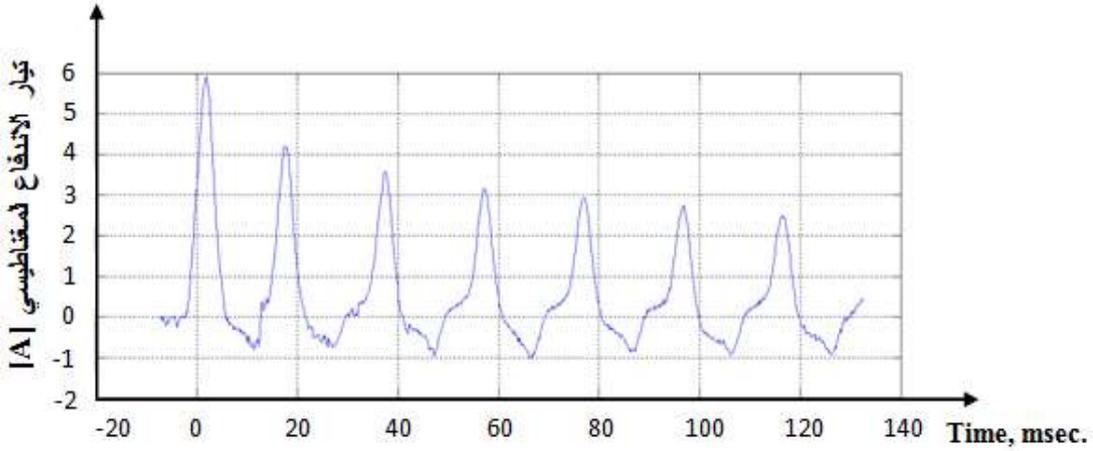
الشكل (2-b) خواص المرحلة التفاضلية



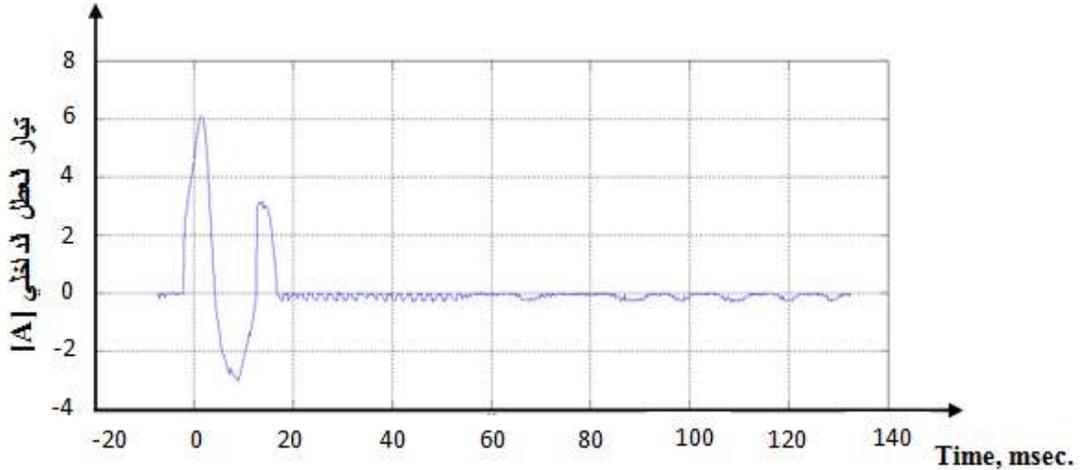
الشكل (3): المخطط الانسيابي لنظام الحماية التفاضلية المستندة على المتحكم الدقيق

## 3-تنفيذ برمجة التمييز وفحصها بين تيارى الاندفاع والعطل الداخلي وتشغيل الحماية التفاضلية

يوضح الشكل (4) موجة تيار الاندفاع التي سجلت بواسطة المرحلة المستندة على المتحكم الدقيق عمليا. عند بداية تشغيل المحولة في الحالة الطبيعية سوف تعطي مرحلة المتحكم الدقيق إشارة إلى شاشة (LCD) لتهيئتها للتشغيل، وعرض عبارة ("inrush") ويوضح الشكل (5) موجة تيار العطل الداخلي التي سجلت بواسطة المرحلة المستندة على المتحكم الدقيق عمليا، لفحص الحماية التفاضلية تعمل دائرة قصر بوصفها عطلاً داخلياً مرة على ملفات الابتدائي ومرة أخرى على ملفات الثانوي. ثم يتم عمل عطل داخلي بين محولة التيار (C.T) ومحولة القدرة مرة من جهة الابتدائي، وأخرى من جهة الثانوي للمحولة من خلال مقاومات ( $2.68\Omega$ ,  $127.5\Omega$ ) على التوالي وهذه المقاومات تم حسابها نظريا، إذ تستعمل بديلاً عن العطل الداخلي بمنطقة الحماية التفاضلية. نلاحظ انه في كل حالة من هذه الحالات، يتم فصل المحولة عن العمل لحظياً نتيجة عمل الحماية التفاضلية ولان العطل حدث داخل منطقة الحماية وعندها يتم إرسال إشارة إلى المنفذ رقم (6) للمتحكم (ويمكن استخدام اي منفذ آخر) لفصل المفتاح (S1) وإعطاء إشارة لشاشة (LCD) لتهيئتها لعرض عبارة ("internal fault"). ولغرض فحص الحماية التفاضلية ووثوقيتها تعمل عطل خارجي من خلال مقاومة قيمتها ( $10\Omega$ ) خارج منطقة الحماية التفاضلية إذ نلاحظ أن المرحلة لا تتأثر بهذا العطل ولا ترسل إشارة لفصل المفتاح (S1) وتبقى المحولة بالعمل.



الشكل (4): موجة تيار الاندفاع المغناطيسي الموجبة المسجلة بواسطة المرحلة المستندة على المتحكم الدقيق

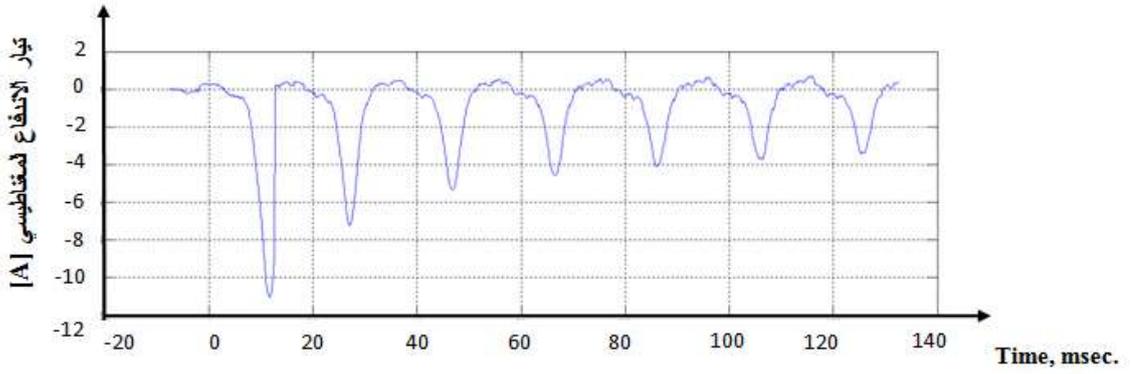


الشكل (5): موجة تيار العطل الداخلي مسجلة بواسطة المتحكم الدقيق

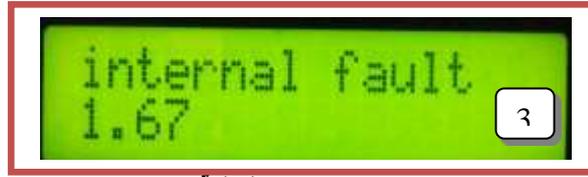
## 4- مناقشة النتائج العملية

في الدائرة العملية المصممة الموضحة في الشكل (6) قمنا بتشغيل المحولة وحصلنا على النتائج العملية كما هو موجود في شاشات العرض (LCDs). وشاشة البرنامج الفرعي (MATLAB)، وتم إجراء حسابات نظرية باستخدام ميل منطقة التشغيل، على وفق ماياتي :

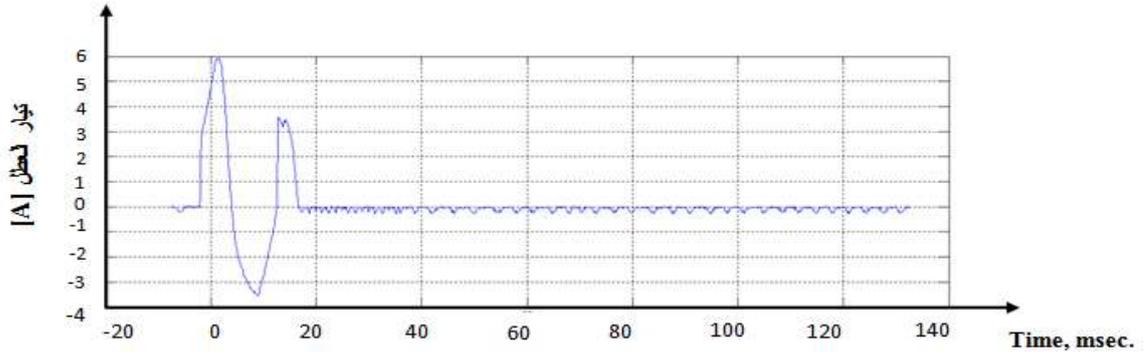




الشكل (8): تيار الاندفاع المغناطيسي



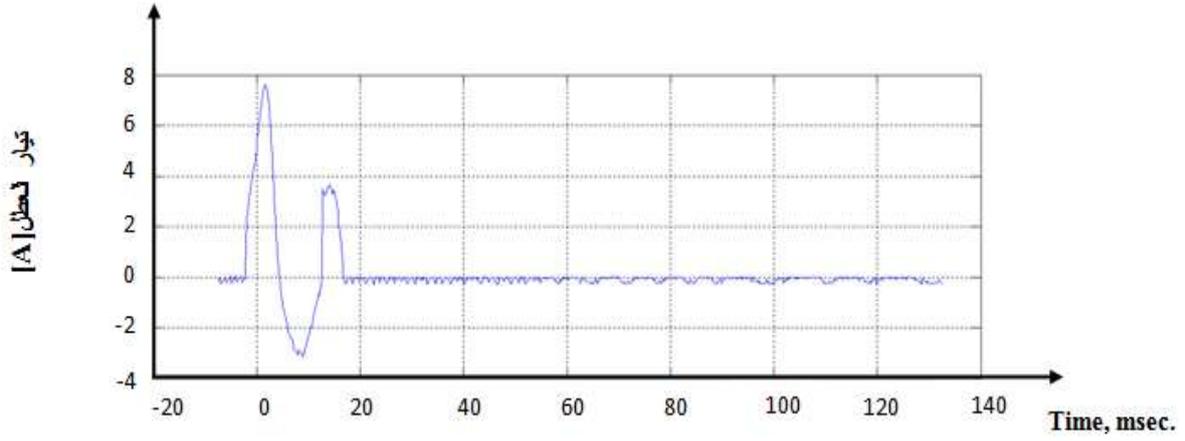
شاشة (3)



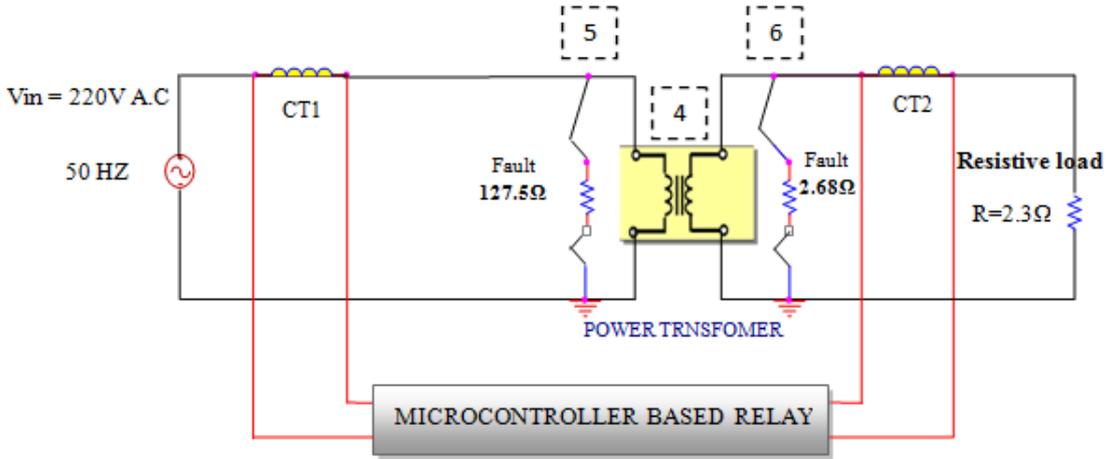
الشكل (9): موجة تيار العطل في حالة وجود دائرة قصر في الملف الابتدائي

III. حالة التشغيل من دون حمل بوجود عطل دائرة قصر بين لفائف الملف الثانوي كما يتضح في الشكل (7). نلاحظ أيضا في هذه الحالة انه عند بداية تشغيل المحولة سوف يتم إرسال إشارة فصل إلى المفتاح (S1) وتخرج المحولة عن العمل بزمن قدره (20 msec.) كما يتضح في الشكل (10)، وتظهر عبارة ("internal fault") كما يتضح في شاشة العرض رقم (4).





الشكل (10): موجة تيار العطل في حالة وجود دائرة قصر في الملف الثانوي  
4- حالة التشغيل بعد إدخال الحمل كما في الشكل (11)

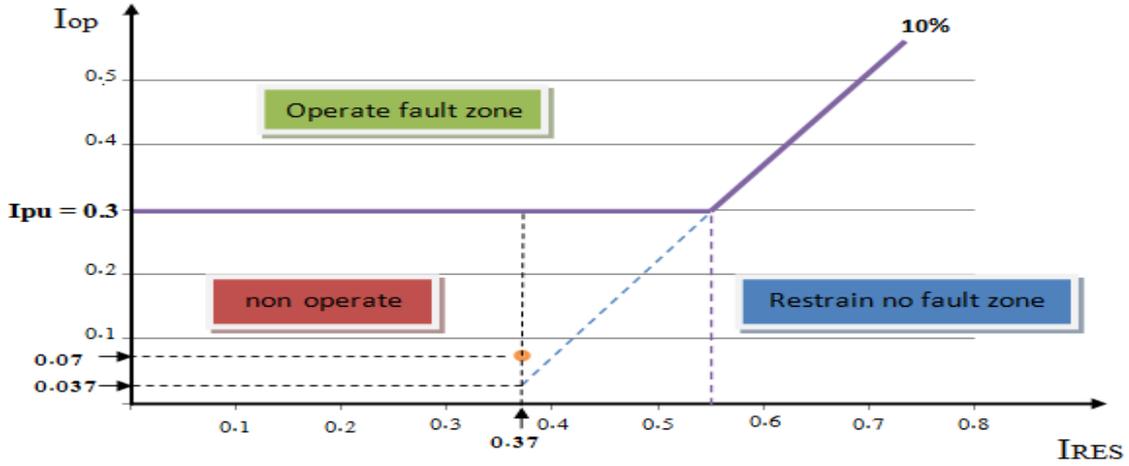


الشكل (11): التشغيل بعد إدخال حمل للمحوّلة

وكانت النتائج العملية التي حصلنا عليها كما في شاشة العرض رقم (5).

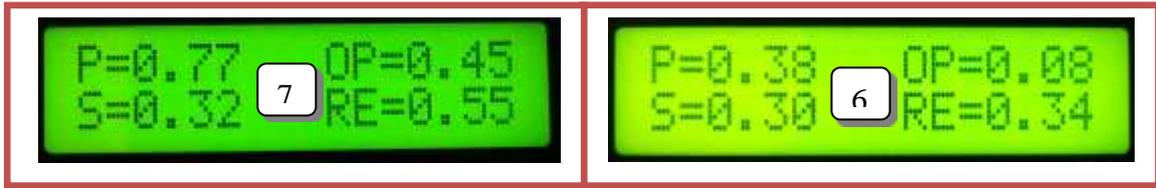


نلاحظ في الشكل (12) أن نقطة التقاطع بين تيار التشغيل والكبح تقع خارج منطقة العمل للمرحلة التفاضلية بحسب خصائص ميل منطقة التشغيل، لذا لا تعمل المرحلة التفاضلية وتبقى المحولة بالعمل.

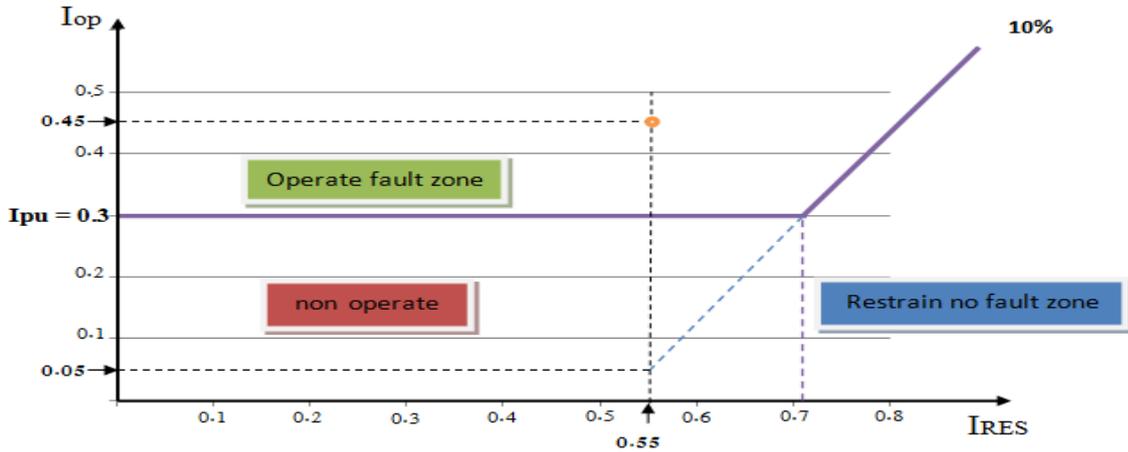


الشكل (12): ميل منطقة التشغيل بوجود حمل للمحولة

5- حالة التشغيل بوجود حمل وعمل عطل داخلي في جهة الابتدائي للمحولة من خلال مقاومة مقدارها  $(127.5\Omega)$ ، كما في الشكل (11). تبين شاشة العرض رقم (6) قيم التيارات في حالة التشغيل بوجود الحمل، وتكون قيمة تيار التشغيل أقل من قيمة تيار الالتقاط، وتبين شاشة العرض رقم (7) قيم التيارات عند لحظة حدوث العطل، ونلاحظ أن قيمة تيار التشغيل أصبحت أعلى من قيمة تيار الالتقاط مما أدى إلى اشتغال المرحلة التفاضلية وخروج المحولة عن العمل.

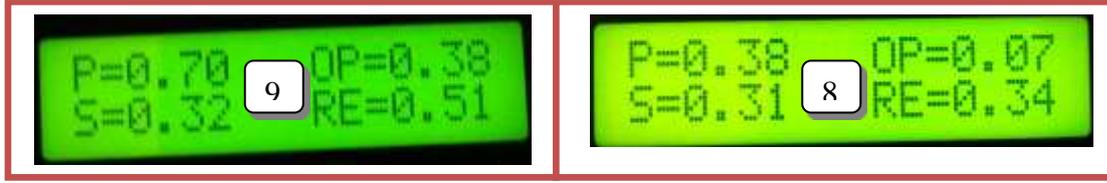


في الشكل (13) إن نقطة التقاطع بين تيار التشغيل والكبح تقع داخل منطقة العمل للمرحلة التفاضلية، بحسب خصائص ميل منطقة التشغيل سوف تعمل المرحلة التفاضلية وتخرج المحولة عن العمل.

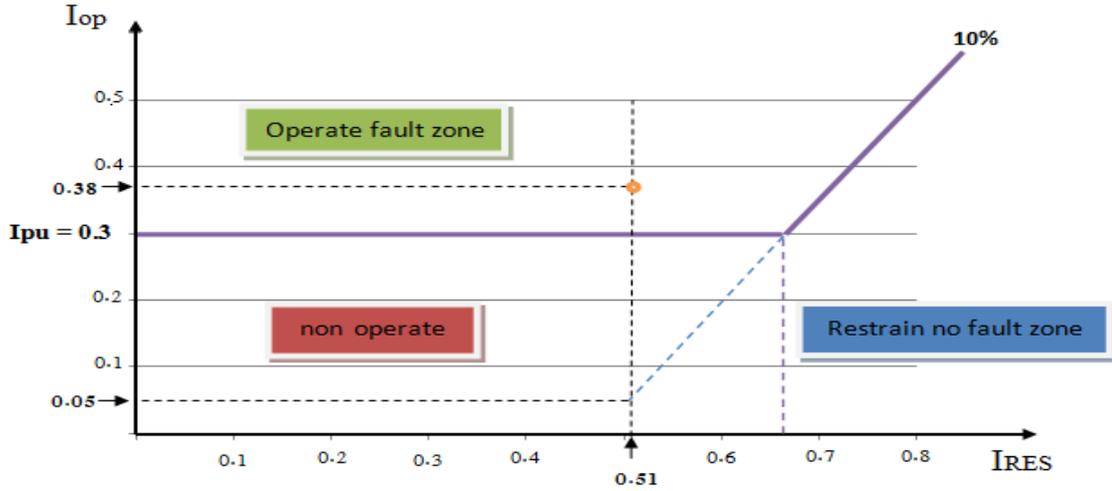


الشكل (13): ميل منطقة التشغيل مع حدوث عطل داخلي في جهة الابتدائي للمحولة

6- حالة التشغيل بوجود حمل وعمل عطل داخلي في جهة الثانوي للمحولة من خلال مقاومة مقدارها  $(2.68\Omega)$ ، كما يتضح في الشكل (11). تبين شاشة العرض رقم (8) قيم التيارات في حالة التشغيل بوجود الحمل، وان قيمة تيار التشغيل أقل من قيمة تيار الالتقاط، وتبين شاشة العرض رقم (9) تبين قيم التيارات عند لحظة حدوث العطل، ونلاحظ أن قيمة تيار التشغيل أصبحت أعلى من قيمة تيار الالتقاط مما أدى إلى اشتغال المرحلة التفاضلية وخروج المحولة عن العمل.

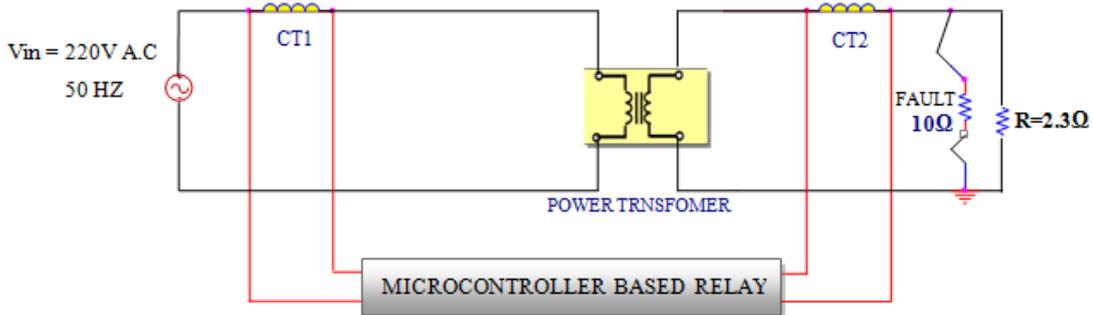


في الشكل (14) إن نقطة التقاطع بين تيار التشغيل والكبح تقع داخل منطقة العمل للمرحلة التفاضلية، بحسب خصائص ميل منطقة التشغيل سوف تعمل المرحلة التفاضلية وتخرج المحولة عن العمل.



الشكل (14): ميل منطقة التشغيل مع حدوث عطل داخلي في جهة الثانوي للمحولة

7- حالة التشغيل بوجود حمل وعمل عطل خارجي في جهة الثانوي للمحولة من خلال مقاومة مقدارها  $(10\Omega)$ ، كما يتضح في الشكل (15).

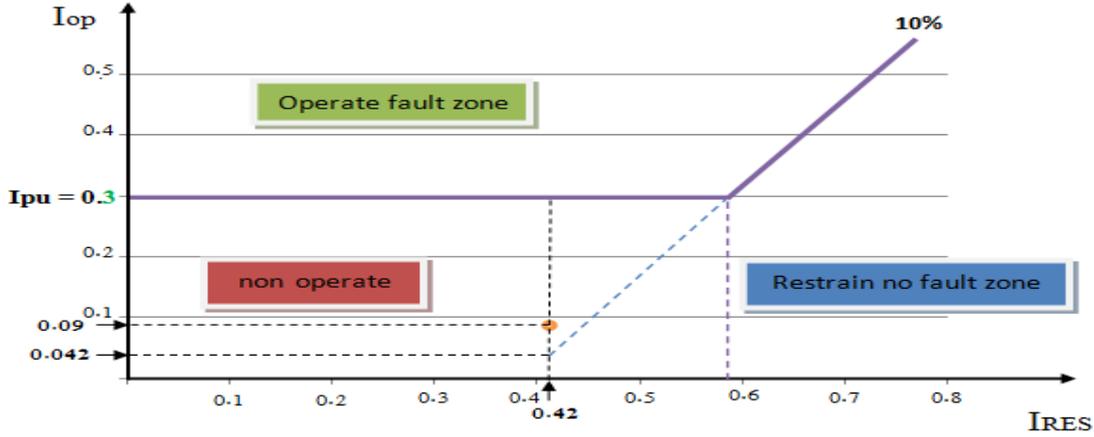


الشكل (15): حالة التشغيل وعمل عطل خارجي في جهة الثانوي للمحولة

تبيين شاشة العرض رقم (10) قيم التيارات في حالة التشغيل بوجود الحمل، وتكون قيمة تيار التشغيل أقل من قيمة تيار الالتقاط، وتبين شاشة العرض رقم (11) قيم التيارات عند عمل عطل خارجي، ونلاحظ أن قيمة تيار الابتدائي والثانوي قد ازدادا بالقيمة نفسها ولم تتجاوز قيمة تيار التشغيل قيمة تيار الالتقاط ولهذا السبب لا تعمل المرحلة التفاضلية وتبقى المحولة في العمل.



نلاحظ في الشكل (16) إن نقطة التقاطع بين تيارى التشغيل والكبح تقع خارج منطقة العمل للمرحلة التفاضلية بحسب خصائص ميل منطقة التشغيل، لذا لاتعمل المرحلة التفاضلية وتبقى المحولة بالعمل.



الشكل (16): ميل منطقة التشغيل بوجود عطل خارجي للمحولة

الجدول يوضح قيم التيارات لكل حالة من حالات التشغيل التي حصلنا عليها من الدائرة العملية المصممة.

جدول (1) قيم التيارات لكل حالة

رقم الحالة	$I_1$ (A)	$I_2$ (A)	$I_{op}$ (A)	$I_{RES}$ (A)	$I_{FP}$ (A)	$I_{FS}$ (A)	$I_{F}$ ext (A)
1	0.25	0	0.24	0.13	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4	0.4	0.33	0.07	0.37	-	-	-
5	0.77	0.32	0.45	0.55	1.75	-	-
6	0.7	0.32	0.38	0.51	-	10.8	-
7	0.46	0.38	0.09	0.42	-	-	2.6

##### 5- الاستنتاجات

أثبتت النتائج العملية بأن المرحلة التفاضلية تستطيع التمييز بين تيارات الاندفاع والعطلين الداخلي والخارجي وتقوم بإعطاء إشارة إفلات عند حدوث العطل الداخلي فحسب، وفي حالة وجود تيار اندفاع تعمل على تأخير زمني، ولا تعمل عند وجود عطل خارجي. كما أثبتت النتائج البرمجية، الحصول على أقل زمن للتمييز بين تيارى الاندفاع والعطل وهو (20 msec.)، أما إذا حدث عطل داخلي فإن المرحلة تعمل لحظياً وتقوم بالفصل، وأثبتت النتائج البرمجية والعملية أيضاً بأن المرحلة التفاضلية تكون سريعة جداً إذ لايزيد زمن العمل عن (500 msec.) .

## 6 المصادر

- [1] أ.د.محمود جيلاني " نظم الحماية الكهربائية علم وفن " كلية الهندسة - جامعة القاهرة, 2006.
- [2] S.M.Bashi, N.Mariun and A. Rafa "Power Transformer Protection Using Microcontroller- Based Relay " Journal of Applied Sciences 7 (12):1602-1607,2007,ISSN 1812-5654.
- [3] R. Bouderbala, H. Bentarzi and A. Ouadi " Digital Differential Relay Reliability Enhancement of Power Transformer " International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing, Issue 3, Volume 5, 2011.
- [4] A. Kulidjian, B. Kasztenny, B. Campbell " New Magnetizing inrush Restraining Algorithm for Power Transformer Protection" Developments in Power System Protection, Conference Publication No.479 , Iee 2001.
- [5] A. K. Al-Khalifah and E. F. El-Saadany " Investigation of Magnetizing Inrush Current in a Single-Phase Transformer " 2006 IEEE. volume 1-4244-0557-2/06/\$2000
- [6] د.عبد الغني عبد الرزاق عبد الغفور " نظم حماية القدرة الكهربائية " دار بن الأثير للطباعة والنشر, كلية الهندسة جامعة الموصل, 2013.
- [7] م.د.احمد صفي الدين " الوقاية من الناحية العملية في محطات التحويل " الشركة المصرية لنقل الكهرباء, 2006.

## قائمة الرموز

الرمز	دلالتة
$I_{F \text{ ext}}$	تيار العطل الخارجي
$I_{pu}$	تيار الالتقاط
$I_1$	تيار الابتدائي للمحولة
$I_2$	تيار الثانوي للمحولة
$i$	تيار المغنطة للمحولة
S1	المفتاح المسؤول عن اشتغال وفصل المحولة
K	نسبة التحويل للمحولة
$I_{op}$	تيار التشغيل
$I_{RES}$	تيار الكبح
$I_{FP}$	تيار العطل الابتدائي
$I_{FS}$	تيار العطل الثانوي
L-G	عطل الطور إلى الأرض
L-L-G	عطل الطور إلى الطور إلى الأرض
p	تيار الابتدائي في شاشة العرض
s	تيار الثانوي في شاشة العرض
op	تيار التشغيل في شاشة العرض
RE	تيار الكبح في شاشة العرض

## قائمة المختصرات

المختصر	دلالته
A/D	محول الإشارة التناظرية إلى رقمية (Analogue to Digital Converter)
CPU	وحدة المعالجة المركزية للمتحكم الدقيق (Central Processing Unit)
MCUS	وحدة المتحكم الدقيق (Micro Controller Units)
LCD	شاشة الكريستال السائل (Liquid Crystal Display)
HECT	محولات تيار نوع التأثير الفراغي (Hall Effect Current Transformers)
PWM	تضمين عرض النبضة (Pulse Width Modulation)
USB	المنفذ التسلسلي العام (Universal Serial Bus)
IDE	بيئة تطوير اردوينو (Integrated Development Environment)
CTR	نسبة تحويل محولة التيار (current transformer ratio)

## مقننات المحولة

تعمل محولة قدرة أحادية الطور بتردد (50 HZ)

أ- القدرة الظاهرية 3KVA

ب- نسبة التحويل  $k = 7$

ج- الملفات الابتدائية

الفولتية المقننة والتيار المسحوب في جهة الابتدائي للمحولة

د- الملفات الثانوية

الفولتية المقننة والتيار المسحوب في جهة الثانوي للمحولة

هـ- ملفات الإثارة

تيار المغنطة

$$V_1 = 220 \text{ V}$$

$$I_1 = 1.6 \text{ A}$$

$$V_2 = 26$$

$$I_2 = 11.25 \text{ A}$$

$$i = 0.54 \text{ A}$$