

## نمذجة الحماية التفاضلية والتعرف على تيارات الاندفاع والعوامل المؤثرة عليها

طالب الماجستير: م. رامي الفارس

كلية الهمك - جامعة البعث

اشراف الدكتور: مظهر عزالدين

### الملخص

يهدف هذا البحث الى دراسة تأثيرات تيار المغنطة على عمل الحماية التفاضلية الخاصة بحماية محولات الطاقة الكهربائية، وذلك من خلال إنشاء نموذج لحماية تفاضلية تحمي

محولة كهربائية باستخدام MATLAB (R2013a)

بالإضافة الى التعرف على مبدأ عمل الحماية التفاضلية وتيارات الاندفاع التي تنشأ في المحولات وأسباب نشوئها واثارها السلبية على المحول وعلى النظام ودراسة العوامل المؤثرة عليها وإجراء تحسين لكل عامل من العوامل المؤثرة ومقارنة مطال تيار الاندفاع قبل التحسين وبعده

### الكلمات المفتاحية:

حماية تفاضلية، محول، تيار الاندفاع، ظاهرة الإشباع، التوافقية الثانية، عطل داخلي، عطل خارجي.

# Modeling of differential protection and identifying the inrush currents and factors affecting them

## Abstract

This research aims to study the effects of inrush current on the differential protection work for the protection of electric power transformers, by creating a model for differential protection that protects an electric transformer using MATLAB (R2013a) In addition, to identify the principle of differential protection and the inrush currents that arise in transformers, the causes of their emergence and their negative effects on the transformer and the system, study the factors affecting them, make an improvement for each of the influencing factors, and compare the amplitude of the inrush current before and after the improvement

## Key word:

Differential protection, transformer, Inrush Current, saturation phenomenon, second harmonic, internal fault, external fault.

## 1- المقدمة:

يعتمد المجتمع الحديث بشكل كبير على الطاقة الكهربائية حيث تبذل جهود كبيرة للحصول على الطاقة الكهربائية بأكبر قدر ممكن وبأفضل جودة ممكنة، وتعد أنظمة الحماية جزءاً مهماً في الأنظمة الكهربائية، حيث تعمل هذه الأنظمة على حماية المنظومة الكهربائية من الأعطال وعزل التجهيزات المصابة بالأعطال عن بقية عناصر الشبكة الكهربائية وزيادة موثوقية الشبكة.

إن الأنظمة الكهربائية تواجه العديد من المشاكل والتحديات، أحد هذه التحديات هي الاضطرابات الحاصلة في الأنظمة الكهربائية عند تنشيط المحولات.

حيث أنه عند تنشيط المحولات وبسبب عدم خطية منحنى المغنطة لنواة المحول ينشأ تيار بمطال كبير وغني بالتوافقيات قد يتسبب بمشاكل كثيرة منها ضرر المحول والنظام المتصل معه وقد يتسبب بعمل خاطئ لأجهزة الحماية ويقلل من جودة الطاقة الكهربائية يعرف هذا التيار بتيار الاندفاع.

وبالتالي فإن دراسة تيارات الاندفاع وكيفية نشوئها والعوامل المؤثرة عليها يعد أمر بالغ الأهمية للحصول على طاقة كهربائية نظيفة وذات موثوقية عالية.

## 2- أهمية وأهداف البحث:

تشكل المحولات والمولدات التجهيزات الأساسية في أنظمة القدرة الكهربائية. تتعرض هذه التجهيزات لحدوث أعطال بشكل أقل بكثير مما تتعرض له الخطوط، ولكن الخسائر الناتجة عن تعرض المحولات والمولدات للأعطال تكون أكثر خطورة من حيث التكلفة وزمن الإصلاح، وبالتالي فإن عزل العطل بسرعة يعد أمراً ضرورياً لتجنب انقطاع التغذية الكهربائية ولتخفيف الأضرار الناتجة عن العطل.

تأتي أهمية البحث من أهمية استثمار محولات الطاقة الكهربائية بأقل عدد ممكن من حالات العمل الخاطئ حيث سيتم دراسة تيارات الاندفاع وما هو أثرها على الحماية التفاضلية للمحولات وإجراء تعديلات على العوامل المؤثرة على تيارات الاندفاع ومقارنة النتائج قبل التعديل وبعده وذلك من أجل تقليل حالات العمل الخاطئ للحماية التفاضلية.

### الحماية التفاضلية:

إن الهدف من أي نظام حماية هو الحفاظ على استقرار النظام الكهربائي والتخفيف من آثار العطل، وذلك عن طريق عزل التجهيزات المعرضة للعطل بسرعة، مع ترك أكبر قدر ممكن من الشبكة في الخدمة، مما يؤدي إلى حصر الأعطال في منطقة محددة وخلال زمن صغير من خلال التنسيق بين عناصر المنظومة.

تعتبر المحولات من أهم عناصر المنظومة الكهربائية وقد انعكس التطور الحاصل في أنظمة الطاقة الحديثة على التقدم في تصميم المحولات، تعد المحولات الكهربائية من أكثر العناصر انتشاراً وتنوعاً في أشكالها وأحجامها ووظائفها ضمن المنظومة الكهربائية، حيث من الممكن أن نجد في الشبكة الكهربائية عشرات المولدات الكهربائية ولكنها تحتوي عشرات الألوف من المحولات ولا يقارنها في هذا الانتشار الواسع سوى الكابلات والخطوط الهوائية، حيث أن هذا التنوع والانتشار الواسع يجعل دراسة محولات الطاقة وحمايتها أمر مهم وضروري جداً، حيث تستخدم الحماية التفاضلية لحماية العناصر الهامة ضمن المنظومة الكهربائية كالمولدات والمحركات ومحولات القدرة وقضبان التجميع والكابلات وخطوط النقل، وتعتبر الحماية الرئيسية لحماية محولات الطاقة الكهربائية لما تتمتع به من حساسية وانتقائية وسرعة وموثوقية.

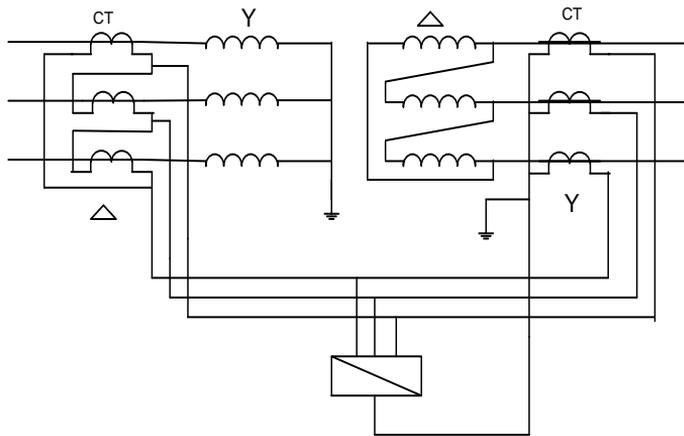
تتميز الحماية التفاضلية بحساسيتها العالية كونها تعمل عند عتبة تيار منخفضة، فهي تستطيع اكتشاف تيار عطل أصغر بعدة مرات من التيار الاسمي للتجهيزة المحمية.

تعمل هذه الحماية بشكل لحظي بمجرد أن يتجاوز التيار المار في دارة القياس التفاضلية قيمة تيار تشغيل الحماية، ولذلك فهي تستخدم دائماً كحماية رئيسية لعناصر المنظومة الكهربائية من أعطال القصر ذات الأثار الضارة جداً على هذه العناصر.

### مبدأ عمل الحماية التفاضلية:

يعتمد مبدأ عمل الحماية التفاضلية على قانون كيرشوف الأول والذي ينص على أن مجموع التيارات الداخلة الى عقدة يساوي مجموع التيارات الخارجة منها حيث تعمل الحماية التفاضلية على مقارنة تيارين لنفس الطور (متساويين في الحالة الطبيعية) يتم قياسهما بواسطة محولي تيار يشكلان حدود منطقة عملها، يجب أن تعمل الحماية التفاضلية فقط عند حدوث عطل في المنطقة الواقعة بين محولي التيار وبالمقابل يجب ألا تعمل عند حدوث عطل خارج هذه المنطقة حتى لو كان قريباً جداً من حدودها.

يبين الشكل التالي مخطط توضيحي للحماية التفاضلية:



الشكل (1): مخطط توضيحي للحماية التفاضلية

في حالة العمل الطبيعي فان التيار الداخل الى منطقة عمل الحماية يكون مساوياً للتيار الخارج منها وبالتالي يكون التيار التفاضلي مساوياً للصفر، عند حدوث عطل ضمن منطقة عمل الحماية فان التيار الداخل لهذه المنطقة لا يساوي التيار الخارج منها ويكون الفرق بين هذين التيارين هو التيار التفاضلي الذي يتسبب بعمل الحماية كونه أكبر من تيار المعاييرة  $I_d = I_{in} - I_{out}$ .

$I_d$ : تيار العطل المقاس أو التيار التفاضلي.

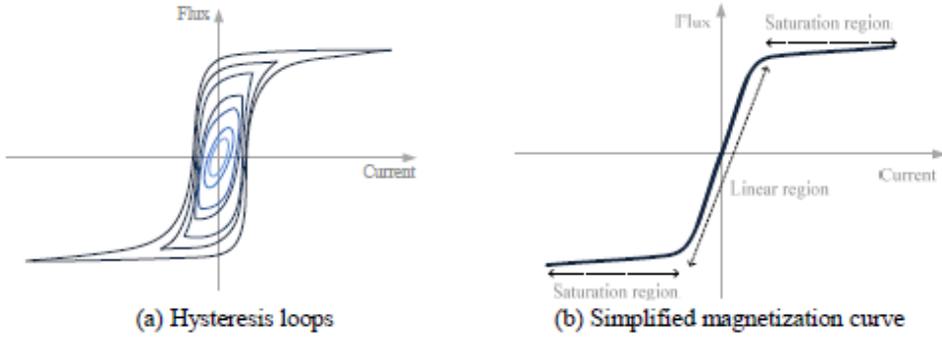
$I_{in}$ : التيار المقاس في بداية منطقة الحماية (التيار الداخل الى منطقة الحماية).

$I_{out}$ : التيار المقاس في نهاية منطقة الحماية (التيار الخارج من منطقة الحماية).

ان مبدأ عمل الحماية التفاضلية يجعلها انتقائية في عزل الأعطال أي أنها لا تحتاج الى تنسيق عملها مع الحماية الأخرى المستخدمة والتي تكون داعمة لها كحمايات زيادة الشدة. تعمل الحماية التفاضلية بشكل لحظي عندما تزيد قيمة التيار التفاضلي عن قيمة حدية تسمى قيمة المعاييرة  $I_d = I_{in} - I_{out} \neq 0$  and  $I_d \geq I_{set}$

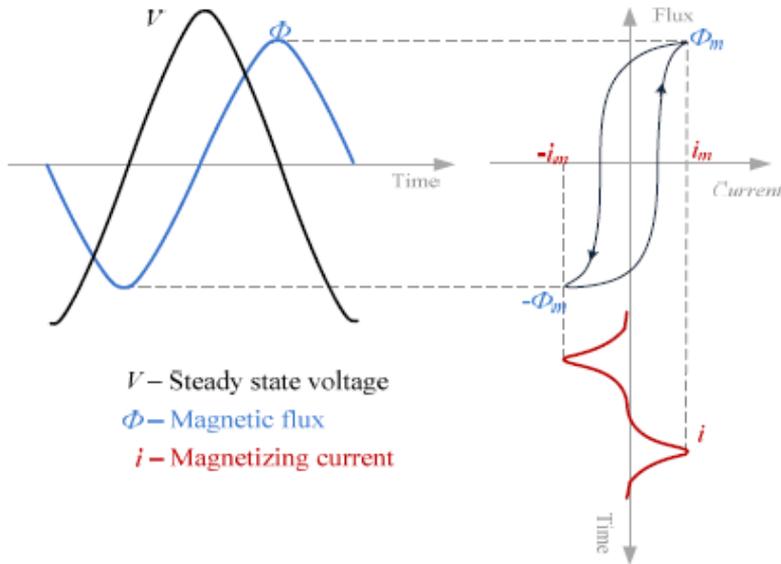
### تيار الاندفاع:

تيار الاندفاع هو شكل من أشكال التيار الزائد ويظهر عند تغذية المحولة بالطاقة الكهربائية وهو تيار عابر حوالي (6-10) أضعاف من التيار الاسمي للمحول ويتلاشى بسبب تأثير التخامد لمقاومة النظام ومقاومة ملفات المحولة حتى يصل الى قيمته المستقرة وينشأ بسبب دخول نواة المحول في مرحلة الإشباع خلال جزء من الدور، حيث أن نواة المحولات تصنع من صفائح الحديد الصلب بخصائص مغناطيسية غير خطية وهذا يؤدي الى ظهور البطء المغناطيسي كما في الشكل (2)، حيث تصمم المحولات لكي تعمل عند النقطة الحدية التي تقع قبل نقطة الانعطاف على منحنى المغنطة للمحول والتي تعد الحد الفاصل قبل مرحلة الإشباع.



الشكل (2): البطاء المغناطيسي

ويوضح الشكل (3) العلاقة بين التوتر المطبق على المحولة والفيض المغناطيسي والتيار المار في الحالة المستقرة حيث يكون تيار المغنطة غير جيبي ويتأرجح بين القيمتين  $\pm im$  وذلك بسبب الخصائص غير الخطية لمنحني المغنطة وتكون قيمة  $im$  حوالي 0.5-2% من التيار الاسمي للمحول.



الشكل (3): العلاقة بين التوتر المطبق والفيض المغناطيسي والتيار المار في الحالة المستقرة

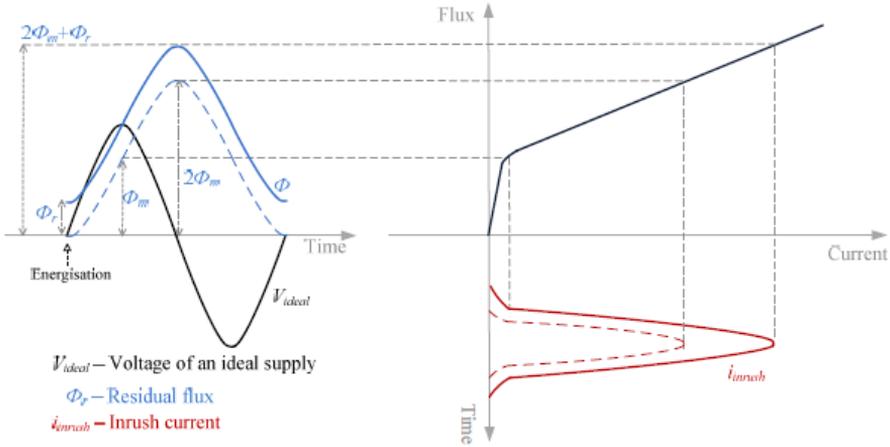
تعطى علاقة التوتر المطبق على المحولة والفيض المغناطيسي بالعلاقة:

$$e = \frac{d\phi}{dt} \quad \dots (1)$$

من خلال إجراء تكامل للطرفين نحصل على الفيض المغناطيسي بالعلاقة:

$$\phi = \int e . dt \quad \dots (2)$$

في حالة العمل الطبيعي للمحولة تكون موجة التوتر المطبق والفيض المغناطيسي منزاحتان عن بعضهما بمقدار  $90^\circ$  وان التشغيل العشوائي للمحولة قد يسبب فيض كبير وغير متناظر وذلك لأنه في الحالة الطبيعية يجب أن تكون قيمة الفيض المغناطيسي في القيمة العظمى السالبة عند مرور موجة التوتر بالصفير ولكن هذا لا يحدث عملياً لأن الفيض قد يبدأ من الصفير أو من قيمة أكبر في حال وجود فيض متبقي في نواة المحول، وان زيادة قيمة الفيض المغناطيسي تستوجب زيادة في قيمة التيار المسحوب ويعرف هذا التيار بتيار الاندفاع.



الشكل (4): نشوء تيار الاندفاع مع وجود فيض متبقي

تعطى علاقة التوتر المطبق على المحولة بالعلاقة:

$$e = E . \sin wt \quad \dots (3)$$

بتعويض (3) في (2) نحصل على:

$$\phi = \int E . \sin wt \quad \dots (4)$$

عندما يكون التوتر المطبق صفر الفيض المتبقي صفر يكون الفيض في نهاية الدورة الأولى:

$$\phi = \frac{E}{w} \int_0^{\pi} w . \sin wt . dt$$

$$= \phi m \int_0^{\pi} \sin wt . d(wt)$$

$$= 2\phi m \quad \dots (5)$$

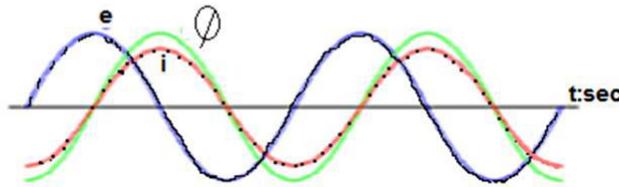
حيث:  $\phi m = \frac{E}{w}$  الفيض الأعظمي في الحالة المستقرة

وفي حال وجود فيض متبقي في نواة المحول تزداد قيمة الفيض المغناطيسي ويزداد معها التيار المستجر بشكل كبير.

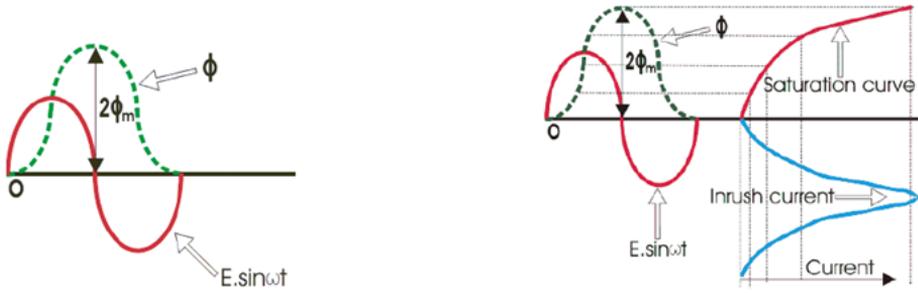
e:voltage

i:current

$\phi$ :flux



الشكل (5): العلاقة بين الفيض والتيار والتوتر المطبق على المحولة



الشكل (6): نشوء تيار الاندفاع بدون وجود فيض متبقي

### حساب تيار الاندفاع:

تعطى معادلة تيار الاندفاع كتابع للزمن بالعلاقة:

$$i(t) = \frac{\sqrt{2} \cdot V_m}{Z_t} \cdot K_w \cdot K_s \cdot \left( \sin(\omega t - \phi) - e^{-\frac{(t-t_0)}{\tau}} \cdot \sin \alpha \right) \dots (6)$$

حيث:  $V_m$ : التوتر الأعظمي المطبق

$Z_t$ : الممانعة الكلية للدائرة أثناء الاندفاع

$\phi$ : زاوية التوتر

$t$ : الزمن -  $t_0$ : اللحظة التي يتم فيها اشباع النواة

$\tau$ : الثابت الزمني لملفات المحول عند شروط الاندفاع

$\alpha$ : تابع ل  $t_0$

$K_w$ : معامل الملف ثلاثي الطور للملفات

$K_s$ : معامل استطاعة قصر الشبكة

ومن أجل تصميم نظام حماية تعد القيمة العظمى هي عامل مهم وفي هذه الحالات يمكن استخدام معادلة مبسطة لحساب قيمة القمة الأولى لتيار الاندفاع:

$$I_{peak} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_m}{\sqrt{(w \cdot L)^2 \cdot R^2}} \cdot \left( \frac{2 \cdot BN + BR - BS}{BN} \right) \dots (7)$$

حيث:  $V_m$ : التوتر الأعظمي المطبق

$L$ : تحريضية النواة

$R$ : المقاومة الكلية للمحولة

$BN$ : كثافة الفيض الاسمي للمحولة

$BR$ : كثافة الفيض المغناطيسي المتبقي في نواة المحول

$BS$ : كثافة الإشباع لمادة النواة

نلاحظ من المعادلتين (6) و (7) ان قيمة تيار الاندفاع تعتمد بشكل أساسي على بارامترات المحولة والظروف التشغيلية.

#### الاثار السلبية لتيارات الاندفاع:

- الضغوط الميكانيكية والكهربائية:

يمكن أن يكون مطال تيار الاندفاع مساوياً لتيار قصر الدارة ويدوم لفترة أطول بدون تخميد كافي في دارة النظام وبالتالي يمكن أن تكون اثاره خطيرة على ملفات المحول بسبب الضغوط الميكانيكية الكبيرة.

وتكون القوى المحورية بسبب تيار الاندفاع أكبر من تلك التي يسببها تيار قصر الدارة، والقوى الشعاعية الناجمة عن تيار الاندفاع أكبر من القوى الشعاعية الناجمة عن تيار القصر بحوالي 3 أضعاف.

• التوافقيات:

ان تيار الاندفاع يحتوي توافقيات من مراتب مختلفة ولكن ما يتم اعتباره منها فقط التوافقية الثانية والثالثة.

أيضاً توجد المركبة المستمرة DC والتي تعد مهمة أثناء الدورات الأولى بالاعتماد على الفيض المغناطيسي:

1- مركبة DC:

يمكن أن تتواجد هذه المركبة دائماً في تيار الاندفاع بقيم مختلفة من أجل كل طور من نظام ثلاثي الطور، تتبع هذه المركبة الفيض المتبقي في النواة بشكل أساسي.

2- التوافقية الثانية:

يحتوي تيار الاندفاع على مركبة التوافقية الثانية، قيمة هذه التوافقية تتبع لدرجة الإشباع في المحولة.

3- التوافقية الثالثة:

هذه المركبة تتعلق أيضاً بالإشباع في النواة المغناطيسية.

4- التوافقيات من مراتب أعلى:

تتواجد هذه التوافقيات بمراتب مختلفة، ولكن قيم هذه التوافقيات تكون صغيرة بشكل كاف لإهمالها.

• سوء تشغيل أجهزة الحماية:

تيار الاندفاع يتسبب بسوء تشغيل لأجهزة الحماية حيث انه عند تنشيط المحول يمر تيار الاندفاع في الملف الأولي للمحول ولا يمر في الملف الثانوي للمحول وهذا قد يتسبب

بعمل خاطئ للحماية التفاضلية وقد يتسبب بفصل خاطئ للقاطع الآلي عند تنشيط المحول بدون حمولة.

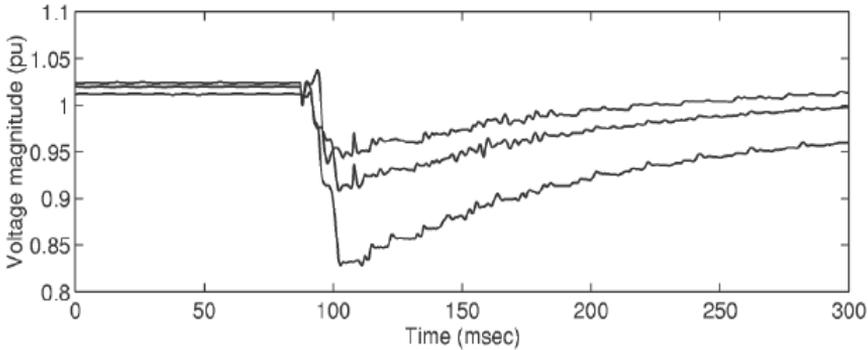
قد يتسبب تيار الاندفاع بإشباع زائد لنواة المحول مما يؤثر سلباً على سلامة المحول.

• هبوط الجهد:

بسبب الممانعة بين منبع التغذية والمحول فإن تيار الاندفاع قد يقود الى هبوط مؤقت في الجهد للنظام الكهربائي.

هذه الانخفاضات يختلف مطالها بين الأطوار الثلاثة وتستغرق وقتاً طويلاً للعودة الى حالة الاستقرار، الشكل (7) يوضح بالقياس قيمة انخفاض الجهد للأطوار الثلاثة لشبكة كهربائية 11 Kv بسبب تنشيط المحولة بدون حمولة، حيث تكون هذه الانخفاضات غير متزامنة في الأطوار الثلاثة (هبوط جهد كل طور يختلف عن الأطوار الأخرى بسبب اختلاف درجات الإشباع)، حيث نلاحظ ان قيمة انخفاض الجهد حوالي 0.17 pu وأنها تحتاج الى فترة زمنية طويلة حوالي 100 ms لتعود الى 50% من قيمتها.

ويعزى هذا البطء في استعادة الجهد الى نسبة L/R في الدارة وتعرف هذه النسبة بثابت التأخير الزمني لتيار الاندفاع.

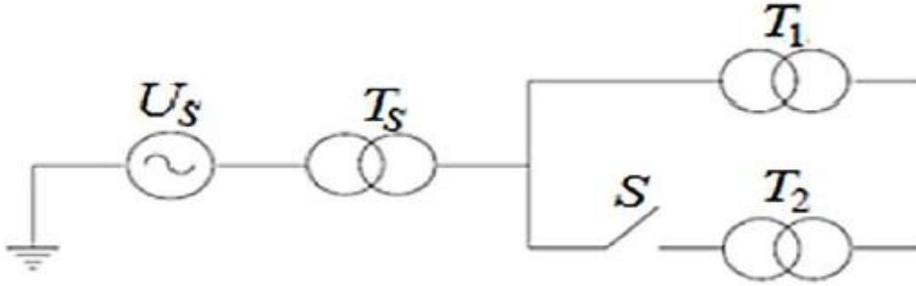


الشكل (7): انخفاض الجهد للأطوار الثلاثة لشبكة كهربائية 11 Kv

• الاندفاع الودي:

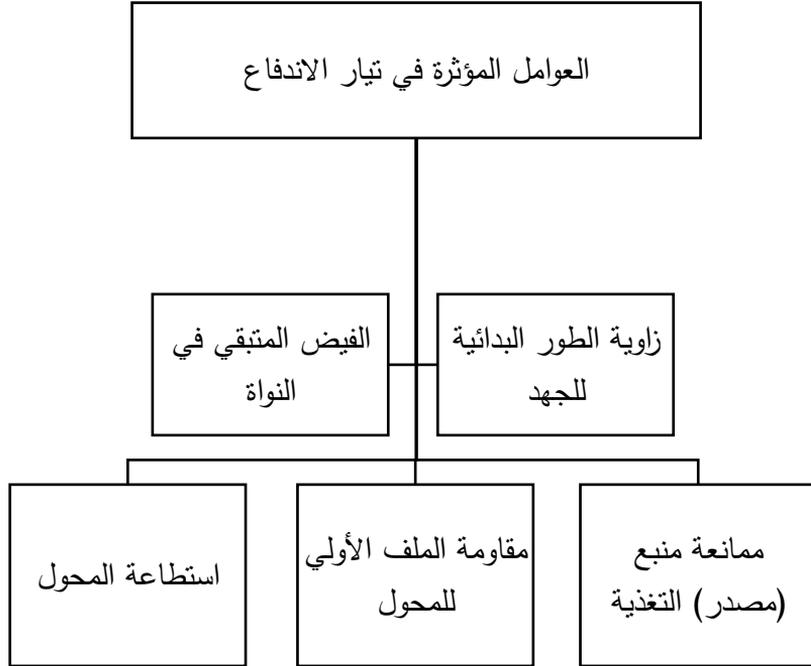
قد يواجه المحول المتصل بنظام طاقة حوادث إشباع غير متوقعة بسبب مرور تيار اندفاع ودي في محول آخر.

يعزى هذا الإشباع المفاجئ الى انخفاض الجهد في النظام الكهربائي بسبب تنشيط محول آخر وتعرف هذه الظاهرة بظاهرة الاندفاع الودي.



الشكل (8): نظام كهربائي يحتوي محولتين على التفرع

### العوامل المؤثرة في تيار الاندفاع:



### تأثير اختلاف زاوية الطور البدائية للجهد:

يتم وصل المحول الى الشبكة بشكل عشوائي وغالباً ما يتم وصلها في اللحظة التي تمر بها موجة الجهد بالصففر، وهذا سوف يؤدي الى فيض مغناطيسي يساوي ضعف القيمة العظمى للفيض في الحالة المستقرة وبالتالي مرور تيار كبير قد يصل الى عشر أضعاف القيمة الاسمية للتيار، وبالتالي فإن اختيار اللحظة المثلى لوصول المحول مع الشبكة هو أمر بالغ الأهمية، كما ستظهر العلاقات التالية:

تعطى علاقة الفيض المغناطيسي بالشكل:

$$\varphi(t) = \varphi m [\cos\theta - \cos(wt + \theta)] + \varphi r \quad \dots (8)$$

$\varphi r$ : الفيض المتبقي في النواة

يمكن كتابة زاوية الجهد  $\theta$  بدلالة زاوية الفيض المغناطيسي حسب العلاقة:

$$\theta = \alpha + \frac{\pi}{2} \quad \dots (9)$$

بتعويض قيمة  $\theta$  بالعلاقة (8):

$$\varphi(t) = \varphi m \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) - \varphi m \cos\left(wt + \alpha + \frac{\pi}{2}\right) + \varphi r \quad \dots (10)$$

بالاستفادة من قوانين الدائرة المثلية:

$$\varphi(t) = -\varphi m \sin\alpha + \varphi m \sin(wt + \alpha) + \varphi r \quad \dots (11)$$

في حال كانت زاوية الجهد  $\theta = 0$  تكون قيمة الفيض:

$$\varphi(t) = \varphi m + \varphi m \sin\left(wt - \frac{\pi}{2}\right) + \varphi r$$

$$\varphi = 2\varphi m + \varphi r \quad \dots (12)$$

في حال كانت زاوية الجهد  $\theta = \frac{\pi}{2}$  تكون قيمة الفيض:

$$\varphi(t) = \varphi m \sin(wt) + \varphi r$$

$$\varphi = \varphi m + \varphi r \quad \dots (13)$$

نلاحظ أنه في حال وصل المحول عند زاوية جهد تساوي الصفر تكون قيمة الفيض مساوية لضعف قيمة الفيض في الحالة المستقرة بينما في حال كانت زاوية الجهد تساوي 90 درجة تكون قيمة الفيض مساوية لقيمة الفيض في الحالة المستقرة.

### تأثير الفيض المتبقي في النواة:

كلما زادت قيمة الفيض المتبقي في النواة كلما زادت قيمة تيار الاندفاع.

### تأثير ممانعة منبع (مصدر) التغذية:

كلما زادت قيمة ممانعة منبع التغذية تقل قيمة تيار الاندفاع ولكن هناك حدود لزيادة قيمة ممانعة المصدر لأنه كلما زادت ممانعة المنبع تزداد الضياعات النحاسية.

### تأثير مقاومة الملف الأولي للمحولة:

كلما زادت قيمة مقاومة الملف الأولي للمحولة تقل قيمة تيار الاندفاع ولكن هناك حدود لزيادة هذه القيمة لأنه كلما زادت مقاومة الملفات تزداد الضياعات النحاسية في المحولة.

### تأثير استطاعة المحول:

استطاعة المحول تعكس القيمة الداخلية لممانعة المحول، حيث أنه كلما زادت استطاعة المحول كلما زادت قيمة الممانعة الداخلية للمحول، وكلما قلت قيمة مطال تيار الاندفاع.

### 3- مواد وطرائق البحث:

تم إجراء عملية نمذجة باستخدام Matlab Simulink لمنظومة كهربائية مؤلفة من العناصر التالية:

بارامترات التوليد: 5.55  $\Omega$  – 11kv – 50 Hz – Source –Source resistance:

$3\phi$  – Yg– inductance: 0.221 H

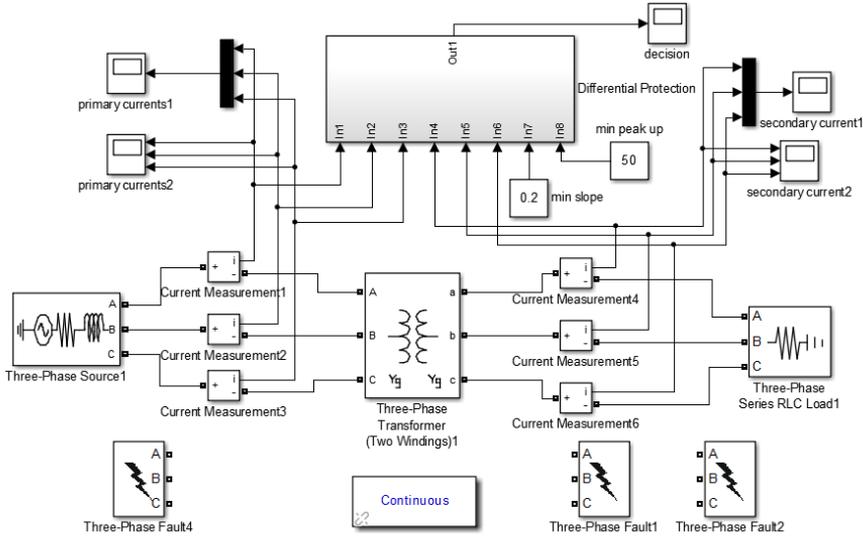
بارامترات المحول: 200 MVA – 50 HZ – Yg/Yg –  $3\phi$  (Two Windings)

11/33

بارامترات الحمولة: 33 kv – 150 Mw – 50 HZ

تم استخدام بلوكة للعطل تعمل بزمن 0.1-0.2 s

ويكون الموديل المستخدم كالتالي:



الشكل (9): موديل المنظومة الكهربائية

تم تصميم الحماية التفاضلية بحيث يكون لها ثمان مداخل وهي (ثلاث مداخل لتيارات الأطوار الثلاثة قبل المحول وثلاث مداخل لتيارات الأطوار الثلاثة بعد المحول لإجراء المقارنة بينها ومدخل لميل مميزة عمل الحماية (min slope) ومدخل لأقل قيمة لعتبة التشغيل (تيار المعايرة) (min pick up) وذلك حسب منحنى مميزة عمل الحماية) ومخرج وحيد وهو أمر الحماية التفاضلية بالفصل أو عدم الفصل (وجود عطل داخلي أو عدم وجود عطل داخلي).

حتى تعمل الحماية التفاضلية بشكل صحيح يجب أن يتحقق الشرطان:

- أن يكون التيار التفاضلي المقاس ( $I_{def}=I_1-I_2$ ) أكبر من حاصل جداء مقدار ميل منحنى مميزة عمل الحماية (min slope) والتيار الكبح  $I_{res}=I_1+I_2$ .

$$I_{def} > I_{res} * \text{min slope}$$

- أن يكون التيار التفاضلي المقاس ( $I_{def}=I_1-I_2$ ) أكبر من تيار اقلاع الحماية التفاضلية (تيار المعايرة) (min pick up).

$$I_{def} > \text{min pick up}$$

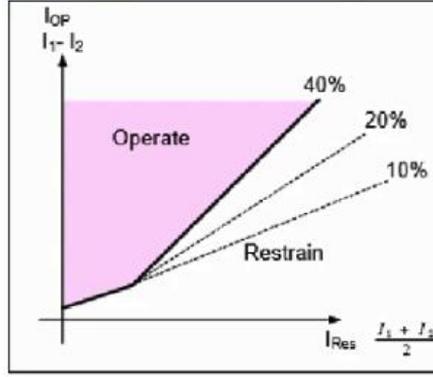
حيث أن  $I_2$  هي  $I_2$  مضروبة بنسبة التحويل (3).

يمكن تحقيق الشرط الأول من خلال ضرب قيمة التيار  $I_{res}$  بالقيمة 0.2 التي تمثل قيمة الميل 20%

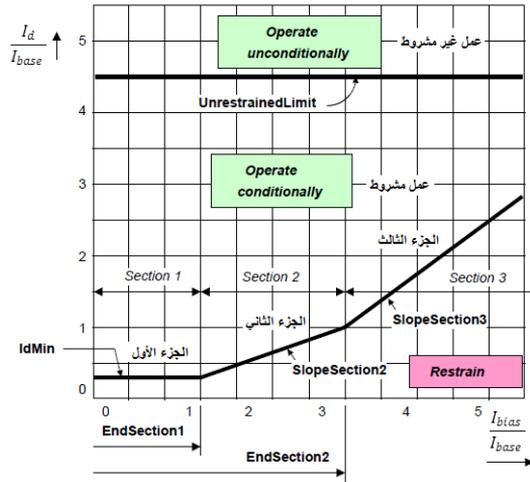
حسب العلاقة:  $m = \frac{dy}{dx}$ : حيث يمثل المحور "yy" التيار التفاضلي المقاس  $I_{def}$ ، والمحور "xx" تيار الكبح  $I_{res}$ .

ويمكن تحقيق الشرط الثاني من خلال اختيار قيمة min pick up التي تمثل القيمة الأصغرية لتيار الإقلاع حيث تم اختيار قيمة 50 من خلال التجريب بحيث تحقق هذه القيمة الغرض المطلوب من الحماية التفاضلية.

حيث تم إجراء العديد من حالات العمل الطبيعي وحالات الأعطال المختلفة وتم اعتماد هذه القيمة بسبب تحقيقها العمل الصحيح للحماية التفاضلية.



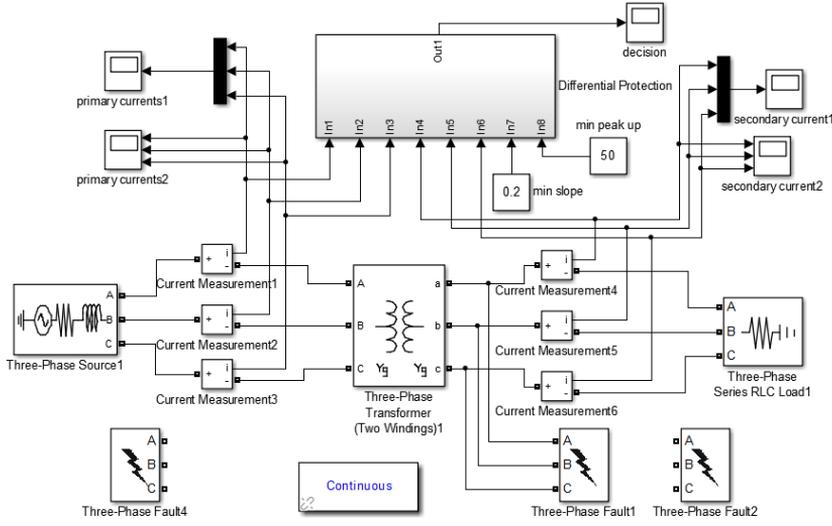
يمكن أن تكون مميزة عمل المحولة مكونة من ميل أو ميلين أو أكثر.



الشكل (10): منحنى خصائص المحول بوجود ميلين

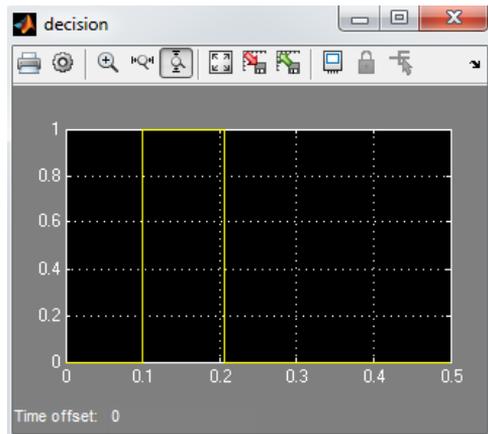
ويقصد بالمنطقة الأولى Section1 هي المنطقة التي يجب أن يكون فيها التيار التفاضلي المقاس أكبر من تيار المعايرة ونهاية المنطقة الأولى هي بداية المنطقة الثانية Section2 التي يجب أن يكون فيها التيار التفاضلي المقاس أكبر من حاصل جداء ميل مميزة عمل الحماية بتيار الكبح وكذلك الأمر في حال وجود أكثر من ميل للمميزة.

ويمكن تحقيق حالة العمل غير المشروط من خلال جعل الحماية التفاضلية تعمل إذا زادت قيمة التيار التفاضلي المقاس عن قيمة محددة ( 10 أضعاف قيمة min pick up) عند حدوث عطل داخل منطقة عمل الحماية (المحددة بمحولات التيار) كما في الشكل:



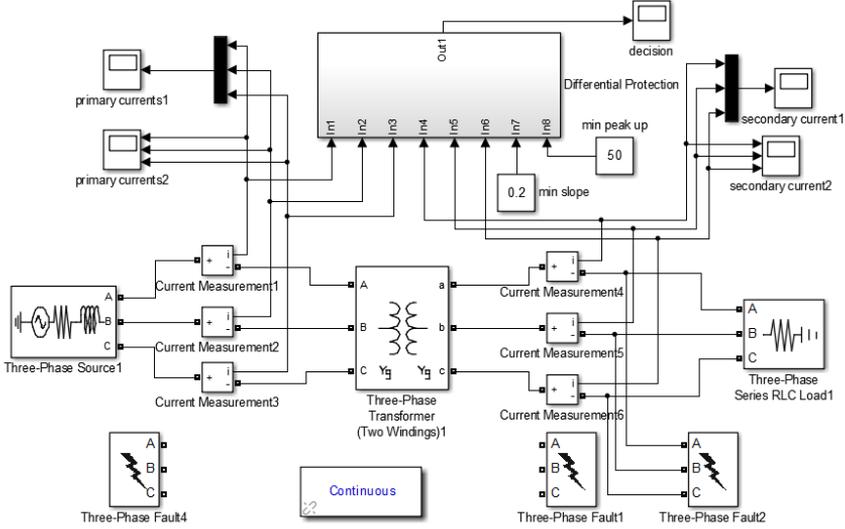
الشكل(11): الموديل المستخدم مع حدوث عطل داخل منطقة عمل الحماية

تعمل الحماية التفاضلية وتشير الى وجود عطل داخلي كما في الشكل التالي:



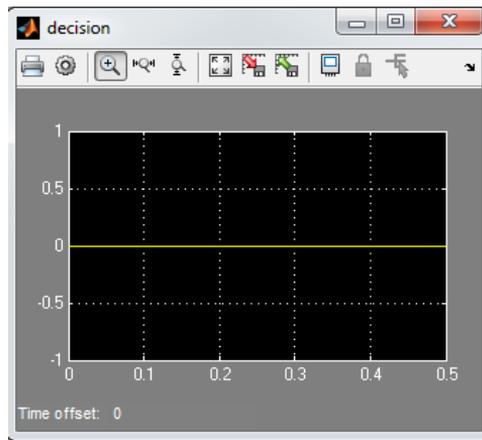
الشكل (12): خرج الحماية التفاضلية عند حدوث عطل داخل منطقة عمل الحماية

وعند حدوث عطل خارج منطقة عمل الحماية (المحددة بمحولات التيار) كما في الشكل التالي:



الشكل(13): الموديل المستخدم مع حدوث عطل خارج منطقة عمل الحماية

لا تعمل الحماية التفاضلية كما في الشكل التالي:

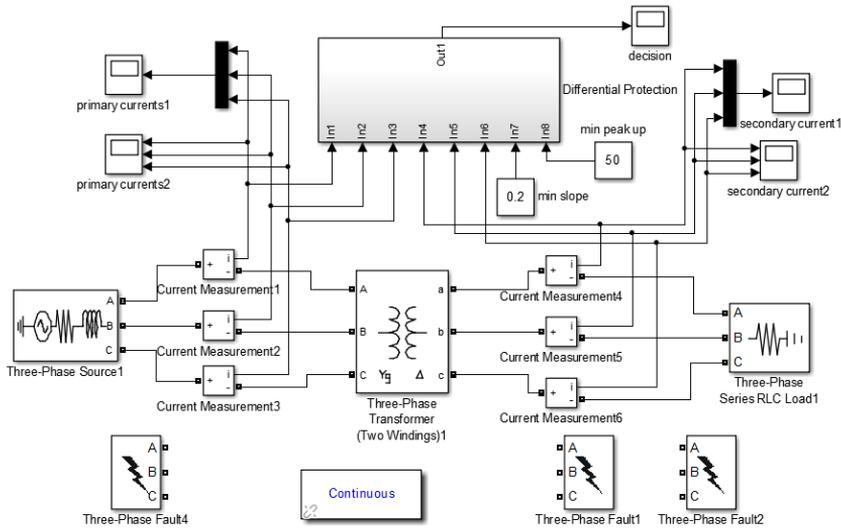


الشكل (14): خرج الحماية التفاضلية عند حدوث عطل خارج منطقة عمل الحماية

إن اختلاف طريقة توصيل المحول (نجمي - مثلثي) يؤدي الى نشوء فرق في الصفحة بين التيارات الأولية والثانوية مقداره  $30^\circ$ ، هذا الاختلاف يؤدي الى خلق تيار تفاضلي يتسبب بعمل خاطئ للحماية التفاضلية.

ويمكن في الحماية الرقمية استخدام معوضات لتصحيح فرق الصفحة بين التيارات.

يوضح الشكلان الآتيان كيفية اختلاف طريقة توصيل المحول وخرج الحماية التفاضلية في هذه الحالة.

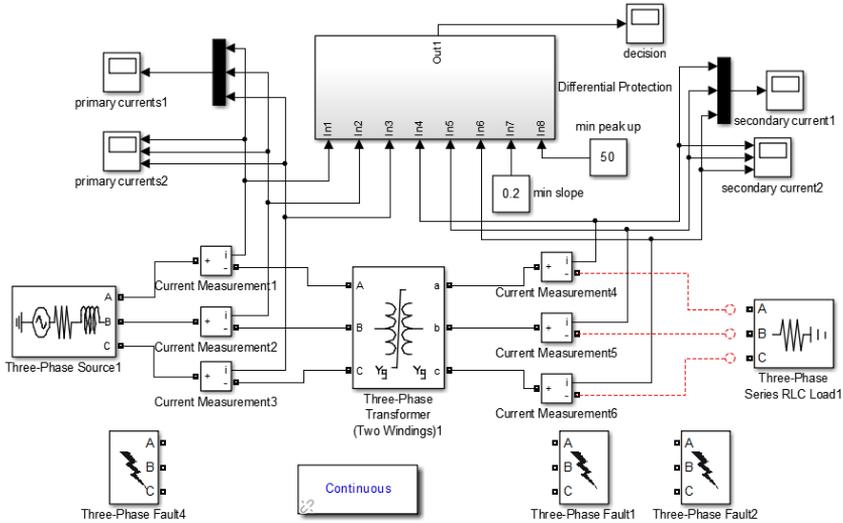


الشكل(15): الموديل المستخدم مع اختلاف طريقة توصيل المحول



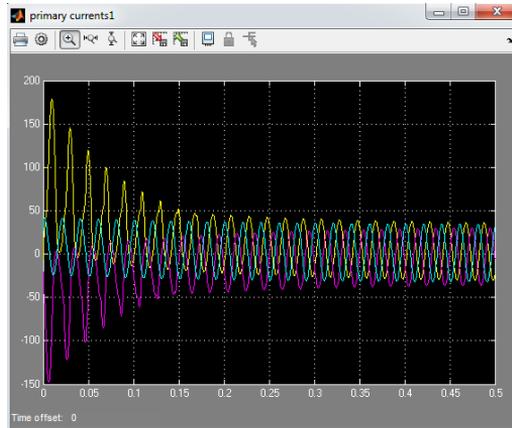
الشكل (16): خرج الحماية التفاضلية عند اختلاف طريقة توصيل المحول

يمكننا نمذجة تيار الاندفاع حسب الموديل المستخدم، حيث نقوم بإزالة الحمل لأنه يؤدي الى تخادم تيار الاندفاع وتفعيل إشباع نواة المحول كالتالي:



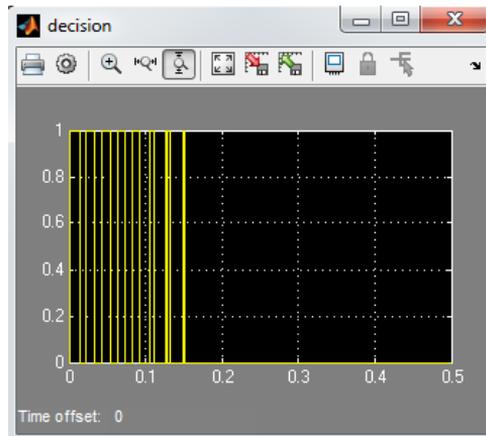
الشكل (17): الموديل المستخدم مع فصل الحمل وتفعيل إشباع نواة المحول

ويكون تيار الإندفاع بالشكل:



الشكل (18): تيار الإندفاع

ويؤثر تيار الإندفاع على الحماية التفاضلية بأنه يتسبب بعمل خاطئ لها كما في الشكل:



الشكل (19): خرج الحماية التفاضلية عند مرور تيار الإندفاع

## نمذجة الحماية التفاضلية والتعرف على تيارات الاندفاع والعوامل المؤثرة عليها

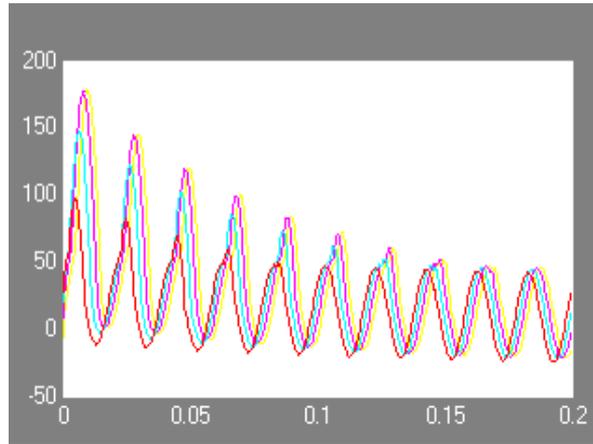
ان تيار الاندفاع غني بالتوافقيات والجدول التالي يبين نسبة مركبة DC والتوافقية الثانية والثالثة من التوافقية الأساسية ونسبة التشوه التوافقي الكلي THD في تيار الاندفاع حسب النموذج المستخدم:

85.92%	مركبة DC
37.75%	THD
29.9%	التوافقية الثانية
9.85%	التوافقية الثالثة

تطبيق العوامل المؤثرة في تيار الإندفاع:

تأثير اختلاف زاوية الطور البدائية للجهد:

90	60	30	0	الزاوية (°)
96.8	147,6	177.4	178.8	تيار المغنطة (A)



الشكل (20): قيم تيارات الاندفاع عند زوايا مختلفة للجهد

وبالتالي يمكن تقليل قيمة تيار الاندفاع عند وصل المحول عند زاوية جهد 90 درجة. وتكون قيمة مركبة DC والتوافقية الثانية والثالثة ونسبة التشوه التوافقي الكلي THD في تيار الاندفاع عند وصل المحول عند زاوية 90 درجة:

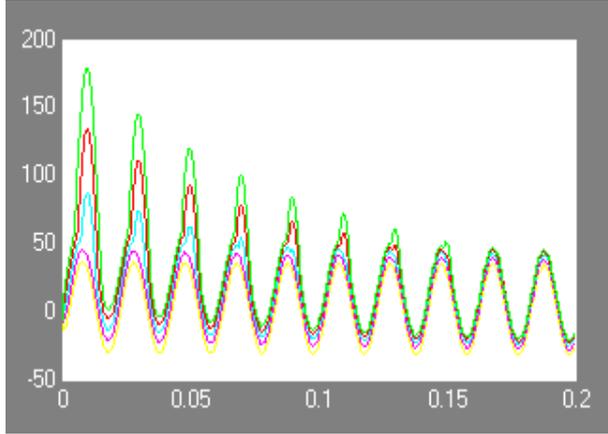
65.65%	مركبة DC
34.6%	THD
27.6%	التوافقية الثانية
15.9%	التوافقية الثالثة

#### تأثير الفيض المتبقي في النواة:

كلما زادت قيمة الفيض المتبقي في النواة كلما زادت قيمة تيار الاندفاع.

والجدول التالي يبين قيمة تيار الاندفاع مع تغير قيمة الفيض المتبقي في النواة:

0.0	- 0.2	- 0.4	- 0.6	- 0.8	نسبة الفيض المتبقي (W)
87	63.4	45.5	41	36.5	تيار الاندفاع (A)
1	0.8	0.6	0.4	0.2	نسبة الفيض المتبقي (W)
201	178.6	156.5	133.5	110.5	تيار الاندفاع (A)



الشكل (21): قيم تيارات الاندفاع عند قيم مختلفة للمغناطيسية المتبقية

وتكون قيمة مركبة DC والتوافقية الثانية والثالثة ونسبة التشوه التوافقي الكلي THD في تيار الاندفاع عند قيمة فيض متبقي معدومة:

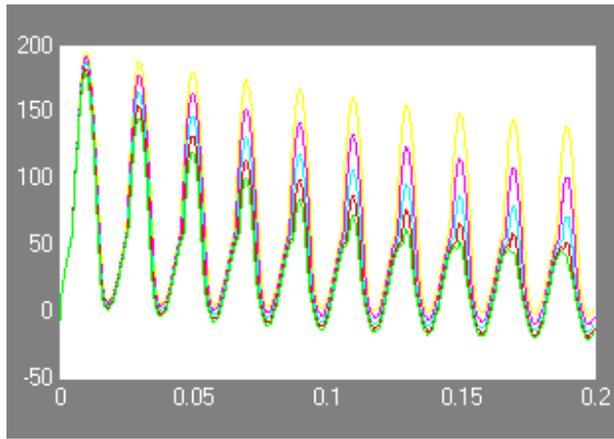
78.7%	مركبة DC
37.7%	THD
32.2%	التوافقية الثانية
11.9%	التوافقية الثالثة

#### تأثير ممانعة منبع (مصدر) التغذية:

كلما زادت قيمة ممانعة منبع التغذية تقل قيمة تيار الاندفاع ولكن هناك حدود لزيادة قيمة ممانعة المصدر لأنه كلما زادت ممانعة المنبع تزداد الضياعات النحاسية.

والجدول التالي يبين تغير قيمة تيار الاندفاع مع تغير قيمة ممانعة منبع التغذية:

5.55	4.4	3.2	2	1	ممانعة المنبع ( $\Omega$ )
178.8	182.8	187.1	191.8	195.5	تيار الاندفاع (A)



الشكل (22): قيم تيارات الاندفاع عند قيم مختلفة لممانعة منبع التغذية

وتكون قيمة مركبة DC والتوافقية الثانية والثالثة ونسبة التشوه التوافقي الكلي THD في

تيار الاندفاع عند ممانعة مصدر تساوي 2:

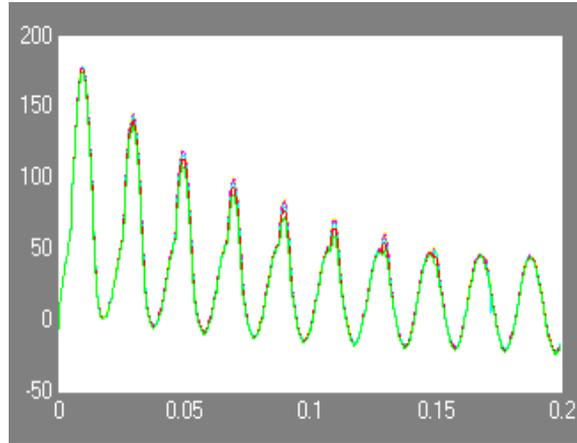
90.9%	مركبة DC
34.5%	THD
24.8%	التوافقية الثانية
7.96%	التوافقية الثالثة

### تأثير مقاومة الملف الأولي للمحولة:

كلما زادت قيمة مقاومة الملف الأولي للمحولة تقل قيمة تيار الاندفاع ولكن هناك حدود لزيادة هذه القيمة لأنه كلما زادت مقاومة الملفات تزداد الضياعات النحاسية في المحولة.

والجدول التالي يبين تغير قيمة تيار الاندفاع مع تغير قيمة مقاومة الملف الأولي للمحولة:

0.4	0.2	0.02	0.002	0	مقاومة الملف الأولي للمحولة ( $\Omega$ )
177.9	178.4	178.6	178.7	178.8	تيار الاندفاع (A)



الشكل (23): قيم تيارات الاندفاع عند قيم مختلفة لمقاومة الملف الأولي للمحولة

وتكون قيمة مركبة DC والتوافقية الثانية والثالثة ونسبة التشوه التوافقي الكلي THD في تيار الاندفاع عند قيمة مقاومة ملفات الأولي للمحولة تساوي 0.2:

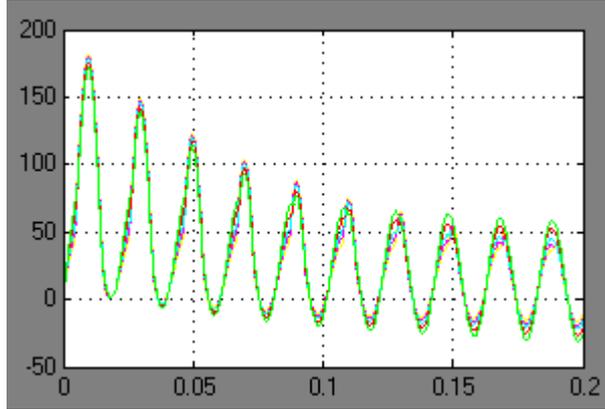
85.6%	مركبة DC
37.95%	THD
30%	التوافقية الثانية
10.1%	التوافقية الثالثة

#### تأثير استطاعة المحول:

استطاعة المحول تعكس القيمة الداخلية لممانعة المحول، حيث أنه كلما زادت استطاعة المحول كلما زادت قيمة الممانعة الداخلية للمحول، وكلما قلت قيمة مطال تيار الاندفاع.

والجدول التالي يبين تغير قيمة تيار الاندفاع مع تغير استطاعة المحول:

300	250	200	175	150	استطاعة المحول (MVA)
172.2	175.8	176.9	180.3	181.5	تيار الاندفاع (A)



الشكل (24): قيم تيارات الاندفاع عند قيم مختلفة لاستطاعة المحولة

وتكون قيمة مركبة DC والتوافقية الثانية والثالثة ونسبة التشوه التوافقي الكلي THD في تيار الاندفاع عند استطاعة محول تساوي 300 MVA:

90.07%	مركبة DC
32.4%	THD
27.03%	التوافقية الثانية
10.22%	التوافقية الثالثة

#### 4- النتائج:

- a- ان اختلاف طريقة توصيل طرفي المحول يؤدي الى نشوء فرق في الصفحة مقداره 30 درجة يتسبب بعمل خاطئ للحماية التفاضلية.
  - b- تيار الاندفاع يتسبب بعمل خاطئ للحماية التفاضلية ما لم تكن الحماية قادرة على تمييزه عن تيار العطل.
  - c- العوامل المؤثرة على تيارات الاندفاع:
    - 1- تكون قيمة تيار الاندفاع أقل ما يمكن عند زاوية طور بدائية للجهد تساوي 90 درجة وأكبر ما يمكن عند زاوية 0 درجة.
    - 2- تزداد قيمة تيار الاندفاع بزيادة الفيض المتبقي في النواة.
    - 3- تقل قيمة تيار الاندفاع بزيادة ممانعة منبع (مصدر) التغذية.
    - 4- تقل قيمة تيار الاندفاع بزيادة مقاومة الملف الأولي للمحولة.
    - 5- تقل قيمة تيار الاندفاع بزيادة استطاعة المحول.
- #### 5- التوصيات:

إجراء مقارنة للطرق التي تمكّن الحماية التفاضلية من التمييز بين تيار الاندفاع وتيار العطل ودراسة إمكانية الحصول على طرق جديدة.

6- المراجع العلمية:

- [1] AGASTI.S, NARESH.R, GHOSH.N, 2016. **Investigation of various affecting factors and reduction technique of transformer magnetizing inrush current.** International Conference on Computation of Power, Energy Information and Communication (ICCPEIC), IEEE, India, PP 307-310.
- [2] GOPIKA.R, DEEPA.S, 2017. **Study on Power Transformer Inrush Current.** IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE), India, PP 59-63.
- [3] ABDULL HALIM.H, 2018. **Sympathetic inrush currents in transformer energisation.** School of Electrical Engineering and Telecommunications Faculty of Engineering, the University of New South Wales, Wales, 197.
- [4] WANG.H, YAN.K, GAO.H, CHEN.X, 2012. **Simulation and Analysis of Transformer Inrush Current and Its Impact On Current Differential Protection.** Advanced Materials Research Vols, China, PP 712-716.
- [5] CIMADEVILLA.R, 2013. **Inrush currents and their effect on protective relays.** ZIV GRID AUTOMATION S.L., IEEE, Spain, PP 46 -504.
- [6] JAMALI.M, MIRZAIE.M, ASGHAR GHOLAMIAN.S, 2011. **Calculation and Analysis of Transformer Inrush Current Based on Parameters of Transformer and Operating Conditions.** Babol University of Technology, Iran, PP 17-20.
- [7] MANANA.M, EGUIUZ.L.I, ORTIZ.A, RENEDO.C, PEREZ.S. **Effects of Magnetizing Inrush Current on Power Quality and Distributed Generation.** Department of Electrical Engineering E.T.S.I.I.T. University of Cantabria Avda. Los Castros, Spain.

- [8] MOON.R, DHATRAK.R, 2014. **A Study of Effect of Magnetizing Inrush Current on Different Ratings of Transformers.** International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, vol.3, PP 9021-9027.
- [9] AKPOYIBO.M, 2015. **Magnetizing inrush current.** Engineering Science and Technology: An International Journal, Vol.5, PP 273 -278.
- [10] CHIESA.N, 2010. **Power Transformer Modeling for Inrush Current Calculation.** Degree of Philosophies Doctor, Department of Electric Power Engineering, Norwegian University of Science and Technology.
- [11] PENG.J, 2013. **Assessment of Transformer Energisation Transients and Their Impacts on Power Systems.** Degree of Philosophies Doctor, Faculty of Engineering and Physical Sciences, Manchester University.
- [12] GIRGIS.R, 2007. **Characteristics of Inrush Current of Present Designs of Power Transformers.** IEEE.
- [13] RACHMAN.A, ARIF.Y, RAHARJA.L, 2020. **Using AC Voltage Controller Simulation Using SIMULINK.** International Conference on Technology and Policy in Electric power and Energy (ICT-PEP), Surabaya, Indonesia.
- [14] MEKIC.F, GIRGIS.R, GAJIC.Z, TENYENHUIS.E, 2006. **Power Transformer Characteristics and Their Effect on Protective Relays.** 33rd Western Protective Relay Conference.
- [15] BLUME.L.F, CAMILLI.G, FARNHAM.S.B, PETERSON.H.A, 1944. **Transformer Magnetizing Inrush Currents and Influence on System Operation.** AIEE Committees on electrical machinery and power transmission and distribution, NEW YORK. Vol.63, PP. 366-375.

