مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (2) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (2) 2011

دراسة أثر الإشباع المغناطيسي في محولات التيار على أداء حماية زيادة التيار الرقمية

الدكتور طارق إبراهيم*
الدكتور تمام حيدر**
فراس محفوض***

(تاريخ الإيداع 26 / 1 / 2011. قُبِل للنشر في 18/ 4 / 2011)

□ ملخّص □

يعرض هذا البحث تأثير إشباع محولات التيار على أداء ريليهات زيادة التيار الرقمية، وذلك من خلال استخدام موجات تيارات لأعطال حقيقية حدثت في الشبكة الكهربائية لمصفاة بانياس. تبين الدراسة التحليلية التي أجريت باستخدام برنامج EMTP-ATP وبرنامج ماتلاب، أن الإشباع المغناطيسي يؤدي إلى انخفاض المطال لتيار العطل، وهذا بدوره يؤدي إلى عدم عمل حماية زيادة التيار وقيامها بفصل الجزء المعطوب.

بهدف التصدي لهذه المشكلة تمت دراسة خوارزميات مختلفة لتصحيح التشوه الحاصل في موجة تيار العطل والناتج عن الإشباع المغناطيسي في محولات التيار، ومن ثم استخدام خوارزمية للكشف والتصحيح. جرى التحقق من جودة أدائها باستخدام موجات تيارات الأعطال الحقيقية في المصفاة وكذلك تيارات تم الحصول عليها من نتائج الدراسة المنفذة باستخدام برنامج EMTP-ATP.

الكلمات المفتاحية: إشباع مغناطيسي، محولة التيار، ريليه زيادة التيار.

* أستاذ- قسم الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.
** مدرس- قسم الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.
*** طالب دراسات عليا (ماجستير)- قسم الطاقة الكهربائية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (33) العدد (2) 2011
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (33) No. (2) 2011

Effect of Current Transformer Saturation on Numerical Overcurrent Relays

Dr. Tarek Ibrahim*
Dr. Tammam Hayder**
Feras Mahfoud***

(Received 26 / 1 / 2011. Accepted 18 / 4 / 2011)

□ ABSTRACT □

This paper investigates the transient behavior of CTs and its effect on numerical overcurrent relays during high fault level. The operation principles of all microprocessor-based relays are almost identical, although they utilize different filtering techniques.

The effects of CT saturation on microprocessor-based overcurrent relays are evaluated by implementing different fault scenarios (saturated waves), as input for the relay to analyze the transient behavior of microprocessor-based overcurrent relays due to the saturation of current transformer.

Current transformer (CT) saturation may cause mal-operation or operating time delay of protection relays. In this paper, a new algorithm for the compensation of the distorted secondary current due to CT saturation is suggested. Simulation results indicate that the algorithm can efficiently detect and correct each saturation period when the secondary current is severely distorted.

NOMENCLATURE:
CT(s): Current Transformer(s).
EMTP: Electromagnetic Transient Program.
ATP: Alternative Transient Program.

Key words: saturation, current transformer, overcurrent relay.

***Professor, Department of Electric Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
****Assistant Professor, Department of Electric Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
*****Postgraduate Student, Department of Electric Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

تغطي المواصفة القياسية الدولية ANSI/IEEE Standard C57.13-1993 سلوك محولة التيار في الحالة المستقرة وحالات أعطال مختلفة يمكن أن تدخل فيها محولة التيار في الإشباع ولكن بدون الدخول في تفاصيل تأثيرها على عمل الريليهات الرقمية[1]، مما يستدعي إجراء دراسات تحليلية إضافية.

يمكن تجنب أثر الإشباع المغناطيسي بزيادة حجم محول التيار حتى الحصول على توتر ركبة فوق القيمة المطلوبة لتيار العطل الأعظمي المتوقعة، مع سماحية مناسبة بالنسبة للمركبة المستمرة والبطاء المغناطيسي. توتر الركبة(knee-point voltage) يمكن أن يكون 50% إلى 70% من قيمة الجهد لصنف الدقة النموذجي لمحول التيار.

يعرف جهد الطرف الثانوي لمحول التيار (صنف الدقة) بأنه الجهد المطبق من قبل ثانوي محول التيار على حمل اسمي، وذلك عند تيار مساوٍ عشرين ضعفاً من تيار الثانوي الاسمي بدون أن يتجاوز خطأ نسبة التحويل 10%[2].

إذا عبرنا عن تيار العطل على الطرف الثانوي I_F بالقيم الواحدية من التيار الاسمي وحمل محولة التيار Z_B بالقيم الواحدية من الحمل المثالي، فإن المعادلة (1) تعطي المعيار النموذجي الموضوع من قبل المواصفة المذكورة أعلاه لتجنب الإشباع[1]،[3].

$$20 \geq \left|1+\frac{X}{R}\right| . I_F . Z_B \qquad (1)$$

حيث:

I_F: تيار العطل الأعظمي بالقيم الواحدية على الطرف الثانوي.

Z_B: حمل محول التيار بالقيم الواحدية من الحمل الاسمي.

X/R: نسبة X/R لدارة عطل الأولي.

إن تحقيق هذه الشروط يتطلب بناء محولات تيار ذات أحجام ضخمة وهو أمر غير مقبول عملياً، إذ قد تكون سلبيات تحقيق ما سبق أكثر من إيجابياته إذا أخذنا بالحسبان الاعتبارات الاقتصادية والتصميمية، مما يستدعي تطوير خوارزمية تصحيح مناسبة للتعامل مع ظاهرة الإشباع وتلافي أثرها، وفي هذا السياق يأتي بحثنا هذا.

أهمية البحث وأهدافه:

تتجلى أهمية البحث في إظهار سلوك ريليه زيادة التيار الرقمية عند حدوث إشباع مغناطيسي في إحدى محولات التيار، من خلال استخدام موجات عطل حقيقية حدثت في شركة مصفاة بانياس.

وتتجلى أهميته أيضاً في تقديم حل رياضي من خلال استخدام خوارزمية فعالة اختبرت باستخدام موجات عطل حقيقية، مهمة الخوارزمية تصحيح تشوه موجة الثانوي لمحول التيار نتيجة الإشباع المغناطيسي، ومن ثمَّ الحصول على الأداء الأمثل لريليه زيادة التيار الرقمية.

طرائق البحث ومواده:

تم في البحث إجراء التجارب العملية والمحاكاة الحاسوبية وفق المنهجية التالية:

-اختبار استجابة ريليه زيادة التيار الرقمية، باستخدام موجات عطل حقيقية.

-إجراء محاكاة حاسوبية باستخدام برنامج EMTP-ATP على محول تيار تم قياس عناصره باستخدام جهاز اختبار متطور (TEST SET2000) في شركة مصفاة بانياس.

-اختبار الخوارزمية المستخدمة باستخدام موجات عطل حقيقية وموجات عطل مولدة في برنامج EMTP-ATP.

-النتائج والمناقشة.

-التوصيات.

أدوات البحث:

EMTP-ATP (Electromagnetic Transient Program – Alternative Transient Program): يستخدم هذا البرنامج لنمذجة الحالات العابرة للأنظمة الكهربائية[4].

TOP: وهو مشغل رسومي لاحق لبيانات الحالة العابرة.

MATLAB: يستخدم كبرنامج محاكاة، ولغة برمجية عالية الأداء.

ريليه حماية متعدد الوظائف (Multi Function RELAY) طراز MICOM P241: هو ريليه زيادة تيار رقمية.

برنامج Micom s1: وهو برنامج خاص بالريليهات الرقمية طراز Micom، يستخدم من أجل ضبط وإعداد الريليه عن طريق الحاسب ونقل هذه المعطيات بوساطة كبل بيانات بين الحاسب والريليه وبالعكس، واستخلاص سجلات الحوادث العابرة من مسجل الحوادث في الريليه باستخدام البرنامج الفرعي Wave Win.

جهاز اختبار محولات التيار XTEST 2000: يتميز هذا الجهاز بقدرته على توليد تيارات تصل حتى 4000 أمبير، فضلاً عن أنه يقوم بتحديد عناصر ملفات الأولي والثانوي ومنحني المغنطة.

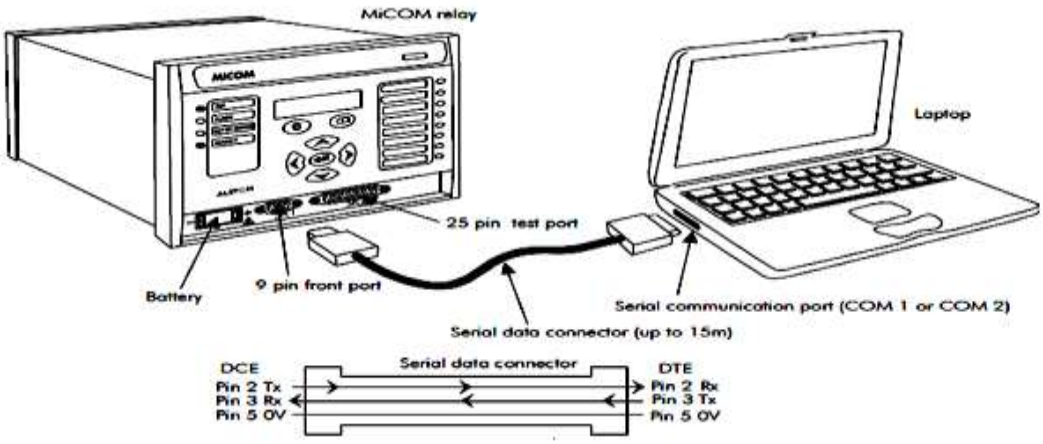
النتائج والمناقشة:

1- المكونات الرئيسية للحمايات الرقمية: تتألف الريليهات الرقمية بشكل عام من:

1. مرشح صدمة (Surge Filter): يقوم بصد الاندفاعات الكبيرة في قيم إشارات الدخل، وذلك من أجل تحقيق متطلبات الأمان للريليه الرقمي.
2. مرشح (Anti-aliasing Filter): وهو مرشح تماثلي (Analog Filter) لتمرير الترددات المنخفضة بهدف تحقيق شروط شانون في التقطيع.
3. المبدل التماثلي الرقمي (Analog-Digital Transformer): لتحويل معطيات الدخل التماثلي إلى الشكل الرقمي المفهوم من قبل المعالج في الجهاز الرقمي.
4. المرشح الرقمي (Digital Filter): تصمم خوارزمية المرشح الرقمي لحذف التوافقيات غير المرغوب بها في الإشارة قدر الإمكان واستخلاص المركبات المرغوب بها. ومن أشهر أنواع المرشحات الرقمية وأعمها استخداماً مرشح فورييه[5].

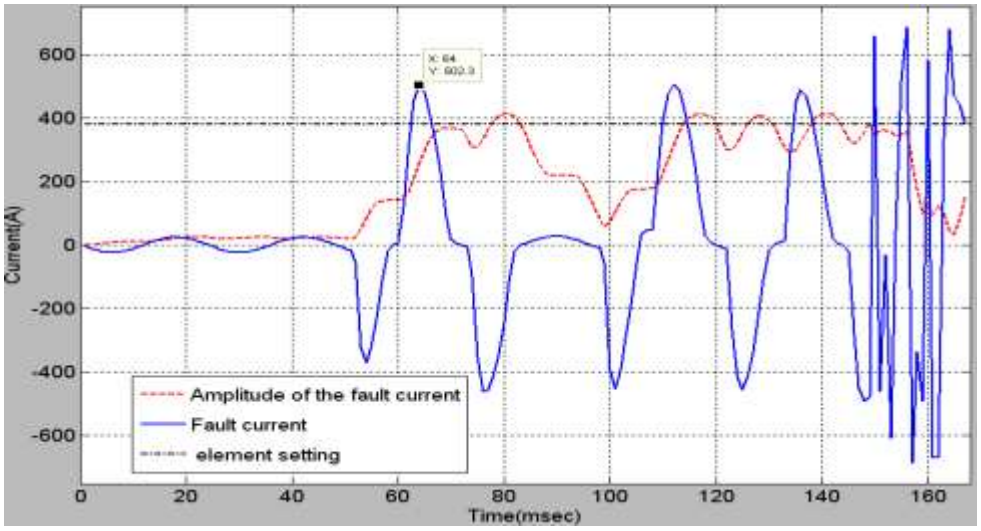
2- أثر الإشباع المغناطيسي على أداء ريليه زيادة التيار الرقمية:

تم تحميل ملفات عطل حقيقية حدثت في شركة مصفاة بانياس، باستخدام حاسب محمول يتضمن برنامج Micom s1 و ريليه زيادة التيار الرقمية التي سجلت موجة العطل وفق الدارة المبينة في الشكل(1):



الشكل(1): الدارة المخبرية المستخدمة لسحب معلومات الموجة المسجلة من قبل الحماية الرقمية.

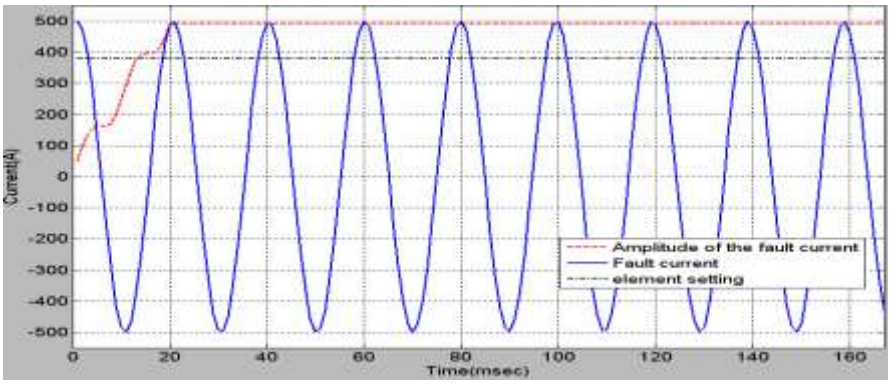
يبين الشكل(2) موجة العطل المسجلة ومطال مركبة التردد الأساسية لمرشح فورييه الرقمي وقيمة عتبة الفصل في ريليه زيادة التيار الرقمي.



الشكل(2): موجة العطل، مطال المركبة الأساسية، عتبة الفصل لريليه زيادة التيار الرقمية.

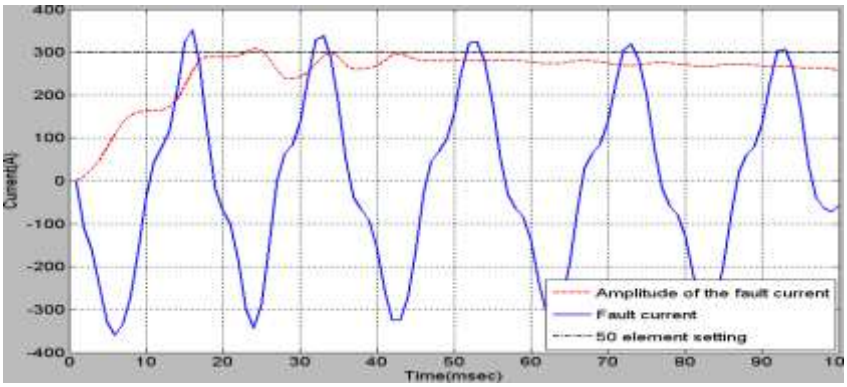
تعاني موجة العطل في الشكل(2) من إشباع حاد، أدى إلى انخفاض مطال تيار العطل عن عتبة الفصل (380A) وزمن الفصل المحدد(Definite Time= 40msec)، ومن ثمَّ عدم تمكن ريليه زيادة التيار من فصل العنصر المعطوب. بهدف زيادة الإيضاح في إظهار أثر الإشباع، فقد تم مقارنة موجة العطل السابقة مع موجة عطل

جيبية غير مشوهة (الشكل(3)) لها نفس الأعظمية (500A). يلاحظ من الشكل (3) أن مطال تيار العطل(500A) أكبر من عتبة تيار الفصل(380A) للريليه، ومن ثمَّ سوف تقوم ريليه زيادة التيار بفصل العنصر المعطوب.

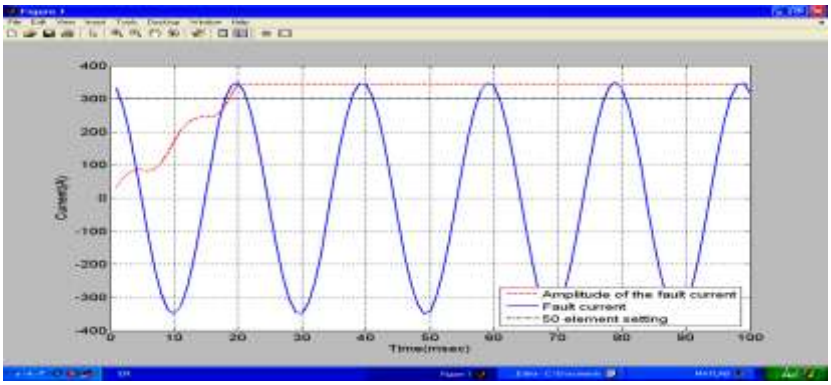


الشكل(3): استجابة ريليه زيادة التيار الرقمية لموجة غير مشبعة.

يبين الشكل(4) موجة عطل آخر حدث في المصفاة وخرج مرشح فورييه الرقمي، بينما يبين الشكل(5) استجابة ريليه زيادة التيار الرقمية لموجة عطل غير مشبعة لها نفس القيمة الأعظمية(350A).



الشكل(4): موجة العطل، مطال المركبة الأساسية، عتبة الفصل لريليه زيادة التيار الرقمية.



الشكل(5): استجابة ريليه زيادة التيار الرقمية لموجة غير مشبعة.

بمقارنة الشكلين السابقين، نلاحظ أن هناك انخفاضاً في مطال الموجة المشبعة عن الموجة المثالية بمقدار (40)أمبيراً. نستنتج مما سبق، أن الانخفاض الناتج عن الإشباع أدى إلى عدم عمل حماية زيادة التيار.

3- خوارزمية متقدمة لكشف وتصحيح تيارات ثانوي محول التيار المشبعة:

يقود إشباع محولة التيار إلى تأخر عمل زاجل التيار الرقمي كما تبين سابقاً، وهذا يؤدي بدوره إلى خلل في تنسيق عمل نظام الحماية. مما يستدعي العمل على تطوير خوارزميات كشف وتصحيح يمكن برمجتها في أجهزة الحماية الرقمية الحديثة لتلافي أثر هذا الإشباع.

3-1- دراسة الطرق المستخدمة في كشف وتصحيح إشباع محولات التيار:

تحتوي المراجع العلمية على العديد من خوارزميات التصحيح الممكنة الاستخدام في أجهزة الحماية الرقمي، من هذه الطرق:

1- تعمل خوارزمية التصحيح المستخدمة في الأبحاث[5],[6]على تخمين قيمة تيار المغنطة لمحول التيار، يضاف هذا التيار المخمن إلى التيار الثانوي، فيكون المجموع هو تيار الثانوي الحقيقي لمحول التيار. السيئة الرئيسية لهذه الطريقة، أنها تفترض أن الفيض المتبقي مساوٍ صفراً قبل حدوث العطل.

2- لا يتم تصحيح تيار ثانوي محولة التيار، لكن يتم استخدام معطيات عملية الإشباع لأغراض أخرى مثل: تعديل إعدادات الحماية[7].

3- يعتمد التصحيح على المعلومات المستمدة من تيار الثانوي أثناء فترة عدم وجود إشباع، التي تهدف إلى تحديد المركبات المستمرة والأساسية لتيار الأولي[8],[9].

4- خوارزميات كشف وتصحيح تستند إلى تقنيات الشبكات العصبونية (ANN)[10],[11] .

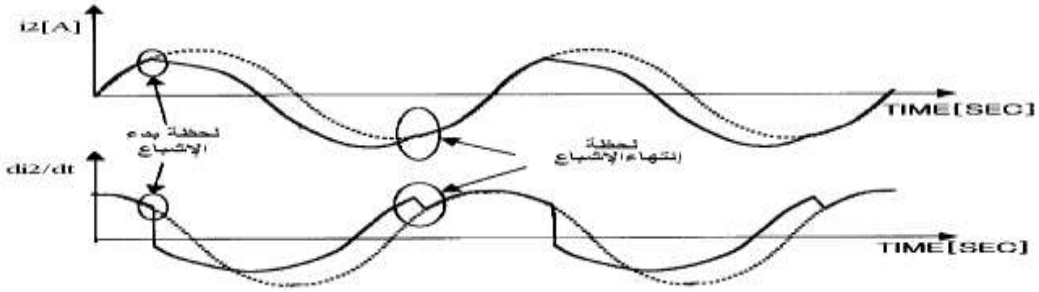
3-2- ملخص عن فكرة الخوارزمية المقترحة لحل هذه المشكلة:

يتم إنجاز الخوارزمية المذكورة وفق الخطوات التالية[12]:

الخطوة الأولى: تحديد لحظة بدء الإشباع في كل دور كما هو مبين في الشكل(6).

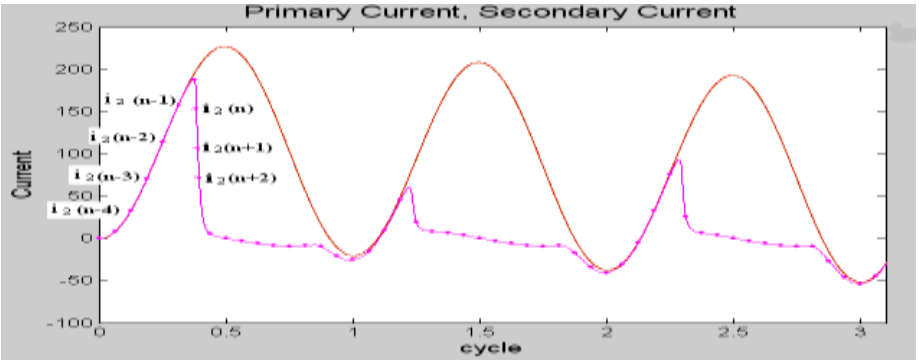
الخطوة الثانية: تحديد لحظة انتهاء الإشباع، الشكل(6).

الخطوة الثالثة: حساب المركبات المستمرة والأساسية باستخدام عينات تيار ثانوي محول التيار خلال فترة عدم الإشباع.



الشكل(6): موجة تيار الثانوي موضحاً عليها لحظة بدء وانتهاء الإشباع.

تستخدم خوارزمية التصحيح نافذة مربعة لمسح البيانات على طول موجة التيار كما هو موضح في الشكل (7)، وتقوم بتخمين قيمة العينة المشبعة بالاعتماد على قيمة العينات الأربعة السابقة في الجزء غير المشبع من الموجة.



الشكل(7): موجة تيار العطل المأخوذة من برنامج (EMTP-ATP) لخط نقل بسيط.

3-3- تشكيل موديل رياضي للموجة الجيبية بالاعتماد على استيفاء نيوتن المتقدم NFI (Newton`s Forward Interpolation)[9]:

إذا كانت $Y_0, Y_1, Y_2, \ldots, Y_n$ هي قيم التابع y=f(x) من أجل $X_0, X_1, X_2, \ldots, X_n$

وكان لدينا عدد مختلف من النقاط x_i, y_i حيث إن:

$$i=1,2,3,4,5,6\ldots\ldots\ldots,n$$

يعرف المؤثر التفاضلي التقدمي Δ على التابع y بالعلاقة التالية[13]:

$$\Delta y_i = y_{i+1} - y_i \qquad (2)$$

والتي تسمى الفروق التقدمية الأولى لتابع y. وتكون الفروق التقدمية الثانية للتابع y :

$$\Delta^2 y_i = y_{i+2} - 2y_{i+1} + y_i \qquad (3)$$

وبشكل عام نستطيع أن نكتب:

$$\Delta^n y_i = \sum_{k=0}^{n} \binom{n}{k} (-1)^k y_{i+n-k} \qquad (4)$$

حيث:

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{(n+k)!k!}$$

لإيجاد $\Delta^{i+1} y$ حيث $i=1,2,3,4,5,6\ldots\ldots\ldots,n$ ، أو لإيجاد تابع الفرق من المرتبة r($\Delta^r y$)، يمكن أن ننظم جدول الفروق التقدمية بالشكل التالي[13]:

x	y	yΔ	$\Delta^2 y$	$\Delta^3 y$
x_1	y_1	$y_2 - y_1 = \Delta y_1$	$\Delta y_2 - \Delta y_1 = \Delta^2 y_1$	$\Delta^2 y_2 - \Delta^2 y_1 = \Delta^3 y_1$
x_2	y_2	$y_3 - y_2 = \Delta y_2$	$\Delta y_3 - \Delta y_2 = \Delta^2 y_2$	$\Delta^2 y_3 - \Delta^2 y_2 = \Delta^3 y_2$
$x3$	y_3	$y_4 - y_3 = \Delta y_3$	$\Delta y_4 - \Delta y_3 = \Delta^2 y_3$	
x_4	y_4	$y_5 - y_4 = \Delta y4$		
$x5$	y_5			

يمكن اعتبار أن قيمة المشتق الأول لعينتين متتاليتين ذات قيمة متساوية تقريباً:

$$\frac{[i(n)-i(n-1)]}{T_s} \approx \frac{[i(n-1)-i(n-2)]}{T_s} \quad (5)$$

T_s: دور التقطيع.

$$i(n)=2*i(n-1)-i(n-2) \quad (6)$$

تفيد المعادلة السابقة في تخمين قيمة العينة الحالية بالاعتماد على العينتين المتتاليتين السابقتين لها.

بنفس الأسلوب:

$$i'(n)=\frac{[i(n)-i(n-1)]}{T_s} \quad (7)$$

$$i'(n-1)=\frac{[i(n-1)-i(n-2)]}{T_s} \quad (8)$$

$$i'(n-2)=\frac{[i(n-2)-i(n-3)]}{T_s} \quad (9)$$

وبنفس الأسلوب أيضاً:

$$i''(n)=\frac{[i'(n)-i'(n-1)]}{T_S} \quad (10)$$

$$i''(n-1)=\frac{[i'(n-1)-i'(n-2)]}{T_S} \quad (11)$$

يمكن اعتبار أن:

$$i''(n)\approx i''(n-1) \quad (12)$$

بتعويض كلٍّ من (10)-(11) في (12) ينتج:

$$i(n)=3*i(n-1)-3*i(n-2)+i(n-3) \quad (13)$$

قيمة المشتق الثالث لعينتين متتاليتين يكون ذا قيمة متساوية تقريباً:

$$i'''(n)\approx i'''(n-1) \quad (14)$$

$$i'''(n)=\frac{[i''(n)-i''(n-1)]}{T_s} \quad (15)$$

$$i'''(n-1)=\frac{[i''(n-1)-i''(n-2)]}{T_s} \quad (16)$$

بتعويض المعادلتين (16)،(15) في المعادلة(14):

$$\frac{[i''(n-1)-i''(n-2)]}{T_s} = \frac{[i''(n)-i''(n-1)]}{T_s} \quad (17)$$

بترتيب المعادلة السابقة ينتج:

$$i''(n) \approx 2*i''(n-1)-i''(n-2) \quad (18)$$

$$i'(n)=3*i'(n-1)-3*i'(n-2)+i'(n-3) \quad (19)$$

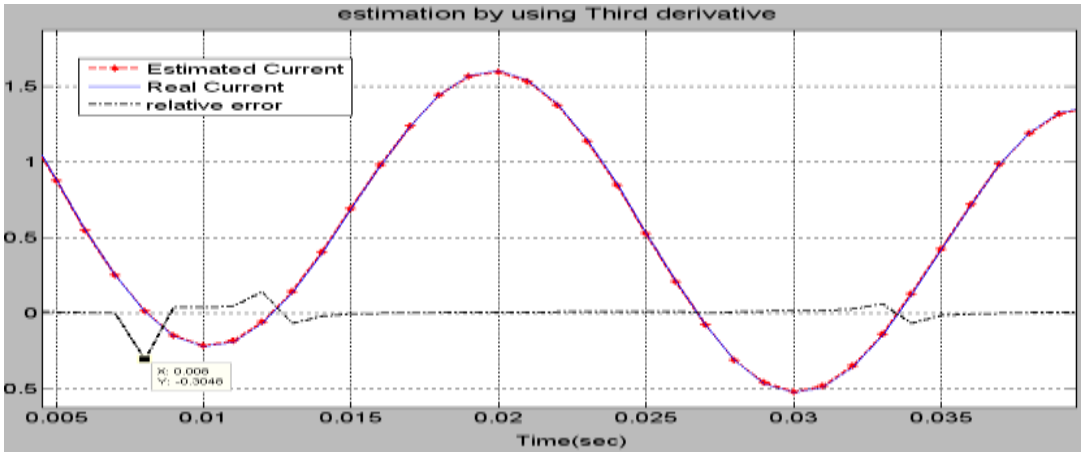
$$i'(n-3)=\frac{[i(n-3)-i(n-4)]}{T_s} \quad (20)$$

وبتعويض كلٍّ من (7)،(8)،(9)،(20) في (19) نحصل على:

$$i(n) \approx 4*i(n-1)-6*i(n-2)+4*i(n-3)-i(n- \quad (21)$$

وهي القيمة المخمنة لعينة تيار الثانوي بالاعتماد على أربع عينات سابقة متتالية.

يبين الشكل(8) دقة حساب العينات اللاحقة باستخدام المشتق الثالث (العلاقة(21)) لإشارة جيبية، حيث لم يتجاوز الخطأ النسبي في التقدير القيمة 0.3 .



الشكل(8):التخمين باستخدام المشتق الثالث.

3-4- تحديد لحظة بدء الإشباع:

بغض النظر عن طريقة التخمين للعينة التالية، فإن الإشباع يتم كشفه عندما تكون القيمة المطلقة للعينة المخمنة $i_{2e}(n)$ لتيار الثانوي أكبر من العينة الحقيقية المقاسة لتيار الثانوي $i_2(n)$

$$|i_{2e}(n)|-|i_2(n)| \succ \Delta*|i_{2e}(n)| \quad (22)$$

Δ: خطأ التقدير الأعظمي، وهو يعتمد على طريقة التخمين المعتمدة.

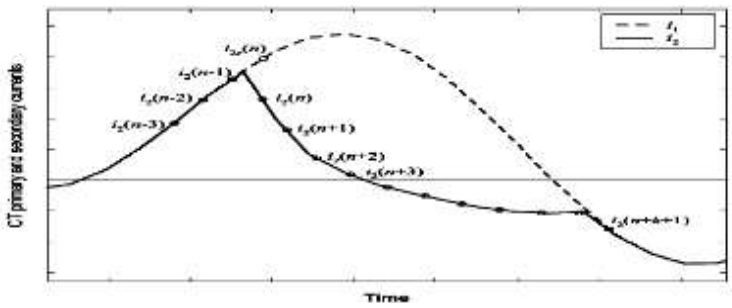
إذا كان تردد التقطيع 1000 هرتز (Fs=1000 Hz) وكان التخمين يعتمد على المشتق الأول فإن Δ ينبغي أن تكون تقريباً حوالي 0.12، أما إذا كان التخمين يعتمد على المشتق الثاني فإن Δ ينبغي أن تكون تقريباً حوالي 0.04، أما إذا كان التخمين يعتمد على المشتق الثالث فإن Δ ينبغي أن تكون تقريباً حوالي 0.02. إذا كانت المعادلة (22) محققة، فهذا يعني بأن العينة n هي الأولى في الجزء المشبع.

3-5- تحديد لحظة انتهاء الإشباع: يمكن بسهولة تحديد لحظة انتهاء الإشباع بالاعتماد على الحقيقة بأنه بين لحظة بدء الإشباع ولحظة انتهاء الإشباع، تكامل تيار ثانوي محول التيار يجب أن يكون مساوياً الصفر. لأن تزايد الفيض أثناء فترة الإشباع يكون مساوياً الصفر.

$$\int_{t_1}^{t_2} (i_2 * R)dt = 0 \qquad (23)$$

بافتراض أن بدء الإشباع حدث في منتصف المسافة بين (n-1) و(n) بحسب الشكل (9)، فإن المعادلة السابقة تصاغ كالتالي[12]:

$$\begin{aligned} &\text{sign}\left[\frac{i_2(n-1)}{8}+\frac{i_{2e}(n)}{8}+\frac{3*i_2(n)}{4}+i_2(n+1)+.....+i_2(n+k)\right]\neq \\ &\text{sign}\left[\frac{i_2(n-1)}{8}+\frac{i_{2e}(n)}{8}+\frac{3*i_2(n)}{4}+i_2(n+1)+.....+i_2(n+k)+i_2(n+k+1)\right] \end{aligned} \qquad (24)$$



الشكل(9): تحديد انتهاء الإشباع.

إذا كانت المعادلة (24) محققة، فإن العينة الأولى للجزء غير المشبع الجديد يكون(n+k+1).

3-6- إعادة تشكيل التيار المصحح:

تعطى الصيغة العامة للتيار المصحح بالمعادلة التالية[12]:

$$i_C(n+h) = \left(I_0 * e^{-2*\tau}\right) * e^{-(h+2)*\tau} - I_1 * \cos\left[\gamma + (h+2) * \varepsilon\right] \qquad (25)$$

من h المتغيرة بين الصفر(للعينة الأولى من الجزء المشبع)، وk (العينة الأخيرة من الجزء المشبع).

تساوي γ الزاوية $i_p(n-2)$، التي تعطى بالمعادلة:

$$\gamma = (\omega * t + \varphi + \varepsilon) = \text{sign}\left[i_p(n-2) - i_p(n-3)\right] * \arccos\left[\frac{-i_p(n-2)}{I_1}\right] \qquad (26)$$

$$\varepsilon = T_S * \omega \qquad (27)$$

T_S : زمن التقطيع.

وبالتالي فإن الثابت الزمني للمركبة المستمرة المتناقصة :

$$\tau \approx -\log \frac{i_2(n-1)-2*i_2(n-2)*\cos(\varepsilon)+i_2(n-3)}{i_2(n-2)-2*i_2(n-3)*\cos(\varepsilon)+i_2(n-4)} \quad \textbf{(28)}$$

فيكون مطال المركبة المستمرة:

$$I_0 \approx \frac{i_2(n-2)-2*i_2(n-2)*\cos(\varepsilon)+i_2(n-3)}{e^{-2\tau}*2*(1-\cos(\varepsilon))} \quad \textbf{(29)}$$

وهذا يمكننا من حساب العينات لمركبة التردد الأساسي كالتالي:

$$i_p(n-2)=i_2(n-2)-I_0*e^{-2\tau}=-I_1*\cos(\omega*t+\varphi+\varepsilon) \quad \textbf{(30)}$$

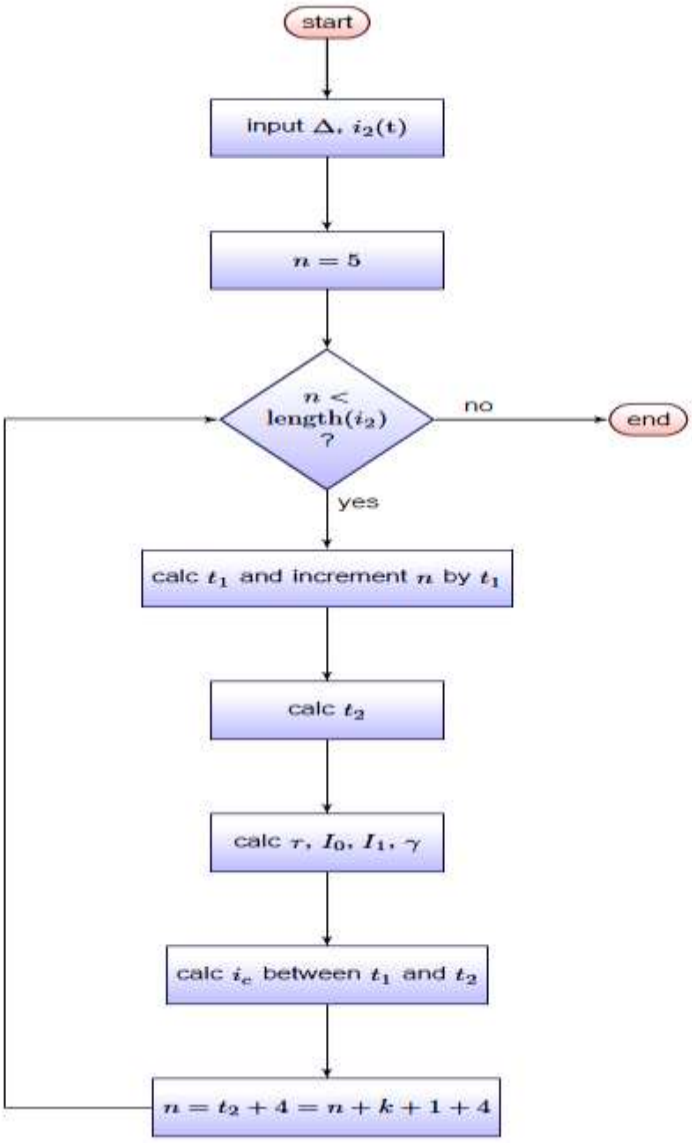
$$i_p(n-3)=i_2(n-3)-I_0*e^{-\tau}=-I_1*\cos(\omega*t+\varphi) \quad \textbf{(31)}$$

وبنفس الطريقة يمكننا حساب العينة $i_p(n-1)$ والعينة $i_p(n-3)$. بمعرفة عينات مركبة التردد الأساسي فإنه يمكننا بسهولة حساب المطال I_1.

في الحقيقة يوجد عدة خوارزميات باستخدامها يمكن حساب ذلك. أحد أبسط هذه الطرق هي التي تستخدم قيمة المركبة ومشتقها الأول في منتصف المسافة بين العينتين $i_2(n-2)$، $i_2(n-3)$ كما هو موضح في المعادلة(32):

$$I_1=\sqrt{\left(\frac{i_p(n-2)-i_p(n-3)}{2*\sin\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)}\right)^2+\left(\frac{i_p(n-2)+i_p(n-3)}{2*\cos\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)}\right)^2} \quad \textbf{(32)}$$

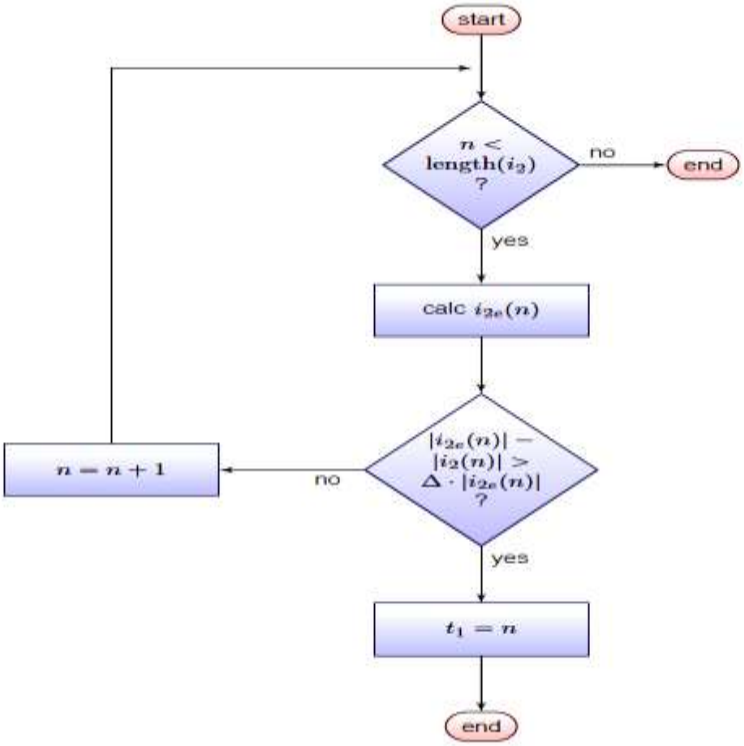
3-7- المخططات الصندوقية لعملية التصحيح: استناداً إلى المعادلات الرياضية السابقة قمنا بوضع المخططات الصندوقية لعملية التصحيح المبينة في الأشكال اللاحقة. يبين الشكل(10) المخطط الصندوقي الرئيسي للخوارزمية المستخدمة:



الشكل(10):المخطط الصندوقي للخوارزمية المستخدمة.

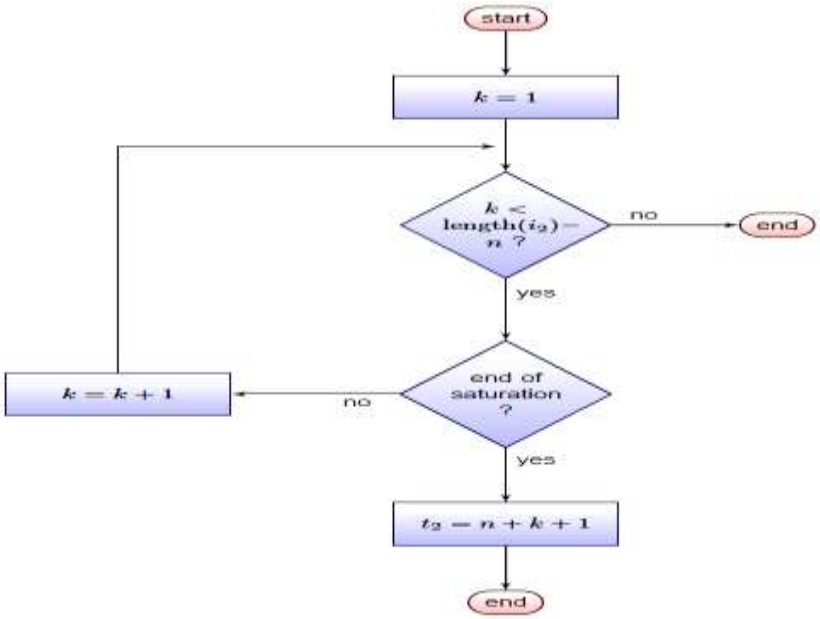
بهدف توخي الإيضاح وسهولة فهم المخطط الصندوقي الرئيسي للخوارزمية، قمنا بوضع مخططات صندوقية فرعية تبين بالتفصيل آلية تنفيذ خطوات المخطط الصندوقي الرئيسي للخوارزمية كما هو مبين في الأشكال (11)، (12)، (13).

يبين الشكل(11) المخطط الصندوقي لحساب لحظة بدء الإشباع:



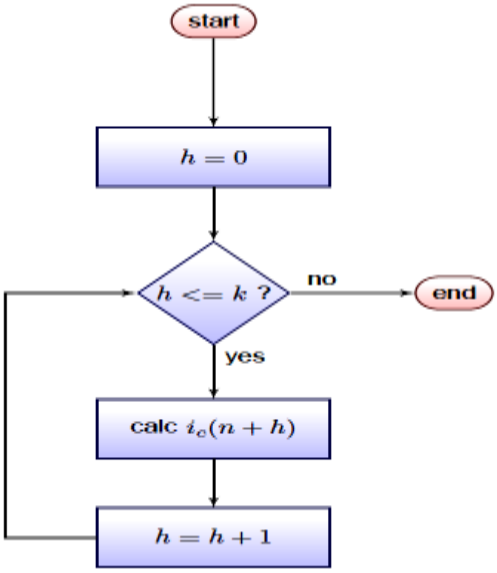
الشكل(11): المخطط الصندوقي لحساب لحظة بدء الإشباع.

يبين الشكل(12) المخطط الصندوق لحساب انتهاء الإشباع:



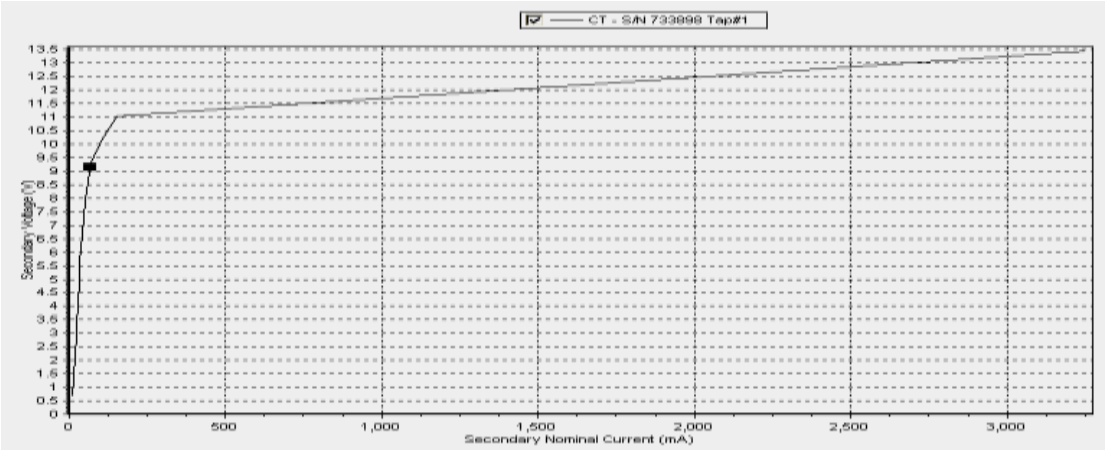
الشكل(12): المخطط الصندوق لحساب لحظة انتهاء الإشباع.

يبين الشكل(13) المخطط الصندوقي لحساب تيار التصحيح:



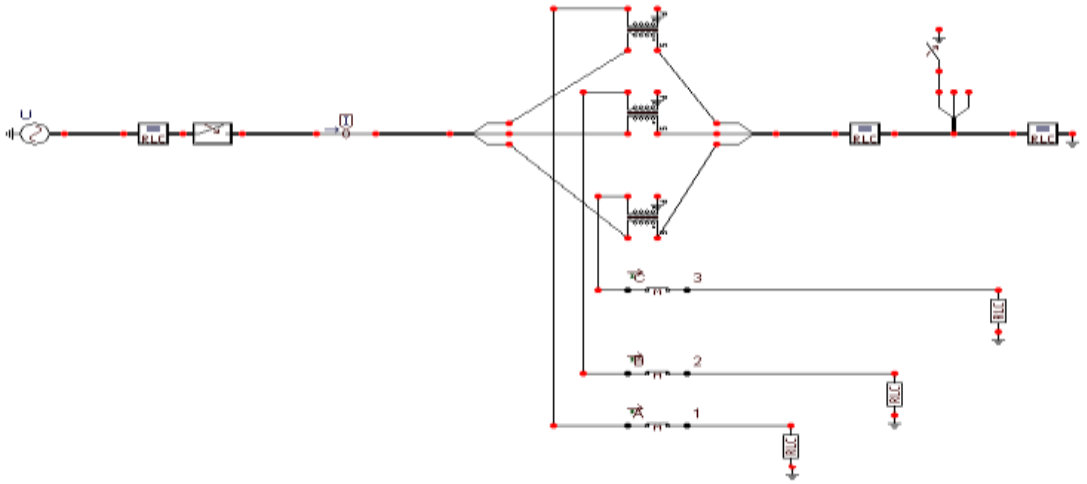
الشكل(13): المخطط الصندوقي لحساب تيار التصحيح.

بهدف التحقق من فعالية الخوارزمية المستخدمة في تصحيح تيارات العطل الحاوية على المركبة المستمرة، قمنا بتوليد عطل باستخدام برنامج EMTP–ATP لمحول تيار مواصفاته: نسبة التحويل 40/5 A، 20 P 10، 10 VA، 20 C، و باستخدام جهاز TEST SET2000 تمكنا من رسم منحني المغنطة له المبين في الشكل(14):



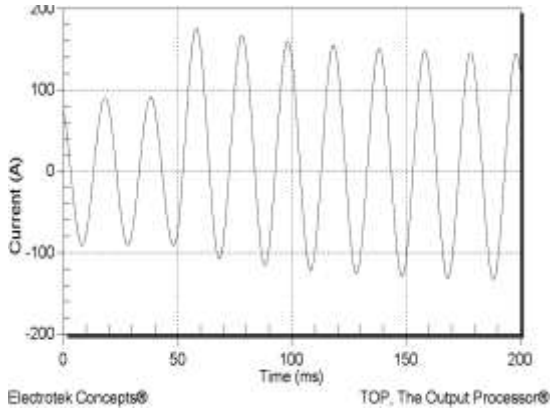
الشكل (14): منحني المغنطة لمحول التيار المستخدم.

تتألف الدارة المستخدمة والمبينة في الشكل(15)، من منبع جهد متناوب(توتره الأسمي6300 فولت، وتردده 50 هرتز) وكبل وقاطع وثلاث محولات تيار مع أحمالها ومن الحمل الكهربائي.

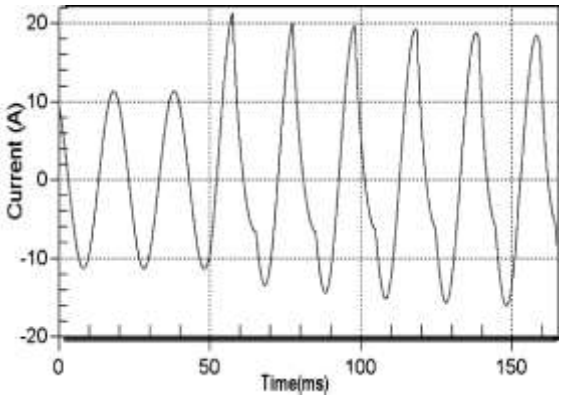


الشكل(15): الدارة المستخدمة لتحليل سلوك محول التيار عند حدوث الإشباع المغناطيسي.

بتنفيذ عطل أحادي الطور مع الأرض، فإننا سوف نحصل على إشباع حاد كما هو مبين في لشكل (17)، نتيجة احتواء تيار الأولي المبين في الشكل (16) على المركبة المستمرة .



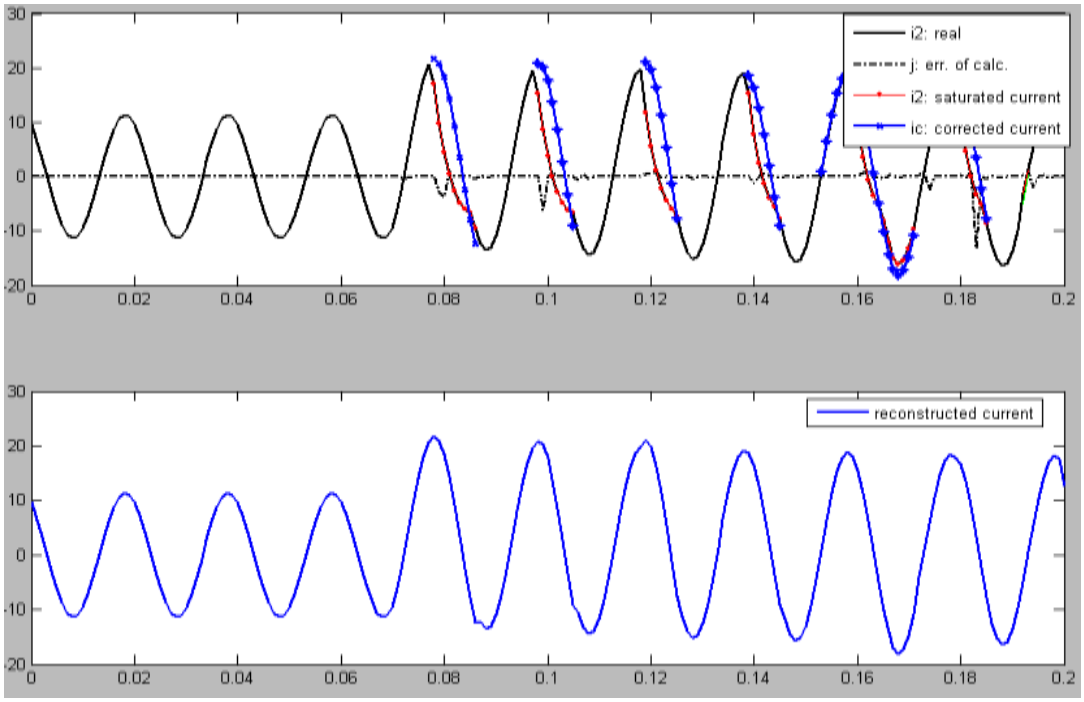
الشكل(16): تيار العطل في الملف الأولي.



الشكل(17): تيار العطل في الملف الثانوي.

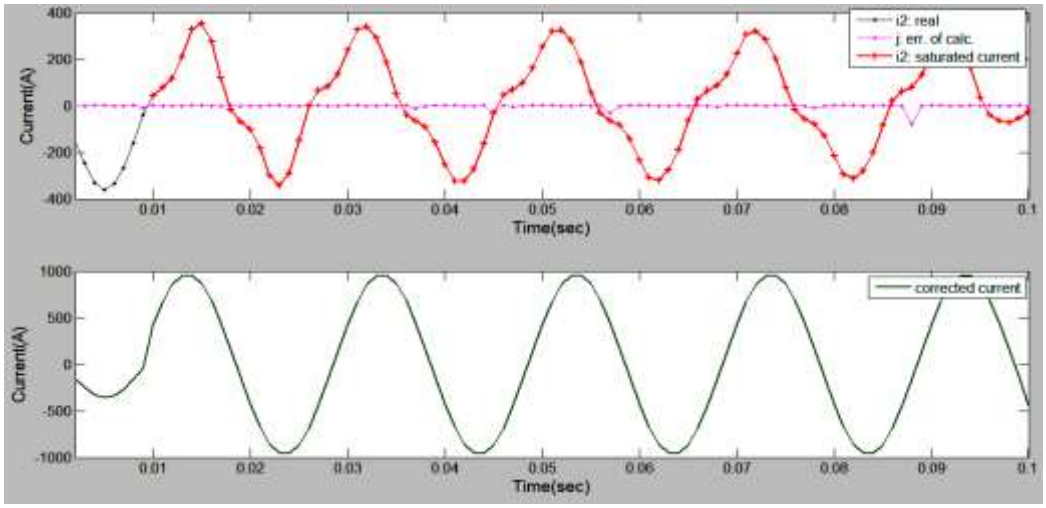
<u>التحقق من الخوارزمية السابقة:</u> اعتماداً على المخططات الصندوقية التي وضعناها واستناداً إلى المعادلات الرياضية السابقة، قمنا بوضع كود(m–file) باستخدام ماتلاب، واعتماداً عليه حصلنا على المنحنيات(18)، (19) التي تؤكد فعالية الخوارزمية السابقة في التصحيح.

بتطبيق الخوارزمية المستخدمة على موجة العطل المنفذة في برنامج EMTP–ATP، حصلنا على الشكل(18) الذي يمثل خرج برنامج ماتلاب للخوارزمية المستخدمة:



الشكل(18): التيار المصحح باستخدام الخوارزمية المستخدمة.

بتطبيق الخوارزمية على موجة العطل الحقيقية المبينة في الشكل(4) حصلنا على الشكل(19)، الذي يمثل خرج برنامج ماتلاب للخوارزمية المستخدمة:



الشكل(19): التيار المصحح باستخدام الخوارزمية المستخدمة.

تبين الأشكال (18)، (19) فعالية الخوارزمية المطورة في تصحيح تشوه موجة تيار ثانوي محول التيار خلال فترة الإشباع.

الاستنتاجات والتوصيات:

-جرى في هذا البحث دراسة سلوك ريليه زيادة التيار الرقمية (التي تستخدم مرشح فورييه في الحصول على المركبة الأساسية لتيار الثانوي) أثناء حدوث الإشباع المغناطيسي في إحدى محولات التيار.

-تم كشف وتصحيح التشويه في موجة ثانوي محول التيار باستخدام خوارزمية متطورة، تعتمد على أن استخدام أربع عينات متتالية لتيار الثانوي مأخوذة قبل حدوث الإشباع هي كافية لحساب مطال مركبة التردد الأساسي ومطال المركبة المستمرة.

-تم التحقق من صحة الخوارزمية عن طريق اختبارها باستخدام موجات عطل حقيقية وأخرى تحليلية ، حيث أثبتت فعاليتها في تصحيح تيار الثانوي.

إن استخدام هذا الحل الرياضي في أنظمة الحماية يمكن من تحسين أداء حماية زيادة التيار الرقمية وغيرها أيضاً من الحمايات، ويحقق انتقائية فصل عالية مما ينعكس إيجابياً على نظام الحماية ككل ويمكن من تلافي أي فصل خاطئ قد يحدث في الكثير من المنشآت، ويترتب عليه خروج عناصر سليمة من الخدمة وبالتالي خسائر اقتصادية كبيرة.

المراجع:

[1]- IEEE C37.110-1996. *Guide for the Application of Current Transformers Used for Protective Relaying Purposes*. 1996, 45 pages.

[2] – د.**إبراهيم**، طارق،– حماية نظم القدرة الكهربائية.جامعة تشرين، 2002–2001، 530.

[3]- PIOTR, S .*Impact Of Secondary Burden and X/R Ratio On CT Saturation*. Wroclaw University Of Technology, Faculty Of Electrical Engineering, 2005, 13pages.

[4]- PRIKLER, L.; KRISTIAN, H. *EMTP-ATP Users' Manual*. SINTEF Energy Research, USA, 2002, 350.

[5]- Prof. Dr. Q.H. Wu; Dr. Z. Lu; T.Y. Ji. *Protective Relaying of Power Systems Using Mathematical Morphology***.** SPRINGER, first edition, Dept. Electrical Engineering and Electronics, University of Liverpool, UK, 2009, 224.

[6]- Yong Cheol Kang, *Member, IEEE*; Ui Jai Lim, *Student Member, IEEE*; Sang Hee Kang, *Member, IEEE*, and Peter A. Crossley, *Member, IEEE*. *Compensation of the Distortion in the Secondary Current Caused by Saturation and Remanence in a CT*. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 19, NO. 4, OCTOBER 2004, 8.

[7]- Rebizant.w; Hayder.T; Schiel, L. *Prediction of CT Saturation Period for Differential Relay Adaptation Purposes*. *Proc.* ***of*** *the Int. Conference "Advanced Power System Automation and Protection "*, Jeju, Korea, 2004, 17-22**.**

[8]- Y.C. Kang; **J.K.** Park;**S.H.** Kang; **A.T.** Johns and R.K. Aggarwal. *An algorithm for compensating secondary current of current transformers***.** *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 12, No. 1, Jan. **1997**, 116-122.

[9]- Li.Y and Aggarwal.K. *Combined Wavelet Transform and Regression Technique for Secondary Current Compensation of Current Transformer*". *IEE Proceedings Generation, Transmission & Distribution,*Vol. 149, No. 4, July 2002, ***497-503.***

[10]- Rebizant, W, *Senior Member, IEEE*, and Daniel, B. *Current-Transformer Saturation Detection With Genetically Optimized Neural Networks*. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 22, NO. 2, APRIL 2007, 8.

[11]- Khorashadi, H and M. Sanaye-Pasand. *Correction of Saturated Current Transformers Secondary Current Using ANNs*. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 21, NO. 1, JANUARY 2006, 7.

[12]- Wiszniewski, A.; Rebizant, W. and Ludwig Schiel,. *Correction of Current Transformer Transient Performance*. IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 23, NO. 2, APRIL 2008, 9.

[13]– د.عثمان، محمود، – الأسس العامة للتحليل العددي. جامعة تشرين، 1986–1987، 285.