

دراسة الأثر المتبادل لانقطاع خطوط شبكتي التوتر المتوسط والمنخفض لمحولات التوزيع في الأحياء السكنية

الدكتور زيد بدر*

(تاريخ الإيداع 21 / 10 / 2009. قُبِلَ للنشر في 25 / 1 / 2010)

□ ملخص □

ندرس ونحلل في البحث آثار انقطاع خط أو أكثر من خطوط شبكتي التوتر المتوسط والمنخفض لمحولات التوزيع في الأحياء السكنية. ونبين مقدار انخفاض حمولة تلك الشبكات وتحديد نوعية الخطوط المنخفضة الحمولة بطرائق شعاعية .

يؤدي احتمال تزايد انقطاع خطوط شبكة التوتر المنخفض إلى تزايد الخسائر الاقتصادية عند المستهلك. لذلك أوجدنا طرائق شعاعية لإرشاد الفنيين في غرفة المراقبة والتحكم في محطة التحويل المغذية للمحولة المدروسة إلى التمييز بين انقطاع خط أو خطين من تلك الشبكة، وكذلك إلى التمييز بين الانقطاع في شبكة التوتر المنخفض أو في شبكة التوتر المتوسط .

الكلمات المفتاحية: محولات التوزيع في الأحياء السكنية، انقطاع في خطوط شبكتي التوتر المتوسط والمنخفض.

* أستاذ مساعد - قسم الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Studying The Cutting- off Effect of The Low & Medium Net-Work on The Distribution Transformer in The Residential Areas

Dr. Zaid Bader*

(Received 21 / 10 / 2009. Accepted 25 / 1 / 2010)

□ ABSTRACT □

This paper studies and analyzes the effects of cutting –off of one or two lines in low & medium net-work of the distribution transformer in the residential areas. The load reduction amount in that net could indicate and determine the kind of lower-lines load using (triangular-raw method).

The probability of cut-off- increases in that low voltage net-work increases the economical loss of the consumer. Therefore, we found a new triangular-raw method to direct the technical workers at the control-panel at the transformer station to differentiate between cutting –off one or two lines in that low voltage- net –work, and to differentiate between cutting –off on low voltage or medium voltage net-work.

Key words : distributing transformer in the residential areas- cutting –off in low & medium net-work .

*Associate professor, Dept of electrical energy, Faculty of electrical and mechanical engineering, Tishreen University, Lattakia ,Syria

مقدمة:

تؤدي محولات التوزيع في الأحياء السكنية دور الربط والتحويل بين شبكتين كهربائيتين: الأولى شبكة التوتر المتوسطة والثانية شبكة التوتر المنخفض، فهي تخفض مستوى توتر الشبكة الأولى من (20 KV) إلى مستوى التوتر المنخفض V (380) لتغذية مختلف المستهلكين بتوتراتهم الاسمية.

عادةً، تتصل ملفات هذه المحولات بشكل مثلثي نجمي مؤرض (Δ/λ_n)، بحيث تشكل المخططات الشعاعية لتوزيع القوى المحركة الكهربائية لهذه الملفات الترقيم الساعي (1) أو (11) [1,2].

ندرس الأثر المتبادل بين الأولي والثانوي للتحميل غير المتناظر بسبب انقطاع في خطوط الأولي أو الثانوي على نوع واحد من هذه المحولات وهي بترقيم ساعي (1)، ومن خلال هذه الدراسة يمكن استنتاج الأثر المتبادل بين الأولي والثانوي عند الانقطاعات المدروسة للنوع الثاني من هذه المحولات وهي بترقيم ساعي آخر (11)، حيث ستظهر الدراسة ارتباطاً كبيراً بين الترقيمين الساعيين السابقين مع خصوصية كل منهما، وذلك من خلال استنباط طرائق شعاعية للتدليل على الترقيم الساعي الثاني (11) بعد دراسة الترقيم الساعي الأول (1) لنفس المحولة.

تمّ في البحث تشكيل جداول تلخص الأثر المتبادل لشبكتي التوتر المنخفض والمتوسط لهذه المحولات عند كل حالة من عدم التناظر الناتجة عن انقطاع في خطوط هاتين الشبكتين مع رسم الدارات والمخططات الشعاعية لتيارات شبكة التوتر المتوسط أثناء انقطاع في خطوط هذه الشبكة.

في نهاية البحث تمّ التوصل إلى طريقة شعاعية ترشد الفنيين في غرفة التحكم والمراقبة في محطة التحويل المغذية للمحولة المدروسة إلى إمكانية اكتشاف الانقطاعات في شبكتي التوتر المتوسط والمنخفض لهذه المحولة بترقيمتها الساعيين .

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث وهدفه فيما يلي :

- أ- تقدير حمولة خطوط التوتر المتوسط والمنخفض السليمة لمحولة التوزيع عند انقطاع خط أو أكثر في شبكات التوتر المنخفض أو المتوسط المرتبطة مع هذه المحولة.
- ب- إمكانية تحديد أي من خطوط التوتر المنخفض المحمل بحمله الاسمي، بسبب انقطاع أحد خطوط التوتر المتوسط وتحديد حمولة الخطوط الأخرى المغايرة للحمل الاسمي.
- ج- القدرة على اكتشاف الأعطال بسبب انقطاع خطوط شبكتي التوتر المتوسط أو المنخفض من غرفة المراقبة والتحكم في محطة التحويل المغذية لمحولة التوزيع المدروسة، وتمييز أي خط حدث به الإنقطاع في الشبكتين مما ينعكس إيجاباً على الحد من الخسائر الاقتصادية الناجمة عن انقطاع الكهرباء عن بعض المستهلكين (منازل أم منشآت اقتصادية) في نفس الحي السكني أو القرية .

طرائق البحث و موادّه:

تم اعتماد المنهجية التحليلية الرياضية في البحث (طريقة المركبات المتناظرة) ومقارنة نتائج البحث مع نتائج تجارب أجريت على محولة توزيع مخبرية ($\Delta/\lambda_n - 1$) في مخبري الآلات والنظم الكهربائية في كلية الهندسة

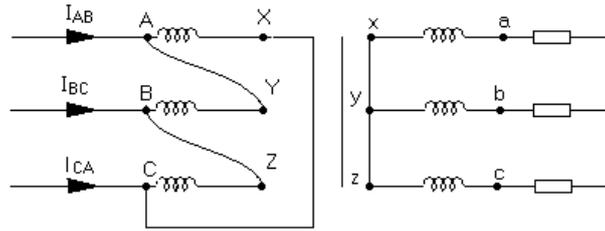
الميكانيكية والكهربائية، كما تم زيارة شركة كهرباء اللاذقية للإطلاع على كيفية التعامل مع الأعطال الناجمة عن انقطاع خطوط التوتر المنخفض أو المتوسط لمحولات التوزيع في الأحياء السكنية.

النتائج والمناقشة:

1- إيجاد تيارات الأولى للمحولة المدروسة ذات التقييم الساعي (1) عند انقطاع أحد خطوط شبكة التوتر

المتوسط :

نرسم دائرة توصيل محولة التوزيع المدروسة ذات التقييم الساعي (1) [2,3] بالشكل التالي :

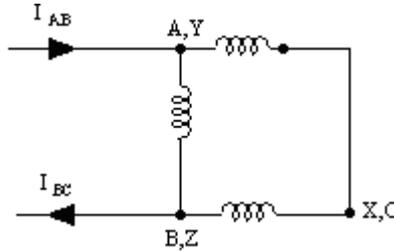


الشكل (1) دائرة وصل ملفات محولة التوزيع $(\Delta/\lambda_n - 1)$

لكي نقوم بالدراسة نحدث انقطاعاً في كل خط من خطوط أولي المحولة المدروسة (شبكة التوتر المتوسط)

- حالة انقطاع الخط (C):

اعتماداً على الشكل (1) يمكن رسم دائرة الأولى للمحولة المدروسة كما يلي:



الشكل (2) دائرة الأولى لمحولة التوزيع $(\Delta/\lambda_n - 1)$ عند انقطاع خط التوتر المتوسط (C)

نجد تيارات الأولى في هذه الحالة من التحميل كما يلي : بما أن الخط (C) قد قطع، إذن $I_{CA} = 0$

وبالتالي:

$$I_A = I_C \quad (1)$$

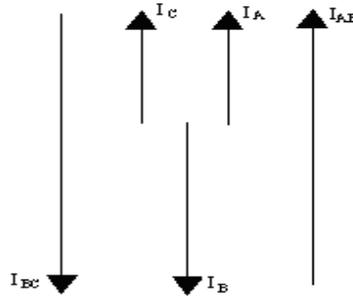
نجد من الشكل (2) أن تيار الطور (B) أكبر من تيار الطور (A) أو تيار الطور (C) بمقدار الضعف وذلك عند اعتبار أن ممانعات كافة أطوار المحولة المدروسة متساوية، والتوتر الخطي من جهة الأولى يحافظ على ثباته بعد الانقطاع بأيٍ من خطوط التوتر المتوسط:

$$I_B = 2I_C = 2I_A \quad (2)$$

إذ كانت المحولة المدروسة تعمل بحملها الاسمي قبل الانقطاع ، فإنه يمكن إيجاد تيارات أطوار الأولي بعد انقطاع الخط (C) وفق العلاقة (2) كما يلي :

$$I_B = I_n, I_A = I_C = \frac{I_n}{2} \quad (3)$$

يمكن رسم المخطط الشعاعي لتيارات الأولي ، بناءً على اعتبار أن فرق الصفحة يبلغ (180) درجة بين تيار الطور (B) وكل من تيار الطور (A) وتيار الطور (C) ، حيث تيارا الطورين (A) و(C) متساويان بالقيمة المطلقة ومنطوقان بفرق الصفحة انظر الشكل (1).



الشكل (3) المخطط الشعاعي لجملة تيارات الأولي للمحولة المدروسة عند انقطاع خط التوتر المتوسط (C)

نجد تيارات الخطوط السليمة في دارة الأولي للمحولة المدروسة كما يلي :

$$I_{AB} = I_A - I_B = \frac{I_n}{2} - (-I_n) = 1,5I_n \quad (4)$$

$$I_{BC} = I_B - I_C = -I_n - I_n / 2 = -1,5I_n$$

يمكن الآن إيجاد نسبة تحميل الخطوط السليمة (β) بعد الانقطاع مقارنة مع تيارات خطوط هذه المحولة قبل الانقطاع :

$$\beta = \frac{1,5I_n}{\sqrt{3}I_n} = 0,866 = 86,6\% \quad (5)$$

تشير المعادلة (5) إلى أن تيارات الخطوط السليمة للمحولة المدروسة في شبكة التوتر المتوسط بعد انقطاع الخط (C) تنخفض إلى (86,6%) من قيمة تيارات هذه الخطوط قبل الانقطاع، وهذا يتطابق مع نتائج التجارب التي أجريت في مخبري الآلات والنظم الكهربائية على محولة توزيع مشابهة ، حيث تم وصل ملفات المحولتين في المخبرين المذكورين بشكل مماثل لتوصيل ملفات محولات التوزيع في الأحياء السكنية (Δ/λ_n) وفق الترقيمين الساعيين السابقين ، إضافة إلى إنهما تملكان عوامل تحويل أكبر من الواحد الصحيح بحيث تحققان تخفيض توتر الأولي إلى الثانوي كما هو الحال في محولات التوزيع في الأحياء السكنية.

- إيجاد تيارات خطوط شبكة التوتر المنخفض (الثانوي) للمحولة المدروسة عند انقطاع خط التوتر المتوسط (C) :

لإيجاد أثر انقطاع خط التوتر المتوسط (C) على شبكة التوتر المنخفض للمحولة المدروسة، ندرس هذه الحالة من التحميل غير المتناظر بطريقة المركبات التناظرية .

نجد بهذه الطريقة تيارات الأولي :

-تيارات المركبات الصفرية :

$$I_{A0} = I_{B0} = I_{C0} = \frac{1}{3}(I_A + I_B + I_C) = \frac{1}{3}\left(\frac{I_n}{2} + I_n + \frac{I_n}{2}\right) = \frac{2}{3}I_n \quad (6)$$

-تيارات المركبة المنقلة في الأولي :

المركبة المنقلة عبارة عن مجموع مركبتين : مباشرة وعكسية ونرمز لها برمز الطور أو الخط بين قوسين ()

كما يلي :

$$\left. \begin{aligned} I_A &= I_{(A)} + I_{A0} \Rightarrow I_{(A)} = I_A - I_{A0} \\ I_{(B)} &= I_B - I_{B0} \\ I_{(C)} &= I_C - I_{C0} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

باستخدام العلاقة (7) نجد تيارات المركبة المنقلة في أطوار الأولي كما يلي :

$$\left. \begin{aligned} I_{(A)} &= \frac{I_n}{2} - \frac{2}{3}I_n = -\frac{I_n}{6} \\ I_{(B)} &= I_n - \frac{2}{3}I_n = \frac{I_n}{3} \\ I_{(C)} &= \frac{I_n}{2} - \frac{2}{3}I_n = -\frac{I_n}{6} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

- تيارات المركبات الصفرية والمنقلة في الثانوي :

$$\left. \begin{aligned} I_{a0} = I_{b0} = I_{c0} &= kI_{A0} = k\frac{2}{3}I_n \\ I_{(a)} &= kI_{(A)} = -k\frac{I_n}{6} \\ I_{(b)} &= kI_{(B)} = k\frac{I_n}{3} \\ I_{(c)} &= kI_{(C)} = -k\frac{I_n}{6} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

حيث : k عامل تحويل التوترات في المحولة المدروسة .

نجد الآن تيارات أطوار الثانوي بالطريقة المذكورة كما يلي :

$$\left. \begin{aligned} I_a &= I_{(a)} + I_{a0} = -k\frac{I_n}{6} + k\frac{2}{3}I_n = k\frac{I_n}{2} \\ I_b &= I_{(b)} + I_{b0} = k\frac{I_n}{3} + k\frac{2}{3}I_n = kI_n \\ I_c &= I_{(c)} + I_{c0} = -k\frac{I_n}{6} + k\frac{2}{3}I_n = k\frac{I_n}{2} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

نلاحظ من العلاقة (10) أن أثر انقطاع خط التوتر المتوسط (C) على شبكة التوتر المنخفض للمحولة المدروسة يكون بتخفيض حمولة الطورين (a,c) إلى النصف، بينما تحافظ حمولة الطور (b) على ثباتها على الحمل

الاسمي .بنفس الطريقة ندرس أثر انقطاع كل خط من الخطوط المتبقية من شبكة التوتر المتوسط على شبكة التوتر المنخفض للمحولة المدروسة، وبنتيجة ذلك نشكل الجدول (1) التالي:

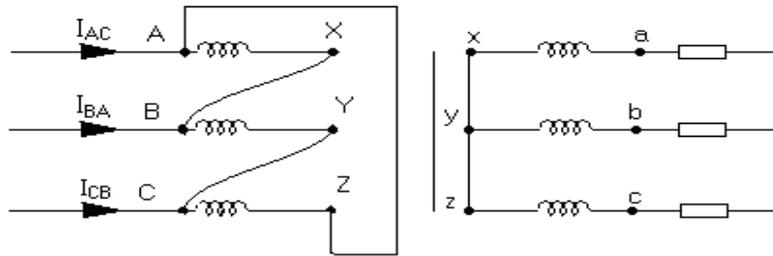
الجدول (1) يبين تيارات الأولي والثانوي، والمخططات الشعاعية لجملة تيارات الأولي، وكذلك دارات توصيل ملفات الأولي لكل حالة انقطاع من خطوط التوتر المتوسط للمحولة المدروسة من النوع $\Delta - y_n - 1$

الأولي (شبكة التوتر المتوسط) - نوع المحولة المدروسة $\Delta - y_n - 1$				الثانوي (شبكة التوتر المنخفض)		
المقطع الخت	دائرة الأولي بعد الانتقاع	المخطط الشعاعي لجملة تيارات الأولي	تيارات دائرة الأولي	تيار الطور (a)	تيار الطور (b)	تيار الطور (c)
C			$I_{AB}^+ = I_{BC}^- = 86,6\% I_{AL}$	$I_n / 2$	I_n	$\frac{I_n}{2}$
B			$I_{CA}^+ = I_{AB}^- = 86,6\% I_{CL}$	I_n	$\frac{I_n}{2}$	$\frac{I_n}{2}$
A			$I_{BC}^+ = I_{CA}^- = 86,6\% I_{BL}$	$\frac{I_n}{2}$	$\frac{I_n}{2}$	I_n
<p>- ملاحظة : 1- تيارات خطوط التوتر المتوسط قبل الانتقاع I_{CL}, I_{BL}, I_{AL}</p> <p>2- تيارات خطوط الأولي السليمة بعد الانتقاع ذات اتجاه يوافق اتجاه تيارات الخطوط قبل الانتقاع $I_{AB}^+, I_{BC}^+, I_{CA}^+$</p> <p>3- تيارات خطوط الأولي السليمة بعد الانتقاع ذات اتجاه يعاكس اتجاه تيارات الخطوط قبل الانتقاع $I_{AB}^-, I_{BC}^-, I_{CA}^-$.</p>						

2- إيجاد تيارات الأولي للمحولة المدروسة ذات الترقيم الساعي (11) عند انقطاع أحد خطوط شبكة التوتر

المتوسط :

نرسم دائرة توصيل ملفات محولة التوزيع ($\Delta / y_n - 11$) بالشكل التالي [4 و 1]:



الشكل (4) دائرة وصل ملفات محولة التوزيع المدروسة ($\Delta / y_n - 11$)

نقوم بنفس خطوط الدراسة في الفقرات (4) ، (4-1) ، (4-2) و نتيجة الدراسة نشكل الجدول (2) .

الجدول (2) يبين تيارات الأولي والثانوي والمخططات الشعاعية لجملة تيارات الأولي، وكذلك دارات توصيل ملفات الأولي لكل حالة انقطاع

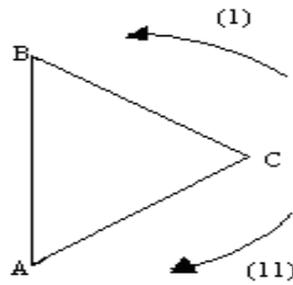
من خطوط التوتر المتوسط للمحولة المدروسة من النوع $\Delta - y_n - 11$

الأولي (شبكة التوتر المتوسط) - نوع المحولة المدروسة $\Delta - y_n - 11$				الثانوي (شبكة التوتر المنخفض)		
الخط المقطوع	دائرة الأولي بعد الانقطاع	المخطط الشعاعي لجملة تيارات الأولي	تيارات دائرة الأولي	تيار الطور (a)	تيار الطور (b)	تيار الطور (c)
C			$I_{AC}^+ = I_{BA}^- = 86,6\% I_{AL}$	I_n	$\frac{I_n}{2}$	$\frac{I_n}{2}$
B			$I_{CB}^+ = I_{AC}^- = 86,6\% I_{CL}$	$\frac{I_n}{2}$	$\frac{I_n}{2}$	I_n
A			$I_{BA}^+ = I_{CB}^- = 86,6\% I_{BL}$	$\frac{I_n}{2}$	I_n	$\frac{I_n}{2}$

3- الطريقة الشعاعية لإيضاح أثر انقطاع خطوط التوتر المتوسط على شبكة التوتر المنخفض لمحولة

التوزيع في الأحياء السكنية :

يمكن استنباط طريقة شعاعية لإظهار أثر انقطاع خط من خطوط التوتر المتوسط على حمولة الثانوي للمحولة المدروسة . جوهر هذه الطريقة هو الدوران على رؤوس مثلث التوترات الخطية لأولي المحولة المدروسة الشكل (5)، حيث كل رأس من رؤوس هذا المثلث يرمز لخط من خطوط التوتر المتوسط، وبنفس الوقت يوافق طوراً واحداً من أطوار الثانوي ، حيث بداية الدوران يكون من الرأس الموافق لخط التوتر المتوسط المقطوع .



الشكل (5) - مثلث التوترات الخطية لأولي المحولة المدروسة

يستطيع الفني المراقب لأجهزة قياس الأمبير في غرفة المراقبة والتحكم في محطة التحويل المغذية لمحولة التوزيع المدروسة، التقدير أنه حدث انقطاع بأحد خطوط التوتر المتوسط وذلك عندما تهبط حمولة الخطين الآخرين إلى 86,6% من حمولتها الاسمية إضافة إلى أن مقياس الأمبير للخط المقطوع سيشير إلى الصفر . هنا نشير إلى أن هبوط تيار أحد خطوط التوتر المتوسط إلى الصفر لا يعني إنه حدث انقطاع به، وإنما يمكن أن يكون هذا الهبوط ناتجاً عن انقطاع بخطوط التوتر المنخفض، كما سنرى لاحقاً في الفقرات التالية، فالمحدد الأساسي لمعرفة إنه حدث انقطاع في خطوط المتوسط هو انخفاض حمولة الخطوط الأخرى إلى (86,6%) من حمولتها الاسمية .

بعد تحديد الخط المقطوع وبالتالي رمز رأس المثلث الموافق لهذا الخط ، تبدأ عملية الدوران من هذا الرأس بعكس عقارب الساعة بالنسبة للمحولة $(1 - \Delta / y_n)$ ، عند ذلك أول رأس تال عند الدوران يوافق رمز طور الثانوي المحمل بحملة الاسمي ، أما الطوران الأخران المتبقيان فتهبط حمولتهما إلى النصف. على سبيل المثال عند انقطاع خط التوتر المتوسط (A) ، فإن الرأس التالي بالدوران من الرأس (A) عكس عقارب الساعة للمحولة $(1 - \Delta / y_n)$ هو الرأس (C) و بالتالي طور الثانوي (c) للمحولة المدروسة هو الطور المحمل بحملة الاسمي ، أما الطوران الأخران (a) و (b) فتهبط حمولتهما إلى النصف (انظر الجدول (1)) .

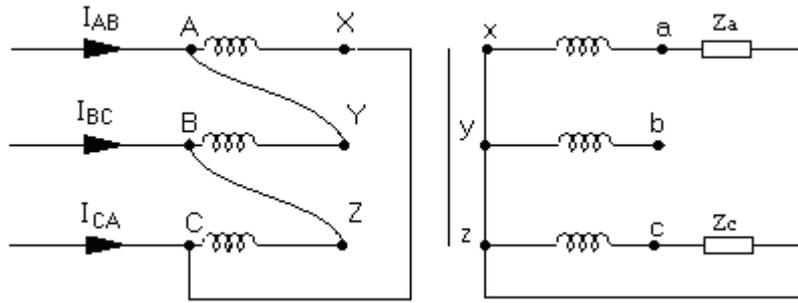
أما بالنسبة للترقيم الساعي الآخر للمحولة المدروسة $(11 - \Delta / y_n)$ فيكون الدوران مع عقارب الساعة ابتداءً من الرأس الموافق للخط المقطوع (انظر الجدول (2)) . تم على الشكل (5) تحديد جهة الدوران لكل نوع من أنواع الترقيم الساعي للمحولة المدروسة بأسهم ممثلة.

4- دراسة أثر انقطاع خطوط التوتر المنخفض للمحولة المدروسة على أحمال خطوط التوتر المتوسط :

- حالة انقطاع طور واحد من الثانوي :

عند دراسة أثر انقطاع طور واحد من الثانوي على شبكة الأولي، نحدث إنقطاعاً بكل طور من أطوار الثانوي و يبقى الطوران الآخران يعملان بحملهما الاسمي . سندرس حالة انقطاع طور واحد فقط و ليكن الطور (b)، عند ذلك الطوران الآخران (a) و (c) يعملان بحملهما الاسمي. ثم بعد ذلك سنشكل جداول تلخص الدراسة لانقطاع مختلف أطوار الثانوي للمحولة المدروسة بترقيمها الساعيين (1) و (11) .

عند انقطاع طور الثانوي (b) للمحولة المدروسة ذات الترقيم الساعي (1) تصبح دارتها على الشكل التالي:



الشكل (6) انقطاع طور الثانوي (b) لمحولة التوزيع (1) $(\Delta / y_n - 1)$

من الدارة السابقة وعند العمل الاسمي حتى لحظة انقطاع الطور (b)، فإن تيارات الثانوي تأخذ القيم التالية :

$$I_a = I_c = I_n, I_b = 0$$

ندرس هذه الحالة من عدم التناظر بطريقة المركبات المتناظرة :

نجد الآن المركبات الصفرية والمنتقلة لتيارات الثانوي :

$$I_{a0} = I_{b0} = I_{c0} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = \frac{2}{3}I_n \quad \text{- المركبات الصفرية :}$$

$$\left. \begin{aligned} I_{(a)} &= I_a - I_{a0} = I_n - \frac{2}{3}I_n = \frac{I_n}{3} \\ I_{(b)} &= I_b - I_{b0} = 0 - \frac{2}{3}I_n = -\frac{2}{3}I_n \\ I_{(c)} &= I_c - I_{c0} = I_n - \frac{2}{3}I_n = \frac{I_n}{3} \end{aligned} \right\} \text{- المركبات المنتقلة: (11)}$$

- المركبات الصفرية والمنتقلة لتيارات الأولي:

$$\left. \begin{aligned} I_{A0} = I_{B0} = I_{C0} = \frac{I_{a0}}{k} = \frac{2 I_n}{3 k} \\ I_{(A)} = \frac{I_{(a)}}{k} = \frac{I_n}{3k} \\ I_{(B)} = \frac{I_{(b)}}{k} = -\frac{2 I_n}{3 k} \\ I_{(C)} = \frac{I_{(c)}}{k} = \frac{I_n}{3k} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

باستخدام العلاقات (12) نجد تيارات أطوار الأولي:

$$\left. \begin{aligned} I_A = I_{(A)} + I_{A0} = \frac{I_n}{3k} + \frac{2}{3k} I_n = \frac{I_n}{k} \\ I_B = I_{(B)} + I_{B0} = -\frac{2 I_n}{3 k} + \frac{2 I_n}{3 k} = 0 \\ I_C = I_{(C)} + I_{C0} = \frac{I_n}{3k} + \frac{2}{3k} I_n = \frac{I_n}{k} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

الآن نجد تيارات خطوط التوتر المتوسط بالاستعانة بالعلاقات (13) :

$$\left. \begin{aligned} I_{AB} = I_A - I_B = \frac{I_n}{k} - 0 = \frac{I_n}{k} \\ I_{BC} = I_B - I_C = 0 - \frac{I_n}{k} = -\frac{I_n}{k} \\ I_{CA} = I_C - I_A = \frac{I_n}{k} - \frac{I_n}{k} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

من العلاقات (14) نجد أن تيار أحد خطوط التوتر المتوسط انخفض إلى الصفر نظرياً ، بينما ينخفض عملياً إلى تيار التمتعظ الممكن إهماله تجاه تيار العمل الاسمي ، حيث تظهر التجربة التي أجريت على محولة مخبرية من النوع $(1 - y_n / \Delta)$ في مخبر النظم الكهربائية أن أحد خطوط الأولي (التوتر المتوسط) قد انخفض إلى تيار التمتعظ والبالغ $A (0.07)$ بفعل انقطاع في أحد خطوط الثانوي (التوتر المنخفض) ، أما تيار الخطين الآخرين فينخفض بنسبة (β_1) :

$$\beta_1 = \frac{I_n}{\sqrt{3}I_n} = 57,7\% \quad (15)$$

الآن نشكل الجدولين (3) و (4) ، حيث الجدول (3) يخص المحولة المدروسة ذات الترقيم الساعي (1)، أما الجدول (4) فيخص المحولة المدروسة ولكن بترقيم ساعي آخر (11). هذان الجدولان يبينان أثر انقطاع أحد خطوط الثانوي (شبكة التوتر المنخفض) على شبكة الأولي (التوتر المتوسط) للمحولة المدروسة.

الجدول (3) يبين أثر انقطاع أحد أطوار الثانوي على تيارات الأولي والثانوي للمحولة من النوع $\Delta / y_n - 1$

$\Delta / y_n - 1$: نوع المحولة -			الأولي (شبكة التوتر المتوسط) -					الثانوي (شبكة التوتر المنخفض)		
تيار الخطوط السليمة	الخط الذي هبطت حملته إلى الصفر	تيار الطور (C)	تيار الطور (B)	تيار الطور (A)	الطور المقطوع	تيار الطور السليم الثاني	تيار الطور السليم الأول			
$I_{BC}^+ = I_{CA}^- = 57,7\% I_{BL}$	$A, I_{AB} = 0$	0	I_n	I_n	c	$I_a = I_n$	$I_b = I_n$			
$I_{AB}^+ = I_{BC}^- = 57,7\% I_{AL}$	$C, I_{CA} = 0$	I_n	0	I_n	b	$I_c = I_n$	$I_a = I_n$			
$I_{CA}^+ = I_{AB}^- = 57,7\% I_{CL}$	$B, I_{BC} = 0$	I_n	I_n	0	a	$I_b = I_n$	$I_c = I_n$			

الجدول (4) يبين أثر انقطاع أحد أطوار الثانوي على تيارات الأولي والثانوي للمحولة من النوع $\Delta / y_n - 11$

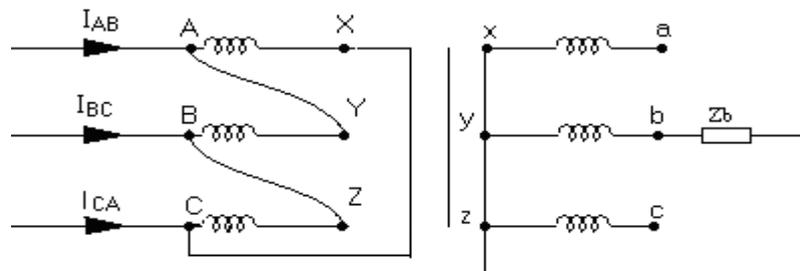
$\Delta / y_n - 11$: نوع المحولة -			الأولي (شبكة التوتر المتوسط) -					الثانوي (شبكة التوتر المنخفض)		
تيار الخطوط السليمة	الخط الذي هبطت حملته إلى الصفر	تيار الطور (C)	تيار الطور (B)	تيار الطور (A)	الطور المقطوع	تيار الطور السليم الثاني	تيار الطور السليم الأول			
$I_{AC}^+ = I_{CB}^- = 57,7\% I_{AL}$	$B, I_{BA} = 0$	0	I_n	I_n	c	$I_b = I_n$	$I_a = I_n$			
$I_{CB}^+ = I_{BA}^- = 57,7\% I_{CL}$	$C, I_{CA} = 0$	I_n	0	I_n	b	$I_a = I_n$	$I_c = I_n$			
$I_{BA}^+ = I_{AC}^- = 57,7\% I_{BL}$	$B, I_{BC} = 0$	I_n	I_n	0	a	$I_c = I_n$	$I_b = I_n$			

حالة انقطاع خطين من خطوط الثانوي :

ندرس حالة واحدة من احتمال انقطاع خطين من خطوط الثانوي للمحولة المدروسة وأثر ذلك على حمولة شبكة التوتر المتوسط المغذية لهذه المحولة .

في نهاية الفقرة، سنشكل الجدولين (5) و (6) الملخصين لدراسة أثر انقطاع خطين من خطوط الثانوي للمحولة المدروسة بتقييميها الساعيين على شبكة التوتر المتوسط.

عند انقطاع خطي الثانوي (a,c) للمحولة المدروسة ذات التقييم الساعي (1)، تصبح دارتها على الشكل (7) التالي:

الشكل (7) انقطاع خطين من ثانوي المحولة المدروسة ($\Delta / y_n - 1$)

ندرس هذه الحالة من التحميل غير المتناظر بطريقة المركبات المتناظرة وذلك بعد اعتبار أن الخط السليم محمل بحملة الاسمي:

نجد تيارات المركبات الصفرية والمنتقلة في الثانوي :

$$I_{a0} = I_{b0} = I_{c0} = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c) = \frac{I_n}{3} \quad \text{- المركبات الصفرية :}$$

- المركبات المنتقلة :

$$\left. \begin{aligned} I_{(a)} &= I_a - I_{a0} = 0 - \frac{I_n}{3} = -\frac{I_n}{3} \\ I_{(c)} &= I_c - I_{c0} = 0 - \frac{I_n}{3} = -\frac{I_n}{3} \\ I_{(b)} &= I_b - I_{b0} = I_n - \frac{I_n}{3} = 2\frac{I_n}{3} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

نجد الآن المركبات الصفرية والمنتقلة لتيارات أطوار الأولى :

- المركبات الصفرية :

$$I_{A0} = I_{B0} = I_{C0} = \frac{I_{a0}}{k} = \frac{I_n}{3k} \quad (17)$$

- المركبات المنتقلة :

$$\left. \begin{aligned} I_{(A)} &= \frac{I_{(a)}}{k} = -\frac{I_n}{3k} \\ I_{(C)} &= \frac{I_{(c)}}{k} = -\frac{I_n}{3k} \\ I_{(B)} &= \frac{I_{(b)}}{k} = 2\frac{I_n}{3k} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

نجد تيارات أطوار الأولى بمساعدة العلاقات (18) و (17) :

$$\left. \begin{aligned} I_A &= I_{(A)} + I_{A0} = -\frac{I_n}{3k} + \frac{I_n}{3k} = 0 \\ I_C &= I_{(C)} + I_{C0} = -\frac{I_n}{3k} + \frac{I_n}{3k} = 0 \\ I_B &= I_{(B)} + I_{B0} = \frac{2I_n}{3k} + \frac{I_n}{3k} = \frac{I_n}{k} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

يمكن إيجاد تيارات خطوط الأولى بمساعدة العلاقات (19) كما يلي :

$$\left. \begin{aligned} I_{AB} &= I_A - I_B = 0 - \frac{I_n}{k} = -\frac{I_n}{k} \\ I_{BC} &= I_B - I_C = \frac{I_n}{k} - 0 = \frac{I_n}{k} \\ I_{CA} &= I_C - I_A = 0 - 0 = 0 \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

من العلاقة (20) نستنتج أن تيار أحد خطوط شبكة التوتر المتوسط المغذية للمحولة المدروسة قد انخفض إلى الصفر نظرياً بفعل انقطاع خطين من شبكة التوتر المنخفض (ثانوي المحولة) . في حقيقة الأمر فإن هذا التيار ينخفض إلى قيمة تيار التمغنط، وهذا تثبته التجربة التي أجريت على محولة مخبرية مشابهة للمحولة المدروسة . كما هو معروف فإن تيار التمغنط يبلغ قيمةً صغيرة جداً تجاه تيار الحمل الاسمي، ولذلك يمكن إهماله . أما تيارا الخطين الآخرين من شبكة التوتر المتوسط فينخفضان إلى نفس النسبة (β_1) أثناء انقطاع خط واحد من شبكة التوتر المنخفض (شبكة الثانوي للمحولة المدروسة) .

يلاحظ أن اثر انقطاع خط أو خطين من ثانوي المحولة المدروسة على شبكة التوتر المتوسط المغذية لهذه المحولة، له نفس النتائج من ناحية تخفيض تيار أحد خطوط شبكة التوتر المتوسط إلى الصفر نظرياً، وتخفيض تيار الخطين الآخرين إلى 57,7% من حملتهما الاسمية . لكن ترتيب تسميات هذه الخطوط (A,B,C) تختلف عند كل حالة انقطاع، عند استخدام محولات التوزيع بأرقام ساعية مختلفة .

الآن نشكل الجدولين (5) و (6) اللذين يعرضان نتائج دراسة أثر انقطاع خطين من الثانوي على شبكة التوتر المتوسط المغذية للمحولة المدروسة بترقيهما الساعيين.

الجدول (5) يبين أثر انقطاع خطين من خطوط الثانوي على تيارات الأولي والثانوي للمحولة من النوع $\Delta / y_n - 1$

الأولي (شبكة التوتر المتوسط) - نوع المحولة : $\Delta / y_n - 1$						الثانوي (شبكة التوتر المنخفض)	
تيار الخط السليم	الخطين المقطوعين	تيار الطور (A)	تيار الطور (B)	تيار الطور (C)	الخط الذي هبطت حملته إلى الصفر	تيار الخطوط السليمة	
$I_b = I_n$	c , a	0	I_n	0	$C, (I_{CA} = 0)$	$I_{BC}^+ = I_{AB}^- = 57,7\% I_{BL}$	
$I_a = I_n$	c , b	I_n	0	0	$B, (I_{BC} = 0)$	$I_{AB}^+ = I_{Ca}^- = 57,7\% I_{AL}$	
$I_c = I_n$	b , a	0	0	I_n	$A, (I_{AB} = 0)$	$I_{CA}^+ = I_{BC}^- = 57,7\% I_{CL}$	

الجدول (6) يبين أثر انقطاع خطين من خطوط الثانوي على تيارات الأولي والثانوي للمحولة من النوع $\Delta / y_n - 11$

الأولي (شبكة التوتر المتوسط) - نوع المحولة : $\Delta / y_n - 11$						الثانوي (شبكة التوتر المنخفض)	
تيار الخط السليم	الخطين المقطوعين	تيار الطور (A)	تيار الطور (B)	تيار الطور (C)	الخط الذي هبطت حملته إلى الصفر	تيار الخطوط السليمة	
$I_b = I_n$	c , a	0	I_n	0	$C, (I_{CA} = 0)$	$I_{BC}^+ = I_{AB}^- = 57,7\% I_{BL}$	
$I_a = I_n$	c , b	I_n	0	0	$B, (I_{BC} = 0)$	$I_{AB}^+ = I_{Ca}^- = 57,7\% I_{AL}$	
$I_c = I_n$	b , a	0	0	I_n	$A, (I_{AB} = 0)$	$I_{CA}^+ = I_{BC}^- = 57,7\% I_{CL}$	

$I_{BA}^+ = I_{CB}^- = 57,7\%I_{BL}$	$A, (I_{AC} = 0)$	0	I_n	0	c , a	$I_b = I_n$
$I_{AC}^+ = I_{BA}^- = 57,7\%I_{AL}$	$C, (I_{CB} = 0)$	0	0	I_n	b , c	$I_a = I_n$
$I_{CB}^+ = I_{AC}^- = 57,7\%I_{CL}$	$B, (I_{BA} = 0)$	I_n	0	0	b , a	$I_c = I_n$

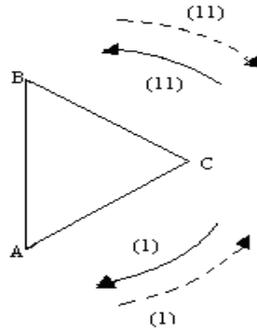
5- الطريقة الشعاعية لإظهار أثر انقطاع خطوط التوتر المنخفض للمحولة المدروسة على خطوط شبكة

التوتر المتوسط المغذية لها .

- تحديد خط التوتر المتوسط الذي تهبط حملته إلى الصفر .

- تحديد خط التوتر المتوسط الذي تهبط حملته إلى الصفر من جراء انقطاع خط واحد من خطوط الثانوي

لمعرفة خط التوتر المتوسط الذي تهبط حملته إلى الصفر أثناء انقطاع أحد خطوط الثانوي ، نلجأ إلى طريقة الدوران على رؤوس مثلث التوترات الخطية الشكل (8).



الشكل (8) مثلث التوترات الخطية لأولي المحولة المدروسة

إذا كانت المحولة المدروسة بالترقيم الساعي (1) - $(\Delta/y_n - 1)$ ، فإن جهة الدوران تكون مع عقارب الساعة ابتداءً من الرأس الموافق للخط المقطوع، عند ذلك أول رأس تالٍ بجهة الدوران السابقة يكون موافقاً لخط التوتر المتوسط الذي تهبط حملته إلى الصفر نظرياً، أما إذا كانت المحولة المدروسة بالترقيم الساعي (11) - $(\Delta/y_n - 11)$ ، فإن جهة الدوران ابتداءً من رمز خط الثانوي المقطوع، تكون بعكس عقارب الساعة، حيث تم على الشكل تحديد جهة الدوران للترقيمين السابقين باسم ممثلة .

على سبيل المثال إذا كانت المحولة المدروسة من النوع $(\Delta/y_n - 1)$ وكان خط الثانوي (c) هو الخط المقطوع، فإن أول رأس تالٍ بالدوران مع عقارب الساعة ابتداءً من رأس المثلث (C) هو الرأس (A) وبالتالي خط التوتر المتوسط (A) هو الخط الذي تهبط حملته إلى الصفر (انظر الجدول (3)) .

- تحديد خط التوتر المتوسط الذي تهبط حملته إلى الصفر من جراء انقطاع خطين من خطوط الثانوي :

نستخدم هنا أيضاً طريقة الدوران على رؤوس مثلث التوترات الخطية لأولي المحولة المدروسة الشكل (8)، لكن بداية الدوران يكون الرأس الموافق للخط السليم (غير المقطوع) في الثانوي ، متبعاً نفس الاتجاهات السابقة بالدوران، فإذا كانت المحولة المدروسة من النوع $(\Delta/y_n - 1)$ ، فإن جهة الدوران تكون مع عقارب الساعة، أما إذا كانت هذه المحولة من النوع $(\Delta/y_n - 11)$ فتكون جهة الدوران بعكس عقارب الساعة (الاتجاهات موضحة بأسهم ممتلئة على الشكل (8) للتحقق من ذلك أنظر الجدولين (5 ، 6) .

- تحديد خطوط الثانوي المقطوعة بفعل هبوط تيار أحد خطوط التوتر المتوسط إلى الصفر

بطريقة معاكسة للتحليل السابق، نتمكن من تحديد أي من خطوط شبكة التوتر المنخفض (ثانوي المحولة) الذي ينقطع بفعل هبوط تيار أحد خطوط التوتر المتوسط إلى الصفر .

يمكن تحديد هذا الخط من غرفة المراقبة و التحكم في محطة التحويل المغذية للمحولة المدروسة، و ذلك عندما يشير مقياس الأمبير لهذا الخط إلى الصفر وبذلك يكون هذا الخط الموافق لرأس المثلث الشكل (8) نقطة البداية بالدوران على رؤوس المثلث المذكور و تكون جهة الدوران بالنسبة للمحولة من النوع $(\Delta/y_n - 1)$ بعكس عقارب الساعة، أما بالنسبة للمحولة من النوع $(\Delta/y_n - 11)$ فتكون جهة الدوران مع عقارب الساعة. الاتجاهات موضحة على الشكل (8) بأسهم منقطة .

بنفس الوقت، يمكن تحديد خطي الثانوي المقطوعين عند هبوط تيار أحد خطوط التوتر المتوسط إلى الصفر بالطريقة السابقة، وبنفس اتجاهات الدوران بالأسهم المنقطة، ولكن يكون أول رأس تالي بالدوران على رؤوس المثلث هو الرأس الموافق للخط السليم (غير المقطوع) في الثانوي، وبالتالي، يكون الخطان المتبقيان هما الخطان المقطوعان . هنا تصادفنا مشكلة وهي عدم إمكانية معرفة، هل حدث انقطاع بخط واحد أم بخطين في الثانوي أثناء هبوط تيار أحد خطوط التوتر المتوسط إلى الصفر؟ نجد الجواب لهذه المشكلة في الفقرة التالية :

- التمييز بين انقطاع خط أو خطين من خطوط الثانوي للمحولة المدروسة عند هبوط تيار أحد خطوط التوتر**المتوسط إلى الصفر .**

وجدنا في الفقرات السابقة، أنه عند انقطاع خط أو خطين في شبكة الثانوي للمحولة المدروسة بترقيميها الساعيين تنخفض حمولة أحد خطوط التوتر المتوسط إلى الصفر، وتنخفض أيضاً حمولة الخطين الآخرين إلى % (57.7) من حملتهما الاسمية . لذلك ، إذا عالجنا هذا الأمر بطريقة معاكسة؛ أي انطلقنا من معرفة ما يحدث في الأولي (شبكة التوتر المتوسط) من انخفاض حمولة أحد الخطوط إلى الصفر وحمولة الخطين الآخرين إلى % (57.7) من حملتهما الاسمية، لا نستطيع إلى الآن التقدير بأنه حدث انقطاع بخط واحد أم بخطين من خطوط الثانوي .

يمكن إرشاد الفنيين في غرفة المراقبة والتحكم في محطة التحويل المغذية للمحولة المدروسة إلى نوعية الانقطاع في الثانوي : هل يحدث الانقطاع بخط واحد أم بخطين، لذلك نحلل مجموعتي الجداول (3,5) و(4,6) كل على حدة ، حيث المجموعة الأولى من الجداول تخص المحولة من النوع $(\Delta/y_n - 1)$ ، أما المجموعة الثانية من الجداول (6 , 4) فتخص المحولة من النوع $(\Delta/y_n - 11)$ على حالتين من الانقطاعات :

- حالة انقطاع خطوط شبكة الثانوي للمحولة من النوع (1) (Δ/y_n) :

نستطيع التأكد من أنه حدث انقطاع بخط واحد في شبكة الثانوي ، عندما يكون تيار الخط في شبكة التوتير المتوسط التالي للخط الذي هبطت حمولته إلى الصفر باتجاه موجب (نفس اتجاه تيار الخط قبل الانقطاع) ضمن ترتيب تسميات الخطوط (A-B-C) ، أما تيار الخط الآخر فيكون باتجاه معاكس (يعاكس اتجاه تيار الخط قبل الانقطاع).

على سبيل المثال: عند الفرض أن تيار خط التوتير المتوسط (A) قد هبط إلى الصفر ، فإن تيار الخط الذي يليه (B) يكون باتجاه موجب أما تيار الخط الآخر (C) فيكون باتجاه سالب (انظر الجدول (3)) . كما أنه نستطيع التأكد من أنه حدث انقطاع بخطين في الثانوي لهذا النوع من المحولات عندما يصبح تيار الخط (B) التالي للخط (A) الذي هبطت حمولته إلى الصفر وفق الترتيب السابقة (A-B-C) باتجاه معاكس أما تيار الخط الآخر (C) فيصبح باتجاه موجب (انظر الجدول (5)) .

- حالة انقطاع خطوط شبكة الثانوي للمحولة المدروسة من النوع (11) (Δ/y_n) :

عند تحليل مجموعة الجداول (4,6) ، نجد أنه توجد إمكانية للتمييز بين انقطاع خط واحد أو خطين من الثانوي عند هبوط تيار أحد خطوط التوتير المتوسط إلى الصفر . نتأكد أنه حدث انقطاع بخط واحد عندما يكون تيار الخط التالي للخط الذي هبطت حمولته إلى الصفر باتجاه موجب، ولكن ضمن ترتيب آخر لتسميات الخطوط وهي (C-B-A) ، بينما يكون اتجاه تيار الخط الآخر باتجاه معاكس.

على سبيل المثال : إذا كان الخط (A) قد هبطت حمولته إلى الصفر ، فإن تيار الخط التالي (C) وفق ترتيب الخطوط السابقة باتجاه موجب، أما تيار الخط الآخر (B) فيكون باتجاه سالب (انظر الجدول (4)). لكن عندما ينقطع خطان من الثانوي يكون اتجاه تيار الخط (C) التالي للخط (A) وفق ترتيب الخطوط السابقة (C-B-A) سالباً ، بينما يصبح تيار الخط الآخر (B) موجباً (انظر الجدول (6)) .

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- عند انقطاع أحد خطوط شبكة التوتير المتوسط المغذية لمحولة التوزيع في الأحياء السكنية، تنخفض حمولة الخطوط الأخرى من هذه الشبكة إلى 86.6% من حمولتها قبل الانقطاع، بينما تنخفض حمولة خطين من خطوط شبكة التوتير المنخفض (شبكة الثانوي) إلى النصف، وتبقى حمولة الخط الثالث محافظة على قيمتها الاسمية.
- 2- بطرق شعاعية، يمكن تحديد أي من خطوط شبكة التوتير المنخفض للمحولة المدروسة بترقيمتها الساعي (11)،(1) الذي يبقى على حملة الاسمي أثناء انقطاع أحد خطوط شبكة التوتير المتوسط وأي من الخطوط التي تهبط حمولتها إلى النصف.
- 3- يمكن تحديد الترتيم الساعي لأية محولة توزيع تعمل في الأحياء السكنية وذلك من خلال تحليل نتائج انقطاع خطوط التوتير المنخفض أو المتوسط وفق الجداول (1-6) .
- 4- تنخفض حمولة خطين من شبكة التوتير المتوسط المغذية للمحولة المدروسة بترقيمتها الساعين المذكورين إلى 57.7% من حمولتها الاسمية أثناء انقطاع خط أو خطين من شبكة التوتير المنخفض، بينما تهبط حمولة الخط

الثالث إلى قيمة تيار التمغنط الذي يبلغ قيمةً صغيرةً مقارنةً مع تيار الحمل الاسمي وبالتالي يمكن اعتبار أن تيار هذا الخط قد هبط إلى الصفر نظرياً، وذلك لأن مقاييس الأمبير المركبة على خطوط شبكة التوتر المتوسط لا تتحسس لقيمة هذا التيار أثناء العمل [5]

5- استنباط طرق شعاعية لتحديد خط التوتر المتوسط الذي تهبط حملته إلى الصفر أثناء انقطاع خط أو خطين من شبكة التوتر المنخفض للمحولة المدروسة، وأيضاً بعملية معاكسة وفق هذه الطرق، يمكن تحديد خطوط التوتر المنخفض المقطوعة لشبكة ثانوي هذه المحولة، وذلك من جراء انخفاض تيار أحد خطوط شبكة المتوسط إلى الصفر.

6- يمكن إرشاد الفنيين في غرفة المراقبة والتحكم في محطة التحويل المغذية للمحولة المدروسة إلى التمييز فيما إذا كان حدث انقطاع بخط واحد أم بخطين من شبكة التوتر المنخفض لهذه المحولة بنتيجة هبوط تيار أحد خطوط شبكة التوتر المتوسط إلى الصفر.

7- يمكن من خلال التوسع بهذه الدراسة إرشاد الفنيين في غرفة المراقبة والتحكم إلى معرفة في أي شارع أو مجموعة منازل في الحي السكني حدث فيه انقطاع بالكهرباء، مما ينعكس إيجاباً على الحد من الخسائر الاقتصادية للمستهلك الناتجة عن عدم السرعة في إيصال الكهرباء بعد انقطاعه.

المراجع:

- 1- CERHEENKOF, B.N.; KICELEF, V.M.; AKIMOF, N.A. *Electrical Machines Transformers*. Moscow, Veshia Shkola, 1989, 348.
- 2- WANG, H.; BUTLER, K.L. *Neural Network Modeling of Distribution Transformers With Internal Short Circuit Winding Faults Power Industry Computer Applications*. PICA 2001, 22nd. IEEE. Power Engineering Society International Conference on 20-24 May 2001, 122-127.
- 3- HEUNIS, S.W.; HERMAN, R. *Thermal Loading Guide Of Residential Distribution Transformers Based on Time-Variant Current Load Power Systems*, IEEE. Transactions on Volume 19, Issue 3, 2004, 1294-1298.
- 4- CARDOSO, B.P.; DE SALLES, C.; MRATINEZ, M.L.B.; DE OLIVEIRA, H.R.P.M. *Distribution Transformers Performance*, Power Tech, IEEE Russia, 2005, 1-6.
- 5- Test Report, No: 0600536, Product Type SFZ9-30000/66, *Oil-Immersed Power Transformers*. Shandong Dachi Electric, Co., Ltd-P.R. China, 2006, 97.