

دراسة مقارنة وفقاً لـ IEC vs ANSI لحساب إجراء تيارات دائرة القصر في أنظمة الطاقة

أحمد رحيل الشتيوي¹، عبدالله دوفان جمعة²، خالد عبدالمولى الشيباني³، عبدالسلام ميلود شاعوف⁴

¹جامعة غريان، غريان، ليبيا

²جامعة غريان، غريان، ليبيا

³جامعة غريان، غريان، ليبيا

⁴جامعة غريان، غريان، ليبيا

ahmed.amselk@gmail.com¹، Abdallahadofan@gmil.com²، khaledeng2010@yahoo.com³، abedessalam@gmail.com⁴

الملخص: أصبحت شبكات أنظمة الطاقة معقدة للغاية بسبب النمو الصناعي، وهذا قد يكون عرضة لاضطرابات مختلفة ويحتاج إلى حل سريع، لذلك فإن اختيار الطريقة المناسبة لحساب تيارات القصر له أهمية خاصة من حيث كل من الاعتبارات الاقتصادية واعتبارات السلامة، وفي هذه الورقة، يتم إجراء دراسة دائرة القصر لنظام توزيع الطاقة النموذجي لمنشأة صناعية باستخدام برنامج (power factory)، ويتم فحص تيارات أعطال النظام لطرق الحساب المختلفة، تقدم الدراسة أهم العلاقات المتبادلة التي تصف المقادير المميزة لتيارات القصر الكهربائي لمعيار IEC ومعيار IEEE / ANSI، وتم إجراء هذه المقارنة على أساس الحسابات التي تم إجراؤها على شبكة MV الصناعية النموذجية.

الكلمات المفتاحية: IEC، ANSI، دائرة القصر، IEEE.

الطاقة والمحولات وما إلى ذلك لتحمل تيار دائرة القصر اللحظي في وقت الخطأ.

1. المقدمة.

بشكل عام، يوفر كل من IEC و ANSI طرقاً موثوقة لحساب تيارات دائرة القصر في أنظمة الطاقة، على سبيل المثال، إذا كان هناك قدر كبير من التحميل غير المتوازن أو عوامل أخرى تؤثر على مقاومة النظام، فقد يكون نهج ANSI المعتمد على المعاوقة أكثر دقة من نهج المكونات المتماثل لـ IEC، ومن ناحية أخرى، إذا لم تكن هناك مثل هذه العوامل التي تؤثر على مقاومة النظام، فقد يكون نهج المكون المتماثل لـ IEC أكثر ملاءمة لأنه أبسط وأسرع في الاستخدام من نهج ANSI القائم على المعاوقة.

2. تيارات القصر اسبابها ونتائجها وتصنيفها.

دائرة القصر عبارة عن دائرة كهربائية ذات مقاومة منخفضة للغاية، مما يسمح بتدفق كمية كبيرة من التيار خلالها ويمكن أن

ANSI (المعهد الوطني الأمريكي للمعايير) و IEC (اللجنة الكهروتقنية الدولية) هما من أكثر المعايير استخداماً لحساب تيارات دائرة القصر في أنظمة الطاقة ويوفر كلا من المعيارين مجموعة من الإجراءات لتحديد الحد الأقصى لتيار دائرة القصر الذي يمكن أن يتدفق عبر النظام ويتمثل الاختلاف الرئيسي بين المعيارين في الطريقة التي يحسبون بها تيار دائرة القصر.

تغطي إجراءات الحساب الواردة في المعيار الأمريكي بشكل أساسي فقط الحد الأقصى لتيارات دائرة القصر اللازمة لاختيار أجهزة التبديل، حيث إنها تشكل جزءاً فقط من معيار أوسع يصف المتطلبات لاختيار المفاتيح الكهربائية ذات الجهد المتوسط. يجب تصميم مكونات نظام الطاقة مثل كبلات

1. IEEE Std C37.010-1979.

2. IEEE Std C37.5-1979.

3. IEEE Std 141-1993.

4. IEEE Std 241-1990.

5. IEEE Std 242-1986.

معايير IEEE التي تتناول حسابات الأخطاء لأنظمة الجهد المنخفض (أقل من 1000 فولت)، هي :

1. IEEE Std C37.13-1990.

2. IEEE Std 141-1993.

3. IEEE Std 241-1990.

4. IEEE Std 242-1986.

يتم تحديد ثلاثة أنواع من تيارات دائرة القصر، اعتمادًا على الإطار الزمني من بداية الخطأ، مثل :

1. تيارات الدورة الأولى.

2. التيارات المقاطعة.

3. تيارات تأخير الوقت.

تيارات الدورة الأولى، والتي تسمى أيضًا التيارات اللحظية، هي التيارات عند $\frac{1}{2}$ دورة بعد بدء الخطأ؛ إنها تتعلق بواجهة قواطع الدائرة الكهربائية عند "الإغلاق" أو تحمل التيارات ذات دائرة القصر وهذا هو السبب في أن هذه التيارات تسمى أيضًا التيارات "القريبة والمغلقة". غالبًا ما تحتوي هذه التيارات على إزاحة التيار المستمر، ويتم حسابها على أساس عدم وجود تناسق في المصادر المساهمة.

تيارات المقاطعة هي تيارات دائرة القصر في الفاصل الزمني من 3 إلى 5 دورات بعد بدء

يتسبب ذلك في زيادة الحمل على الدائرة، مما يؤدي إلى زيادة التيار أو حتى نشوب حريق.

تحدث الدوائر القصيرة عادةً بسبب خلل في الأسلاك أو تلف العزل الموجود على الأسلاك، مما يسمح بتدفق الكهرباء بينهما دون المرور عبر أي مكونات أخرى ويمكن أن تكون ناجمة أيضًا عن أضرار المياه أو عوامل بيئية أخرى، وتشمل الأسباب الأخرى المكونات المعيبة مثل المفاتيح أو الصمامات والأسلاك غير الصحيحة.

يمكن أن تتراوح أضرارها من أضرار طفيفة للمكونات في الدائرة، إلى أضرار كبيرة في المعدات والأجهزة الكهربائية ويمكن أن تتسبب أيضًا في نشوب حرائق وانفجارات إذا كان التيار قويًا بدرجة كافية، بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تتسبب في انقطاع التيار الكهربائي في بعض المناطق وتسبب في عدم استقرار الشبكة.

يتم تصنيف دائرة القصر حسب موقعها في النظام الكهربائي وشدها ويحدث القصر المباشر عندما يتلامس سلكان مع بعضهما البعض بشكل مباشر، بينما يحدث قصر غير مباشر عندما يتلامس سلكان مع بعضهما البعض بشكل غير مباشر من خلال مكون آخر مثل المفاتيح، والقصر ذو المستوى المنخفض هو الذي يسبب ضررًا طفيفًا بينما القصر عالي المستوى هو الذي يسبب ضررًا كبيرًا.

3. النمطان الأمريكيان ANSI/IEEE C37

معايير IEEE التي تتناول حسابات الأخطاء للجهد المتوسط والعالي هي :

يهدف هذا المعيار إلى توفير طريقة واحدة لتحسين دقة حسابات التكاليف والارباح لمشاريع التوليد والنقل الكهربائي، ويتضمن معيار IEC 60909 معايير لتحديد مستوى المخاطر والتكاليف والمنافع لمشروع التوليد والنقل.

يستند هذا النمط إلى معايير IEC 60050-151 و IEC 60050-191. يستهدف هذا النمط أساساً بالنسبة لتوفير أداء موثوق وسهولة الاستعمال لتحديد السعة والتوافق للنظام الكهربائي.

1.4. ينطبق هذا الجزء من المواصفة القياسية IEC 60909 على طرق حساب تيارات دائرة القصر.

- 1- في أنظمة التيار المتغير ذات الجهد المنخفض وثلاثية الأطوار.
 - 2- في أنظمة التيار المتغير ذات الجهد العالي وثلاثية الأطوار.
- التي تعمل بمعدل تردد طبيعي 50 هرتز أو 60 هرتز، تحتاج الأنظمة في الأجهاد العالية التي تصل إلى 550 كيلو فولت وأكثر مع خطوط نقل الحركة الطويلة إلى تناولها بشكل خاص.

وضع هذا الجزء من المواصفة القياسية IEC 60909 إجراءات عامة وعملية ودقيقة تؤدي إلى النتائج التي تتميز بدقة مقبولة بصفة عامة، وفي طريقة الحساب هذه يتقدم مصدر الجهد في موقع دائرة القصر، وهي لا تستبعد استخدام طرق خاصة على سبيل المثال طريقة التراكب المعدلة لظروف خاصة، إذا قدموا على الأقل نفس مستوى الدقة، وتقدم طريقة التراكب

الخطأ وإنها تتعلق بالتيارات التي نشعر بها معدات المقاطعة عند عزل الخطأ، ومن ثم، يشار إليها أيضاً باسم تيارات "فراق الاتصال"، وهذه التيارات غير متكافئة، أي أنها تحتوي على تعويض التيار المستمر، ولكن يتم الآن تقابل التيار المتردد بسبب الوقت المنقضي من بداية الخطأ وتؤخذ جميع المصادر المساهمة في الاعتبار عند حساب التيارات المقاطعة بحكم التفاعلات التي تتراوح من شبه عابر إلى عابر.

التيارات المتأخرة بالوقت هي التيارات ذات دائرة القصر التي تتعدى 6 دورات (وحتى 30 دورة) من بدء الخطأ وإنها مفيدة في تحديد التيارات المستشعرة بالمرحلات المتأخرة بالوقت وفي تقييم حساسية مرحلات التيار الزائد ويفترض أن هذه التيارات لا تحتوي على تعويض التيار المستمر، ويتم إهمال مساهمات المحرك التعريفي والمتزامن، ويفترض أن المولدات المساهمة قد حققت تفاعلات عابرة أو ذات قيمة أعلى.

4. النمط الدولي IEC60909.

معيار IEC60909 هو معيار دولي لحساب تيارات دائرة القصر في الأنظمة الكهربائية ثلاثية الطور، يوفر طريقة حساب الحد الأقصى لتيار دائرة القصر الذي يمكن أن يتدفق عبر النظام بالإضافة إلى الحد الأدنى والحد الأقصى لمستويات الخطأ الحالية التي يمكن توقعها، ويوفر المعيار أيضاً إرشادات حول كيفية اختيار الأجهزة الواقية مثل الصمامات وقواطع الدائرة وكيفية ضبط حجمها بشكل صحيح، بالإضافة إلى ذلك، فإنه يحدد متطلبات اختبار وتشغيل الأنظمة الكهربائية.

على أساس القياسات التي تؤخذ في موقع دائرة القصر المحتملة التي نحن بصدددها.

يعتمد حساب مقاومة دائرة القصر بصفة عامة على معلومات المعادلات للأجهزة الكهربائية والتنسيق الطبولوجي للنظام ويتميز بإمكانيته لكل من الأنظمة القائمة والأنظمة في مرحلة التخطيط.

تحسب تيارين دائرة القصر، التي تختلف من حيث مقدارها، بصفة عامة كما يلي:

1. أقصى معدل لتيار دائرة القصر الذي يحدد قدرة أو معدل الأجهزة الكهربائية.

2. أدنى معدل لتيار دائرة القصر الذي قد يكون، على سبيل المثال، أساساً لاختيار المصاهر، ولوسط الأجهزة الوقائية، ولفحص تشغيل المولدات، لاحظ أنه من المفترض أن التيار في دائرة القصر ثلاثية الأطوار متزامنة في كل الأقطاب.

تضمن هذه المواصفة القياسية فحوصات دوائر القصر غير المتزامنة، التي قد تؤدي إلى عناصر عالية لا دورية لتيار دائرة القصر.

لا تشمل هذه المواصفة القياسية على تيارات دائرة القصر التي يعتمد انشاؤها تحت ظروف متحكم فيها (محطات اختبار دائرة القصر).

2.4 حيث ينقسم النمط الدولي (IEC 60909) الي خمس أجزاء.

Part 1: Calculation of currents.

Part 2: Factors for the calculation of short-circuit currents according to IEC 60909-0.

تيار دائرة القصر ذات الصلة بتدفق حمل واحد مفترض مسبقاً، ومن ثمة فإن هذه الطريقة لا تؤدي بالضرورة إلى أقصى تيار دائرة القصر.

يتناول هذا الجزء من المواصفات القياسية IEC 60909 لحساب تيارات دائرة القصر في حالة اتزان أو عدم اتزان دوائر القصر في حالة وجود مجرى ناقل عرضي أو ناقل بين موصل بخط واحد والأرض، يجب التمييز بين الحالتين التاليتين نظراً لخصائصها وأثارها الفيزيائية المختلفة (التي ينتج عنها متطلبات مختلفة لحسابها):

1. دائرة القصر خط متصل بالأرض، داخل نظام أرضي محايد ثابت أو نظام مقاومة أرضية محايد.

2. عطل في الخط أحادي الطور المتصل بالأرض الذي يحدث في نظام معزول أرضي محايد أو نظام أرضي محايد رنين. هذا العطل ناتج عن نطاق هذه المواصفة القياسية ومن ثمة فهي لا تتعامل معها.

بالنسبة للتيارات من خلال دائرتين قصيرتين منفصلتين متزامنتين أحادية الطور وبخط متصل بالأرض في نظام معزول محايد أو نظام رنين أرضي محايد، انظر إلى المواصفة القياسية IEC 60909-3، قد لا تحدد أيضاً تيارات دائرة القصر ومقاومة دائرة القصر من خلال اختبارات النظام، أو من خلال القياس بناءً على محلل شبكي، أو من خلال جهاز حاسب الي رقمي، في الأنظمة ذات الجهد المنخفض الموجودة، من الممكن أن تحدد نسبة مقاومة دائرة القصر

يهتم بدراسة عوامل حساب تيارات ذات دائرة القصر طبقاً للموصفات النظام الدولي ومحتويات هذا الجزء :

- 1- مقدمة عامة.
- 2- العوامل المستخدمة في نمط الدولي (IEC 60909-0).

الجزء الثالث: بيانات حسابات تيار دائرة القصر وفقاً للمواصفة (IEC 909 (1988) ومحتويات هذا الجزء :

- 1- مقدمة عامة.
- 2- القسم الأول عام نطاق والهدف والوثائق المرجعية.
- 3- قسم الثاني بيانات المعدات الكهربائية.

الجزء الرابع: التيارات خلال دارتين قصيرتين منفصلتين متزامنتين من خط إلى أرض وتيارات دائرة القصر جزئية تتدفق عبر الأرض ويهتم بدراسة التيارات خلال دائرتين حدت فيهم قصر منفصلين متزامنتين من خط إلى الأرض وتيارات قصر جزئية تتدفق عبر الأرض ومحتويات هذا الجزء :

- 1- مجال التطبيق.
- 2- المراجع المعيارية.
- 3- المصطلحات والتعريفات.
- 4- الرموز.
- 5- التيارات خلال دائرتين قصيرتين منفصلتين أحادية الطور متزامنة الأرض.
- 6- تتدفق التيارات الجزئية ذات دائرة القصر عبر الأرض في حالة القصر الكهربائي غير متوازن.

Part 3: Electrical equipment - Data for short-circuit current calculations in accordance with IEC 909 (1988).

Part 4: Currents during two separate simultaneous line-to-earth shortcircuits and partialshort-circuit currents flowing through earth.

Partie 5: Exemples pour le calcul des courants de court-circuit.

الجزء الأول: حساب التيارات (Calculation of currents)

حيث يهتم هذا الجزء حساب تيارات القصر بنمط الدولي (IEC60909) ومحتويات هذا الجزء :

- 1- النطاق.
- 2- المراجع المعيارية.
- 3- المصطلحات والتعاريف.
- 4- الرموز والنصوص والمخطوطات العلوية.
- 5- حساب خصائص تيارات القصر.
- 6- المعدات الكهربائية ممانعة قصر الكهربائي.
- 7- حساب قصر الدائرة الاولى.
- 8- حساب تيار القصر الكهربائي في الذروة.

- 9- حساب تيار القطع المتماثل.
- 10- مكون DC لتيار القصر الكهربائي.
- 11- حساب تيار دائرة القصر المستقرة.
- 12- دوائر القصر في جانب الجهد المنخفض للمحولات.
- 13- دائرة القصر طرفية للمحركات غير المتزامنة.

الجزء الثاني: عوامل حساب التيارات ذات دائرة القصر وفقاً للمواصفة (IEC 60909-0).

وموجزًا يؤدي إلى نتائج تكون بشكل عام ذات دقة مقبولة، بالنسبة لطريقة الحساب هذه، يكون مصدر جهد مكافئ عندما يتم تقديم موقع دائرة القصر، وهذا لا يستبعد استخدام الأساليب الخاصة، على سبيل المثال طريقة التراكب، معدلة لظروف معينة، إذا أعطت على الأقل نفس الدقة، وطريقة التراكب تعطي تيار دائرة القصر المرتبط بتدفق الحمل المفروض مسبقًا، هذا وبالتالي لا تؤدي بالضرورة إلى الحد الأقصى لتيار دائرة القصر.

يتناول هذا الجزء من المواصفة القياسية IEC 60909 حساب تيارات دائرة القصر في حالة الموازنة أو دوائر القصر غير متوازنة في حالة وجود مسار موصل عرضي أو مقصود بين موصل خط واحد و الأرضي، يجب تمييز الحالتين التاليتين بوضوح فيما يتعلق باختلافهما الخصائص والتأثيرات الفيزيائية (التي تؤدي إلى متطلبات مختلفة لحسابها):

- 1- القصر الكهربائي من خط إلى الأرض، يحدث في نظام محايد مؤرض بقوة أو ممانعة نظام محايد مؤرض.
- 2- خطأ خط أرضي واحد، يحدث في نظام مؤرض محايد معزول أو رنين نظام محايد مؤرض، وهذا الخطأ خارج النطاق، وبالتالي لا يتم التعامل معه في هذا المعيار.

بشكل عام، يجب حساب تيارات القصر، والتي تختلف في حجمها.

الجزء الخامس: أمثلة من أجل حساب تيارات القصر وفقا لنمط الدولي (IEC 60909-0)

هذا الجزء يوضح أمثلة لحساب تيار القصر باستخدام النمط الدولي.

3.4. القوانين المستخدمة لحساب تيارات القصر وفقا لموصفات النمط الدولي (IEC 60909).

لحساب تيارات القصر وفقا لنمط الدولي (IEC 60909)، باستخدام القوانين التالية:

$$ZT = \frac{u_{Kr}}{100\%} * \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}}$$

$$RT = \frac{U_{Rr}}{100\%} * \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}}$$

$$XT = \sqrt{Z_{T}^2 - R_{T}^2}$$

$$I_K = \frac{U_N}{\sqrt{3}(Z_{Th})}$$

U_{rT}^2 : هو الجهد للمحول علي جانب الجهد العالي او الجهد المنخفض.

S_{rT} : هي القدرة الواضحة المقدرة للمحول.

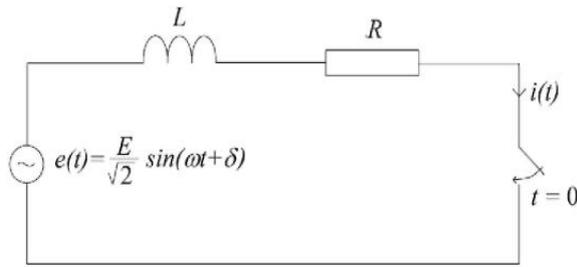
u_{Kr} : هو جهد دائرة القصر عند التيار المقنن بالنسبة المئوية.

U_{Rr} : هو المكون المقاوم المقنن لجهد دائرة القصر بالنسبة المئوية.

5. دراسة القصر في شبكة الجهد المتوسط.

تحتاج الأنظمة ذات الفولتية القصوى البالغة 550 كيلو فولت وما فوق مع خطوط النقل الطويلة، يحدد هذا الجزء من المواصفة القياسية IEC 60909 إجراءات عامًا وعمليًا

تغطي حسابات دائرة القصر نطاقًا واسعًا، والعنصر الأكثر أهمية هو تحديد خصائص القيم لتدفق تيار دائرة القصر I_r في دائرة R.L بالتناوب الحالي الذي يظهر في الشكل (1)، بعد الإغلاق على الفور $t = 0$ للموصل، سيتدفق التيار $i(t)$ ، كما هو موضح بواسطة المعادلة (1).



الشكل (1) R.L دائرة التيار المتردد

$$i(t) = \frac{\sqrt{2}E}{Z} \sin(\omega t + \delta - \varphi) - \frac{\sqrt{2}E}{Z} \sin(\delta - \varphi) e^{-\frac{R}{L}t}$$

$$i(t) = i_{A.C} + i_{D.C}$$

معادلة رقم (1)

حيث: $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ وحدة مقاومة النقل، دائرة مغلقة، $\varphi = \arctg(\omega L / R)$ جذر متوسط مربع مصدر الجهد، E زاوية الجهد عند المثال $t = 0$ لحدوث دائرة القصر، $\omega = 2\pi f$ ، قد يكون هناك مكونان محددان في المعادلة (1)، الأول يتعلق أحدهما بمكون التيار المتردد $i_{A.C}$ ، القسري في دائرة بمصدر الجهد، المكون الثاني غير دوري مكون من تيار القصر $i_{D.C}$ ، يتلاشى مع مرور الوقت.

R / L يحدث عندما لا يمكن للتيار في الدائرة تغيير باستخدام وضع الخطوة، وبالتالي فإن

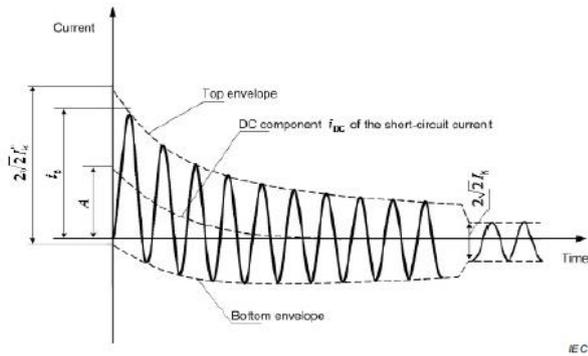
ملاحظة: يفترض أن التيار في دائرة القصر ثلاثية الطور يتم في نفس الوقت في جميع الأقطاب، وتحقيقات دوائر القصر غير المتزامنة، والتي قد تؤدي إلى مكونات غير دورية أعلى لتيار القصر.

لا تغطي هذه المواصفة القياسية تيارات القصر التي تم إنشاؤها عمدًا تحت المراقبة.

الاستثمارات في البنية التحتية لهندسة الطاقة، مثل إنشاء خطوط كهرباء جديدة وتركيب محولات أو وحدات توليد الطاقة في محطات الطاقة كلها مسبوقة بتحليلات عديدة، بما في ذلك التقييمات التقنية.

دقة حسابات دائرة القصر لها تأثير على سلامة أنظمة هندسة الطاقة نفسها وكذلك سلامة الإنسان، خلال حالة دائرة القصر، التيارات أعلى عدة مرات من التيارات العاملة تتدفق عبر عناصر الشبكة، وحيث دائرة القصر يجب إلغاء تنشيطه على الفور عن طريق فتح ملف قاطع الدائرة - اختيار معدات التوصيل الصحيحة له أهمية حيوية هنا، وإذا تم توصيل قاطع الدائرة والسعة غير كافية فلن تكون قادرة على قمع القوس والتي قد تحدث أثناء فتح الدائرة، وفي مثل حالة حدوث تلف للجهاز وقد يؤدي ذلك إلى حدوث عطل بغطي مساحة أكبر من الشبكة مما قد يؤدي إلى زيادة كبيرة في الخسائر. من ناحية أخرى، يتم تركيب قواطع مع تصنيفها التيار مع كسر قدرة أكبر بكثير مما كان متوقعًا، التيارات غير مبررة من الناحية الاقتصادية.

القصر المستقر أقل، هذا نتيجة لتغيير مسار التدفق داخل المولد خلال حالة قصر الدائرة، في البداية، يتم دفع التدفق من التيارات المستحثة في قفص وفي المجال المتعرج، هذه التيارات تتلاشى مع مرور الوقت و يدخل التدفق تدريجياً مما يزيد من تفاعل قيمة المولد، في الحالة الأولى من القصر، الشرط المفاعلة هو الأدنى ويفترض قيمة 15%. (حالة شبه عابرة)، خلال حالة دائرة القصر يزيد إلى ما يقرب من 30% (حالة عابرة) ثم تصل إلى أقصى قيمة 200% (حالة ثابتة). ونتيجة لذلك، فإن المفاعلة من الدائرة خلال حالة دائرة القصر وينخفض اتساع تيار دائرة القصر كما موضح في الشكل (3).



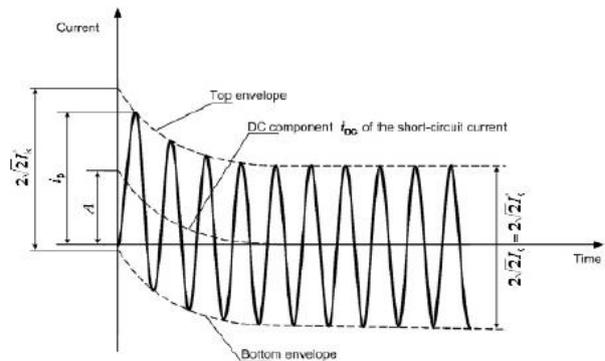
الشكل (3) تدفق تيار دائرة القصر $i(t)$ في دائرة R.L الخاصة بالتيار المتردد عند خطأ قصير.

كما يجب اجراء حسابات دائرة القصر في الامتثال للمعايير الدولية IEC60909 و المعيار داخل الاتحاد الأوروبي , وكذلك استخدام معيار موحد وواضح من نوع واحد يسهل في انجاز العمل و تقليل التكاليف علي الشركات هندسة الطاقة المتخصصة في هذا المجال .

مجموع مكونين يجب أن يكون المثل الأول لشرط دائرة القصر مساوياً لتيار قبل حالة القصر، وفي أغلب الأحيان، قبل حدوث حالة قصر الدائرة، يكون الوضع الحالي خاليا بحيث تكون القيمة اللحظية للتيار عند النقطة التي تحدث عند حدوث حالة قصر الدائرة تساوي صفراً $i(0) = 0$. إذا حدثت حالة دائرة القصر في مثل هذه اللحظة أن الشرط $\delta - \varphi = \pi / 2$ مستوفى، ثم التيار المباشر المكون يفترض الحد الأقصى للقيمة الأولية. وبالتالي، فإنه ينتج عنه $i(t)$ بافتراض أكبر قيمة فورية، يظهر الوضع في الشكل (2)، بالإضافة إلى الخاصية التالية يتم تقديم القيم:

• تيار دائرة القصر أولي I_k قيمة جذر متوسط التربيع للمكون rms.

• تيار دائرة القصر ثابت الحالة I_k .



الشكل (2) تدفق تيار دائرة القصر $i(t)$ في دائرة R.L لتيار المتردد في حالة دائرة القصر بعيدة.

خلال ظروف قصر الدائرة بعيداً عن المولد، فإن القيم الحالية لدائرة القصر الأولية وقيم الحالة المستقرة وتيار دائرة القصر متساويان. ومع ذلك، في حالات قصر الدائرة بالقرب من الآلات المتزامنة، القيم من تيار دائرة

إلى نتائج متحفظة بدقة كافية، ولهذا الغرض، يتم تحديد التيار من خلال النظر في مصدر جهد مكافئ مطبق في موقع دائرة القصر مع الكل وتعيين مصادر أخرى إلى الصفر، الإجراء مناسب للتحديد بالطرق اليدوية أو الحساب الرقمي.

هذا المعيار هو إضافة إلى IEC 60909-0. التعريفات والرموز والحسابات العامة تشير الافتراضات إلى هذا المنشور، العناصر الخاصة فقط محددة أو محددة في هذه الوثيقة.

هذا لا يستبعد استخدام الأساليب الخاصة، على سبيل المثال طريقة التراكب، معدلة لظروف معينة، إذا كانت تعطي على الأقل نفس الدقة.

كما هو مذكور في IEC 60909-0، يمكن أيضاً تحديد تيارات ماس كهربائي ومعلماتها عن طريق اختبارات النظام.

حساب معلمات دائرة القصر بناءً على البيانات المقدرة للكهرباء وتتميز المعدات والترتيب الطوبولوجي للنظام بميزة الوجود فهي ممكنة لكل من الأنظمة الموجودة والأنظمة في مرحلة التخطيط.

التيارات خلال دائرتين قصيرتين منفصلتين متزامنتين من خط إلى أرض.

طريقة الحساب:

يوضح الشكل (4) تيار دائرة القصر I''_{kEE} خلال خطين متزامنين منفصلين في وقت واحد.

يحدد هذا الجزء من المواصفة القياسية IEC 60909 إجراءات حساب دائرة القصر المحتملة.

التيارات ذات دائرة القصر غير المتوازنة في أنظمة التيار المتردد عالية الجهد ثلاثية الطور التي تعمل عند التردد الاسمي 50 هرتز أو 60 هرتز، أي :

1- التيارات خلال دائرتين قصيرتين منفصلتين متزامنتين من خط إلى أرض و محايدة أو معزولة.

2- التيارات الجزئية ذات دائرة القصر التي تتدفق عبر الأرض في حالة وجود خط واحد قصير على الأرض.

يتم استخدام التيارات المحسوبة بواسطة هذه الإجراءات عند تحديد الفولتية المستحثة أو لمس أو خطوة الفولتية وصعود جهد الأرض في محطة (محطة طاقة أو محطة فرعية).

لا تغطي هذه المواصفة:

1- تيارات قصر كهربائي تم إنشاؤها عمداً في ظل ظروف خاضعة للرقابة.

2- عيوب خط أرضي واحد في أنظمة مؤرسة معزولة أو محايدة.

الهدف من هذا المعيار هو وضع إجراءات عملية وموجزة للحساب التيارات ذات دائرة القصر من خط إلى أرض أثناء قصيرين متزامنين منفصلين من خط إلى أرض، الدوائر والتيارات دائرة القصر الجزئية عبر الأرض من التركيبات الكهربائية، مما يؤدي

يسـ يظه.

$$I_{KEE}'' = \frac{3cU_n}{\left| 2Z_{(1)A} + 2Z_{(1)B} + 2Z_{(1)} + Z_{(0)} \right|}$$

اقصى تيار قصر للدائرة، تيار فصل قصر كهربائى متماثل و تيار دائرة القصر ثابت الحالة.

يتم حساب تيار قصر كهربائى في حالة الذروة وفقاً لـ IEC 60909-0.

$$ipEE = \kappa \sqrt{2} I_{KEE}''$$

بالنسبة للعامل κ ، يتم استخدام نفس القيمة كما في حالة دائرة القصر ثلاثية الطور عند الموقع A أو B، وأيهما أكبر.

إذا كان من الممكن افتراض الدوائر القصيرة من خط إلى الأرض على أنها دوائر قصيرة بعيدة عن المولد، إذن :

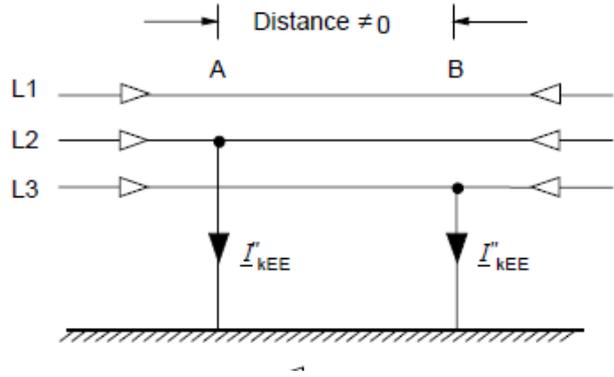
$$I_{KEE} = I_{BEE} = I_{KEE}''$$

توزيع التيارات قصيرة الدائرة من خط إلى أرض خلال تيارين منفصلين دوائر قصيرة متزامنة من خط إلى أرض.

في حالة حدوث دارتين قصيرتين منفصلتين من خط إلى الأرض في الموقعين A و B، فإن التيار يمكن حساب التوزيع عبر الأرض على افتراض أن $I_{KEE}'' = I(0) * r_3$ على التوالي النشط الوحيد تغذية المصدر لنظام التسلسل الصفري في A و B ؛ يتم تجاهل جميع المصادر الأخرى.

دوائر قصيرة على موصلات خطية مختلفة في الموقعين A و B بمسافة محدودة بينهما.

أي المسافة $\neq 0$. من المفترض أن الموقعين A و B بعيدان عن المحطات.



الشكل (4) - توصيف نوعين منفصلين في وقت واحد دوائر قصيرة خط إلى الأرض والتيار " I_{KEE} " .

ملاحظة يتم اختيار اتجاه التيار بشكل عشوائي.

في الأنظمة المحايدة المعزولة أو ذات الأرضية المحايدة، تكون دائرة القصر المتماثلة الأولية حاضر ويتم حساب I_{KEE} باستخدام المعادلة التالية :

الجدول (1) - حساب الخط الأولي إلى الأرض تيارات القصر الكهربائى في حالات

	<p>Single-fed radial line</p> $I_{KEE}'' = \frac{3cU_n}{\left 6Z_{(1)d} + 2Z_{(1)f} + Z_{(0)f} \right } \quad (8)$
	<p>Two single-fed radial lines</p> $I_{KEE}'' = \frac{3cU_n}{\left 6Z_{(1)d} + 2(Z_{(1)g} + Z_{(1)h}) + Z_{(0)g} + Z_{(0)h} \right } \quad (9)$
	<p>Double-fed single line</p> $I_{KEE}'' = \frac{3cU_n}{\left \frac{6Z_{(1)d}Z_{(1)e} + 2Z_{(1)f}(Z_{(1)d} + Z_{(1)e})}{Z_{(1)d} + Z_{(1)f} + Z_{(1)e}} + Z_{(0)f} \right } \quad (10)$

مواقع دائرة القصر على القضبان على التوالي.

الجدول (2) - بيانات المحركات غير المتزامنة ذات الجهد المتوسط وتيارات دائرة القصر الجزئية عند مواقع دائرة القصر.

Auxiliary busbar Motor No.	B (short-circuit location F4)							Σ(I ₁₋₇)	C							Σ(I ₈₋₁₄)	
	1	2	3	4	5	6	7		8	9	10	11	12	13	14		
P _{tot}	6,8	3,1	1,5	0,7	0,53	2	1,71	-	5,1	3,1	1,5	1,85	0,7	0,53	2	-	-
Quantity	2	1	2	1	2	1	2	-	1	1	2	1	2	2	1	-	-
U _{nom}	10							10	10							10	
cosφ _{0,01}	0,89	0,85	0,88	0,85	0,75	0,85	0,85	-	0,87	0,85	0,88	0,85	0,85	0,75	0,85	-	-
I _{sc}	0,978	0,959	0,962	0,952	0,948	0,96	0,96	-	0,973	0,959	0,962	0,959	0,952	0,948	0,96	-	-
I _{sc} (I _{sc}) ¹⁾	4							4	4							4	
Pair of poles p	2	2	1	3	5	3	3	-	3	2	1	3	3	5	3	-	-
S _{tot} , S _{tot}	15,66	3,80	3,54	0,87	1,49	2,45	4,19	32,0	6,02	3,80	3,54	2,27	1,73	1,49	2,45	21,3	-
I _{sc} , I _{sc}	0,904	0,220	0,205	0,05	0,086	0,142	0,242	1,85	0,348	0,22	0,205	0,131	0,10	0,086	0,141	1,23	-
P _{sc} /P	3,4	1,55	1,5	0,23	0,11	0,67	0,57	-	1,7	1,55	1,50	0,62	0,23	0,11	0,67	-	-
I _{sc} /I _{sc}	0,1							0,1	0,1							0,1	
I _{sc}	1,75							1,65	1,75							1,65	
g (c _{min} = 0,1) ²⁾	0,796							0,796	0,796							0,796	
g (c _{min} = 0,1) ²⁾	0,72	0,62	0,62	0,39	0,31	0,52	0,50	-	0,63	0,62	0,62	0,51	0,39	0,31	0,52	-	-
I _{sc} , Σ I _{sc}	3,98	0,97	0,90	0,22	0,38	0,62	1,06	8,13	1,53	0,97	0,90	0,58	0,44	0,38	0,62	5,41	-
I _{sc}	9,85	2,40	2,23	0,51	0,89	1,45	2,47	19,80	3,79	2,39	2,23	1,35	1,03	0,88	1,45	13,12	-
I _{sc}	2,28	0,48	0,44	0,07	0,09	0,26	0,42	4,04	0,77	0,48	0,44	0,24	0,14	0,09	0,26	2,42	-
Z _{sc}	1,60	6,58	7,06	28,74	16,78	10,20	5,97	0,782	4,15	6,58	7,06	11,01	14,45	16,78	10,20	1,173	-
I _{sc}	0,995 Z _{sc}							0,777	0,995 Z _{sc}							1,165	
I _{sc}	0,1 I _{sc}							0,089	0,1 I _{sc}							0,138	

تيارات دائرة القصر ثلاثية الطور.

الجدول (3) تيارات ماس كهربائي " I_k و I_p و I_b و I_k في حالة الدوائر القصيرة ثلاثية الطور عند القضبان.

F	U _n kV	I _{k1} ¹⁾ kA	i _p (50) ²⁾ kA	i _p (20) ³⁾ kA	I _b ⁴⁾ kA	I _k ⁵⁾ kA
①	380	40,6447	100,5766	100,5677	40,645 ⁶⁾	40,635
②	110	31,7831	80,8249	80,6079	31,570	31,663
③	110	19,6730	45,8249	45,8111	19,388	19,623
④	110	16,2277	36,8041	36,8427	16,017	16,196
⑤	110	33,1894	83,6266	83,4033	32,795	32,997
⑥	10	37,5629	99,1910	98,1434	34,028	34,356
⑦	10	25,5895	51,3864	51,6899	23,212	22,276
⑧	30	13,5778	36,9201	36,9227	13,578 ⁶⁾	13,573

الجدول (4) تيارات القصر في حالة الدوائر القصيرة من خط إلى الأرض في القضبان التوزيع.

F	U _n kV	I _{k1} ¹⁾ kA	i _p with κ ₍₁₎ ²⁾ kA	i _p with κ ₍₀₎₂₎ ³⁾ kA	X _{(0)/X₍₁₎} ⁴⁾
②	110	15,9722	40,5086	39,9641	3,961
③	110	10,4106	24,2424	24,2635	3,666
④	110	9,0498	20,5463	21,0415	3,394
⑤	110	17,0452	42,8337	41,4303	3,823

تيارات دائرة القصر جزئية تتدفق عبر الأرض في حالة وجود دائرة القصر غير متوازن.

طريقة الحساب وبشكل عام :

هذا النوع من الدوائر القصيرة في أنظمة الجهد العالي المؤرضة بقوة هو الأكثر شيوعاً اي حدوث قصر كهربائي غير متوازن. يؤدي إلى أعلى تيارات قصر كهربائي من خلال الأرض إذا كان $Z < (0) Z$ (1).

بالنسبة إلى $Z > (0) Z$ في حالة وجود دائرة القصر من خط إلى خط مع اتصال أرضي، فإن التيار إلى أرض يتم اعتبار IEC 60909-0 وفقاً لـ IEC 60909-0.

علاوة على ذلك، من المقترض أن المحطات A و B و C مفصولة بأكثر من ضعف المسافة البعيدة. مسافة المحطة DF حسب المعادلات السابقة لحساب تيارات دائرة القصر وفقاً للمواصفة IEC 60909-0، مقاومة البرج مع أو بدون سلك أرضي وممانعات الشبكة الأرضية والوصلات الأخرى بالأرض قد تكون مهمة.

دائرة القصر الخط مع الأرضي في المحطة :

تيار القصر كهربائي من خط إلى أرض I^{k1} يساوي ثلاثة أضعاف تيار التسلسل الصفري تتدفق إلى موقع دائرة القصر F:

$$I_{k1} = 3I_{(0)A} + 3I_{(0)B} + 3I_{(0)C}$$

بيانات المحركات غير المتزامنة ذات الجهد المتوسط وتيارات دائرة القصر الجزئية عند

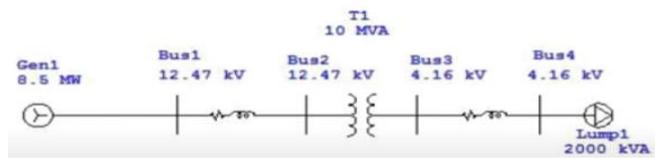
0.8	معامل القدرة	3
12.47KV	قضيب التوصيل 1	4
12.47KV	قضيب التوصيل 2	5
4.16 KV	قضيب التوصيل 3	6
4.16 KV	قضيب التوصيل 4	7
10 Km	طول الخط 1	8
5 Km	طول الخط 2	9
12.47KV	جهد الخط 1	10
4.16 KV	جهد الخط 2	11
12.47/4.16 KV 10 MW	محول القدرة نوع خافض	12
0.2 MW	الحمل	13
0.736 ohm/km	ممانعة الخط 1 (Xl)	14
0.736 ohm/km	ممانعة الخط 2 (Xl)	15
0.2 p.u	ممانعة المولد (Xg)	16
0.2 p.u	ممانعة المحول (Xt)	17

الحالة الأولى مقارنة تأثير تيار القصر على قضيب التوصيل القريب من التغذية.

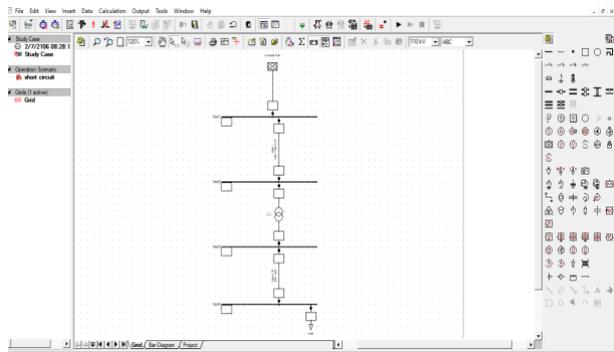
في الشبكة يكون قضيب التوصيل رقم 1 هو الأقرب لمصدر التغذية وعند تحليل تيار القصر باستخدام النمط IEC60909 نجد ان القيمة القصوى للقصر هو $(I_{peak} = 1143 \text{ KA})$. كما في الشكل (6).

6. الدراسة التشبيهية.

في هذا الجزء تم اجراء الدراسة التشبيهية للمقارنة بين الانمط (IEC60909) و (ANSI) لحساب تيارات القصر والهدف هو المقارنة بين قضيب التوصيل (bus bar) القريب من مصدر التغذية وقضيب التوصيل البعيد عن مصدر التغذية، تم استخدام المثال التالي كنموذج للشبكة.



تم استخدام برنامج DIGsilent power factory لنمذجة ومحاكاة الشبكة وتمثيلها كما في الشكل (5).



الشكل (5) - لنمذجة ومحاكاة الشبكة وتمثيلها

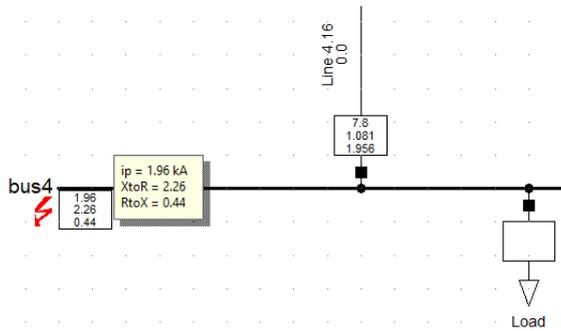
وكانت بيانات عناصر الشبكة كما في الجدول (5).

الجدول (5) بيانات عناصر الشبكة.

ر.م	نوع العنصر	العدد
1	المولد	8.5 MW
2	تردد الشبكة	50 Hz

هي $I_{peak} = 1.66 \text{ KA}$ كيلو امبير كما

في الشكل (7).



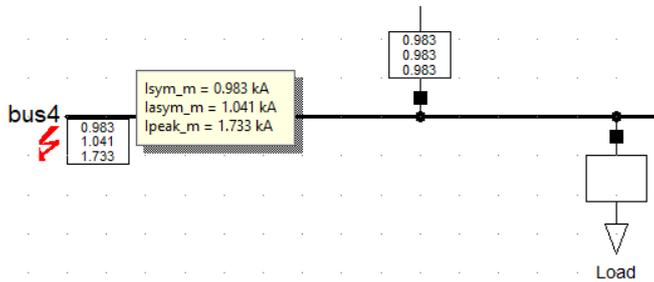
الشكل (7) - تيار القصر على القضيب البعيد عن

مصدر التغذية ICE 60909.

وعند التحليل بالنمط ANSI نجد انى اقصى

تيار للقصر هو $(I_{peak} = 0.983 \text{ KA})$ كما

في الشكل (8).



الشكل (8) - تيار القصر على القضيب البعيد عن

مصدر التغذية ANSI.

منحنى الحالة العابرة لتيار القصر في الشبكة.

في الشكل (9)، يوضح منحنى الموجة

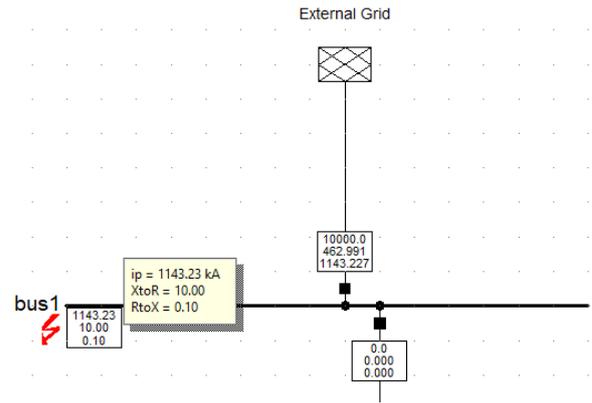
اللحظية لحالة عابرة عند حدوث قصر عند

زمن 0.2 ثانية وبعد مرور زمن 0.1 ثانية

بعد حدوث القصر أي عند الزمن 0.3 ثانية

ينتهي القصر وتعود الشبكة الى الحالة

المستقرة من جديد.



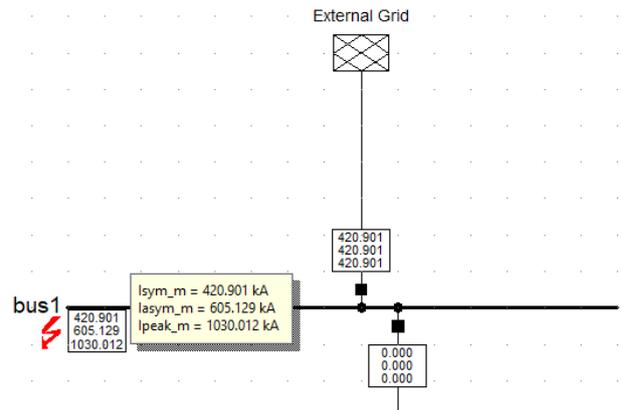
الشكل (5) - تيار القصر على القضيب القريب من

مصدر التغذية ICE 60909.

وعند التحليل بالنمط ANSI نجد انى القيمة

القصى لتيار القصر

هو $(I_{peak} = 1030 \text{ KA})$ كما في الشكل (6).



الشكل (6) - تيار القصر على القضيب القريب من

مصدر التغذية ANSI.

الحالة الثانية مقارنة تأثير تيار القصر على

قضيب التوصيل البعيد عن التغذية .

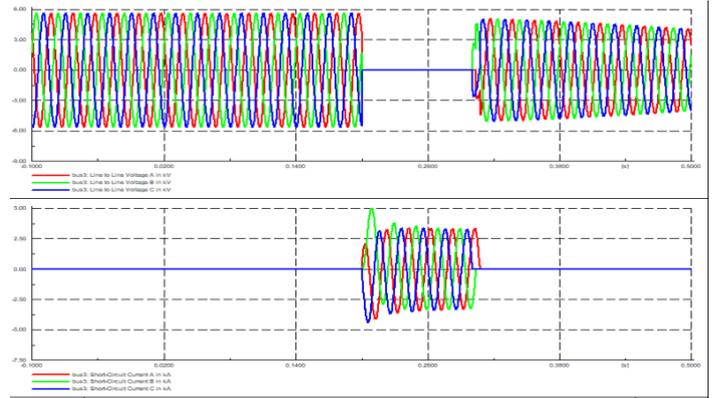
في الشبكة يكون قضيب التوصيل رقم 4 هو

الابعد عن مصدر التغذية وعند تحليل تيار

القصر باستخدام النمط IEC60909 نجد ان

القيمة القصى لتيار القصر

- [2]. P. Gugale and M. Palazzo, "Application of Circuit-Breaker Standards in Short-Circuit Current Calculation for Generator Circuit-Breakers," 2020 IEEE Electric Power and Energy Conference (EPEC), Edmonton, AB, Canada, 2020, pp. 1-8, doi: 10.1109/EPEC48502.2020.9320012.
- [3]. C. G. Kaloudas, P. N. Papadopoulos, T. A. Papadopoulos, A. G. Marinopoulos and G. K. Papagiannis, "Short-circuit analysis of an isolated generator and comparative study of IEC, ANSI and dynamic simulation," 7th Mediterranean Conference and Exhibition on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MedPower 2010), Agia Napa, 2010, pp. 1-7, doi: 10.1049/cp.2010.0922.
- [4]. A. R. Bergen and V. Vittal, "Power Systems Analysis," 2nd ed. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2000.
- [5]. R. M. Rifaat, "Considerations for applying IEC standards in short circuit calculations and breaker selections in cogeneration plants," Conference Record of 1998 IEEE Industry Applications Conference. Thirty-Third IAS Annual Meeting (Cat. No.98CH36242), St. Louis, MO, USA, 1998, pp. 2299-2304 vol.3, doi: 10.1109/IAS.1998.730135.
- [6]. IEC 60038:1983, IEC standard voltages
- [7]. IEC 60050(151):1978, International Electrotechnical Vocabulary ñ Chapter 151: Electric and magnetic devices
- [8]. IEC 60050-195:1998, International Electrotechnical Vocabulary ñ Part 195: Earthing and protection against electric shock
- [9]. IEC 60056:1987, High-voltage alternating-current circuit-breakers
- [10]. IEC 60071-1:1993, Insulation coordination ñ Part 1: Definitions, principles and rules
- [11]. Kujaszczyk S. et al., Elektroenergetyczne układy przesyłowe [Power transmission systems], Warsaw 1997, pp. 193–217.
- [12]. Barnaś K. et al., Laboratorium podstaw elektroenergetyki [Laboratory of power engineering principles], Warsaw 2003, pp. 115–129.
- [13]. Kacejko P. , Machowski J., Zwarcia w systemach elektroenergetycznych [Short-circuits in power systems], Warsaw 2002.
- [14]. PN-EN 60909-0:2002, Prądy zwarciove w sieciach trójfazowych prądu przemiennego, Część 0: Obliczanie prądów [Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents.
- [15]. IEC/TR 60909-1: Short-circuit currents in three-phase a.c. systems, Part 1: Factors for the calculation of short-circuit currents according to IEC 60909-0, 2002-07.



الشكل (9) – منحنى الموجة اللحظية لحالة عابرة عند حدوث قصر.

7. الاستنتاج:

من خلال النتائج السابقة للدراسة التشبيهية ومقارنة النمطين IEC60906 و ANSI في حساب تيارات القصر والمقارنة بين تأثير تيار القصر على قضيب التوصيل القريب من مصدر التغذية قضيب التوصيل البعيد عنها نستنتج الآتي:

- في حالة حساب تيار القصر باستخدام النمط IEC60906 على قضيب التوصيل القريب من الشبكة فإن القيمة القصوى لتيار القصر أكبر بنسبة 10% من القيمة القصوى عند حسابه بالنمط ANSI.
- تكون القيمة القصوى لتيار القصر على قضيب التوصيل البعيد عن الشبكة عند حسابها بالنمط IEC60906 أكبر من القيمة القصوى عند حسابها بالنمط ANSI بنسبة 49%.

8. المراجع.

- [1]. G. Parise, C. -L. Su, F. A. Marchetti, J. Francucci and C. -H. Liao, "Short-Circuit Calculations in LV Cold Ironing Systems: Characteristic Currents Method CCM and IEC Method," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 58, no. 4, pp. 4394-4400, July-Aug. 2022, doi: 10.1109/TIA.2022.3174185.