

الاتحاد الدولي للاتصالات

K.67

(2006/02)

ITU-T

قطاع تقييس الاتصالات
في الاتحاد الدولي للاتصالات

السلسلة K: الحماية من التداخلات

تقييم التمورات المتوقع أن تسببها الصاعقة في شبكات
الاتصالات والتشوير

التوصية ITU-T K.67



تقييم التمورات المتوقع أن تسببها الصاعقة في شبكات الاتصالات والتشوير

ملخص

تتضمن هذه التوصية خصائص (أشكال الموجات وقيم الذرى) التمورات (الفلطية الزائدة والتيارات الزائدة) المتوقع أن تسببها الصاعقة على خطوط اتصالات شبكة النفاذ وعلى خطوط التشوير الموجودة في مقرات الزبائن التي تستعمل موصلات معدنية. وترد قيم التمورات المتوقعة هذه في شكل دالة لمجموعة معلمات تيار الصاعقة التي تعرف الصاعقة على أنها مصدر ضرر تسببه جميع أنماط الاقتران الكهرمغناطيسي على أي خط اتصالات أو خط تشوير. وتتيح هذه التوصية الفرصة أمام تقييم فعالية تدابير الحماية (مثل أجهزة الحماية من التمور) المعدة لغرض مقاومة تيار التمور المتوقع اندفاعه الكهربائي في النقطة التي يوجد فيها التركيب.

المصدر

وافقت لجنة الدراسات 5 (2005-2008) التابعة لقطاع تقييس الاتصالات بتاريخ 13 فبراير 2006 على التوصية ITU-T K.67 بموجب الإجراء المحدد في التوصية A.8.

عبارات أساسية

الصاعقة، التيار الزائد، الفلطية الزائدة، التمور، نقطة الانتقال.

تمهيد

الاتحاد الدولي للاتصالات وكالة متخصصة للأمم المتحدة في ميدان الاتصالات. وقطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) هو هيئة دائمة في الاتحاد الدولي للاتصالات. وهو مسؤول عن دراسة المسائل التقنية والمسائل المتعلقة بالتشغيل والتعريف، وإصدار التوصيات بشأنها بغرض تقييس الاتصالات على الصعيد العالمي.

وتحدد الجمعية العالمية لتقييس الاتصالات (WTSA)، التي تجتمع مرة كل أربع سنوات، المواضيع التي يجب أن تدرسها لجان الدراسات التابعة لقطاع تقييس الاتصالات وأن تُصدر توصيات بشأنها.

وتتم الموافقة على هذه التوصيات وفقاً للإجراء الموضح في القرار رقم 1 الصادر عن الجمعية العالمية لتقييس الاتصالات.

وفي بعض مجالات تكنولوجيا المعلومات التي تقع ضمن اختصاص قطاع تقييس الاتصالات، تعد المعايير اللازمة على أساس التعاون مع المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO) واللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC).

ملاحظة

تستخدم كلمة "الإدارة" في هذه التوصية لتدل بصورة موجزة سواء على إدارة اتصالات أو على وكالة تشغيل معترف بها. والتقيد بهذه التوصية اختياري. غير أنها قد تضم بعض الأحكام الإلزامية (بهدف تأمين قابلية التشغيل البيئي والتطبيق مثلاً). ويعتبر التقيد بهذه التوصية حاصلاً عندما يتم التقيد بجميع هذه الأحكام الإلزامية. ويستخدم فعل "يجب" وصيغ ملزمة أخرى مثل فعل "ينبغي" وصيغها النافية للتعبير عن متطلبات معينة، ولا يعني استعمال هذه الصيغ أن التقيد بهذه التوصية إلزامي.

حقوق الملكية الفكرية

يسترعي الاتحاد الانتباه إلى أن تطبيق هذه التوصية أو تنفيذها قد يستلزم استعمال حق من حقوق الملكية الفكرية. ولا يتخذ الاتحاد أي موقف من القرائن المتعلقة بحقوق الملكية الفكرية أو صلاحيتها أو نطاق تطبيقها سواء طالب بها عضو من أعضاء الاتحاد أو طرف آخر لا تشمله عملية إعداد التوصيات.

وعند الموافقة على هذه التوصية، لم يكن الاتحاد قد تلقى إخطاراً بملكية فكرية تحميها براءات الاختراع يمكن المطالبة بها لتنفيذ هذه التوصية. ومع ذلك، ونظراً إلى أن هذه المعلومات قد لا تكون هي الأحدث، يوصى المسؤولون عن تنفيذ هذه التوصية بالاطلاع على قاعدة المعطيات الخاصة ببراءات الاختراع في مكتب تقييس الاتصالات (TSB) في الموقع <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2006

جميع الحقوق محفوظة. لا يجوز استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي وسيلة كانت إلا بإذن خطي مسبق من الاتحاد الدولي للاتصالات.

المحتويات

الصفحة

1	مجال التطبيق	1
1	المراجع	2
2	التعاريف	3
3	المختصرات	4
4	التشكيلة المرجعية	5
4	تدابير الحماية	6
4	1.6 الحماية المتضمنة	
5	2.6 تدابير الحماية الأولية	
5	3.6 التوصيل والتأريض والتدريع	
6	7 التمورات المتوقع أن تسببها الصاعقة	
1.7	سقوط ومضات الصاعقة على المبنى مباشرة (مصدر الضرر 1S): مرور تيار الصاعقة عبر خطوط الاتصالات أو التشوير التي تتخلل المبنى (بناية البدالة أو بناية الزبون أو الموقع البعيد)	6
2.7	سقوط ومضات الصاعقة بالقرب من المبنى أو عليه (مصدر الضرر 1S أو 2S): التمورات المستحثة في خطوط الاتصالات أو التشوير داخل المبنى (بناية البدالة أو بناية الزبون أو الموقع البعيد)	7
3.7	ضرب الصاعقة مباشرة لخطوط الاتصالات أو التشوير	9
4.7	سقوط ومضات الصاعقة بالقرب من خطوط الاتصالات	10
14	الملحق A - التمورات المستحثة داخل المبنى نتيجة سقوط الصاعقة بالقرب من المبنى أو ضربها له	14
14	1.A الجوانب العامة	
14	2.A سقوط الصاعقة بالقرب من المبنى	
19	3.A ضرب الصاعقة للمبنى	
21	الملحق B - التمورات المستحثة داخل المبنى نتيجة سقوط الصاعقة بالقرب من المبنى أو ضربها له	
	التذيل الأول - التمورات المستحثة داخل المبنى بفعل سقوط الصاعقة بالقرب من المبنى أو عليه: التشكيلة التجريبية	
25	والتائج	
25	1.I مقدمة	
25	2.I النموذج النظري	
27	3.I موقع الاختبار التجريبي وتشكيلة الاختبار	
32	بيبلوغرافيا	

الصاعقة هي مصدر الفلطية الزائدة والتيارات الزائدة الخطيرة على شبكات الاتصالات والتشوير (ضرب الصاعقة لهذه الشبكات بصورة مباشرة وغير مباشرة)، والحث الذي تسببه التيارات المعطوبة في خطوط الكهرباء (بما فيها أنظمة التوزيع الكهربائي)، والتماس مع خطوط الكهرباء، وزيادة الطاقة الأرضية.

وتنطبق طرائق الحماية المسماة "تدابير الحماية" على "خطوط" النظام (مثل استعمال كبلات مدرعة بدلاً من غير المدرعة) أو على أجزاء معينة من النظام. وتدرج الطرائق الأخيرة عموماً ضمن نطاق الأصناف الثلاثة التالية:

- اتباع ممارسات تركيب من قبيل التوصيل، والتأريض، والتدريع داخل المرفق وعبر الخطوط الخارجية للتقليل من اقتران الطاقة الكهربائية للصاعقة بالخط؛
- استعمال أجهزة حماية تحول دون وصول الطاقة الزائدة إلى الأجزاء الضعيفة إما بتحويل مسارها (كفجوات الشرر مثلاً) أو بواسطة قطع توصيل الخط (مثل الفواصم الكهربائية)؛ وتُعرف أجهزة الحماية هذه على أنها أجهزة "الحماية الأولية"؛
- استعمال تجهيزات ذات شدة مناسبة فيما يتعلق بقطع التيار الكهربائي، وذات قدرة على نقل التيار ومعاوقة مناسبة تمكنها من مقاومة الظروف التي تتعرض لها؛ وتُعرف هذه الخاصية بأنها "الحماية الملازمة".

وتُستعمل أجهزة الحماية (الحماية الأولية) للوقاية من الفلطية الزائدة (أجهزة الحماية من التمرور (SPD)، مثل واقيات الفجوات الهوائية ذات الأقطاب الكربونية أو المعدنية؛ أنابيب التفريغ الغازي (GDT)، أجهزة الحماية شبه الموصلة) والوقاية من التيارات الزائدة (مثل الفواصم الكهربائية، والملفات الحرارية، والواقيات ذاتية الاستعادة المضادة لزيادة التيار، والوصلات القابلة للانصهار).

وبغية تحديد مكونات وأجهزة الحماية، ثمة حاجة إلى تقييم التهديد الذي تمثله التمرورات في نقاط تركيب هذه المكونات والأجهزة تحديداً. ويجب ألا يتعدى تهديد هذه التمرورات سوية مقاومة مكونات وأجهزة الحماية المتأثرة. وتُحدد سوية المقاومة هذه بواسطة اختبارات ملائمة.

وتتناول هذه التوصية التمرورات التي يُتوقع أن تسببها الصاعقة لشبكات الاتصالات والتشوير في مختلف نقاط تركيب مكونات وأجهزة الحماية هذه.

وتستند بعض الصيغ أو الافتراضات المتعلقة بتقييم التمرورات المتوقعة إلى قيم تقريبية بحتة، ويمكن تحسينها بمزيد من التنقيح.

تقييم التمورات المتوقع أن تسببها الصاعقة في شبكات الاتصالات والتشوير

1 مجال التطبيق

يتمثل نطاق تطبيق هذه التوصية في تحديد التمورات (الفلطية الزائدة والتيارات الزائدة) المتوقع أن تسببها الصاعقة في مختلف نقاط انتقال شبكة النفاذ إلى الاتصالات وخطوط التشوير خارج البنايات وداخلها على حد سواء، أي بنايات الزبائن الحاوية للبدالات والمواقع البعيدة عنهم.

ويتعلق موضوع هذه التوصية بآثار الفلطية الزائدة والتيارات الزائدة للصاعقة على شبكات الاتصالات والتشوير التي تستعمل موصلات معدنية نظراً لأن الصاعقة مصدر ضرر يعتمد على موقع نقطة ضرب الصاعقة بالنسبة إلى الخط المعني (انظر 6.3).

وتحدد التمورات المتوقعة بواسطة قيم ذروتها وأشكال موجاتها بوصفها دالة لسوية الحماية من التمور (SPL)، انظر الفقرة 7.3 لكل نمط (S_1 و S_2 و S_3 و S_4) من أنماط مصادر الضرر (انظر 6.3)، على فرض أن يكون شكل موجة التمورات المتوقعة بأس مزدوج يُوصف بـ زمن ارتفاعه، (T_1)، وزمن انخفاضه إلى نصف القيمة (T_2). وتتيح هذه التوصية تقييم فعالية تدابير الحماية (مثل أجهزة الحماية من التمور) المعدة لغرض مقاومة تيار التمور المتوقع في النقطة التي يوجد فيها التركيب.

2 المراجع

تحتوي التوصيات التالية وغيرها مما صدر عن القطاع ITU-T بعض الأحكام التي تشكل أحكاماً في هذه التوصية، بموجب الإحالة إليها في النص. وفي تاريخ نشر هذه التوصية كانت الطباعات المذكورة لا تزال صالحة. ولكن، بما أن جميع التوصيات والمراجع الأخرى خاضعة لإعادة النظر، نشجع مستعملي هذه التوصية على السعي إلى تطبيق أحدث صيغ التوصيات والمراجع الأخرى الواردة في القائمة أدناه. ويجري بانتظام نشر قائمة التوصيات السارية الصلاحية التي تصدر عن القطاع ITU-T. ولذا فإن الإحالة داخل هذه التوصية إلى وثيقة ما، لا تضمني على هذه الوثيقة صفة توصية.

- [1] الفصل 10 من كتيبات القطاع ITU-T بشأن الحماية من الصاعقة (1995)، قياس الفلطية الزائدة والتيارات الزائدة عبر خطوط اتصالات المشترك.
- [2] التوصية ITU-T K.46 (2003)، حماية خطوط الاتصالات التي تستعمل موصلات تناظرية معدنية من التمورات التي تسببها الصواعق.
- [3] التوصية ITU-T K.47 (2000)، حماية خطوط الاتصالات التي تستعمل موصلات معدنية من الصواعق المباشرة.
- [4] التوصية ITU-T K.56 (2003)، حماية المحطات الأساسية الراديوية من التفريغ الكهربائي للصاعقة.
- [5] المعيار 62305-1: (2006)، الصادر عن اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC)، الحماية من الصاعقة - الجزء 1: المبادئ العامة.
- [6] المعيار 62305-2: (2006)، الصادر عن اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC)، الحماية من الصاعقة - الجزء 2: إدارة المخاطر.
- [7] المعيار 62305-4: (2006)، الصادر عن اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC)، الحماية من الصاعقة - الجزء 4: الشبكات الكهربائية والإلكترونية داخل البنايات.

تعرف هذه التوصية المصطلحات التالية:

1.3 فلطية التمور الخطير الناجم عن الصاعقة: هي فلطية تمور بقيمة ذروة U_p أكبر أو مساوية لسوية مقاومة فلطية تمور التجهيزات أو عزل موصل خط الاتصالات.

2.3 الزمن المكافئ للتناقص إلى نصف القيمة (T_2) [1]: زمن تناقص نبض الفلطية أو شدة التيار إلى نصف القيمة (T_2) هو الفاصل الزمني بين الأصل التقديري وأول لحظة تتناقص فيها الفلطية أو التيار إلى نصف قيمة الذروة. (يتمثل الأصل التقديري لنبض الفلطية أو التيار في اللحظة التي تسبق تلك التي تبلغ فيها نسبة الفلطية أو شدة التيار 30% أو 10% من قيمة ذروتها بزمن يبلغ 0,3 أو 0,1 T_1 على التوالي)

3.3 زمن الارتفاع أو زمن الزيادة (T_1) [1]: يُعرف زمن ارتفاع نبض الفلطية أو زمن زيادتها T_{1v} على أنه الزمن المكافئ لما مقداره 1,67 مرة، الفاصل الزمني بين اللحظتين اللتين تبلغ فيهما نسبتا النبض 30% و 90% من قيمة الذروة. أما زمن الزيادة T_{1i} لنبض شدة التيار، فيُعرف بوصفه مكافئاً لما مقداره 1,25 مرة، الفاصل الزمني بين اللحظتين اللتين تبلغ فيهما نسبتا النبض 10% و 90% من قيمة الذروة.

4.3 سوية الحماية من الصاعقة (LPL): هي عبارة عن مجموعة معلمات تحدد سويات الحماية من مصادر الضرر المتمثلة في تيار الصاعقة [4].

ملاحظة - يُستعان بسوية الحماية من الصاعقة في تصميم مكونات الحماية من الصاعقة (مثل المقاطع المستعرضة للموصلات، وسمك الصفائح المعدنية، ومقدرة التيار المسموح بها داخل أجهزة الحماية من التمرور (SPD)، والمسافة الفاصلة عن الشرر الخطير) وفي تحديد معلمات اختبار تحاكي آثار الصاعقة على هذه المكونات، وذلك وفقاً للمجموعة المعنية من معلمات تيار الصاعقة. ويرد في المعايير 62305 الصادرة عن اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC) أربع سويات للحماية من الصاعقة (LPL) (من I إلى IV)، وتُحدد لكل سوية منها مجموعة من القيم القصوى لمعلومات تيار الصاعقة (الجدول 1).

5.3 قيمة الذروة (x_p) [1]: تُعرف قيمة ذروة (x_p) فلطية/تيار التمرور على أنها القيمة القصوى الملاحظة أثناء التمرور.

6.3 مصدر الضرر: يعتمد هذا المصدر على موقع نقطة ضرب الصاعقة بالنسبة إلى الخط المعني، وذلك كالتالي:

- مصدر الضرر S_1 : ومضات الصاعقة على المبنى (بناية البدالة أو بناية الزبون أو الموقع البعيد) الذي يتخلله خط الاتصالات أو التشوير؛
- مصدر الضرر S_2 : ومضات الصاعقة بالقرب من المبنى (بناية البدالة أو بناية الزبون أو الموقع البعيد) الذي يتخلله خط الاتصالات أو التشوير؛
- مصدر الضرر S_3 : ومضات الصاعقة على خطوط الاتصالات التي تتخلل المبنى (بناية البدالة أو بناية الزبون أو الموقع البعيد)؛
- مصدر الضرر S_4 : ومضات الصاعقة بالقرب من خطوط الاتصالات التي تتخلل المبنى (بناية البدالة أو بناية الزبون أو الموقع البعيد)؛

7.3 سوية الحماية من التمرور (SPL): هي قيم ذروة وأشكال موجات ما يُتوقع من فلطيات أو تيارات خطيرة للتمرور يمكن أن يظهر في نقاط مختلفة من شبكات الاتصالات بسبب تيار الصاعقة الذي هو مصدر ضرر.

ملاحظة - تتضمن هذه التوصية ثلاث سويات (SPL) (من I إلى III) للحماية من التمرور، وتُقدر لكل سوية منها قيم الذرى وأشكال الموجات المتوقعة للفلطيات والتيارات الخطيرة للتمرور.

8.3 درجة انحدار الارتفاع أو معدل سرعة الزيادة (S) [1]: درجة انحدار الارتفاع أو معدل سرعة الزيادة (S) هو متوسط سرعة تغير الفلطية أو التيار، الذي يمكن تحديده بواسطة النسبة بين قيمة الذروة x_p وزمن الارتفاع T_1 بتطبيق المعادلة التالية:

$$S = \frac{x_p}{T_1}$$

(1)

9.3 التمرور: هو زيادة وقتية في الفلطية أو التيار الكهربائيين المقترنين بخط اتصالات، أو زيادة في كليهما، بسبب مصدر كهربائي خارجي.

الملاحظة 1 - المصادر الكهربائية المعتادة هي الصاعقة وشبكات الكهرباء بالتيار المتناوب/التيار المستمر.

الملاحظة 2 - اقتران المصدر الكهربائي يمكن أن يكون واحداً أو أكثر من الأنماط التالية: مجال كهربائي (اقتران سعوي)، ومجال مغنطيسي (اقتران حثي)، ومجال توصيلي (اقتران مقاوم)، ومجال كهرومغنطيسي.

10.3 التمرور الناجم عن الصاعقة: هو تمرر تسببه الصاعقة نتيجة لأي نمط من أنماط الاقتران الكهرومغنطيسي (التوصيلي والحثي والسعوي).

ملاحظة - يتسم هذا التمرور بالعلامات الخمس الآتية: قيمة الذروة، وزمن الزيادة (T_1)، وزمن التناقص إلى نصف القيمة، T_2 ، (أو معلمتي الزمن T_2/T_1)، ودرجة الانحدار، والطاقة المحددة.

11.3 جهاز الحماية من التمرور (SPD): هو جهاز يقيد الفلطية التي يسببها التمرور في منفذ أو منافذ معينة، عندما تتجاوز سوية مسبقة التحديد.

الملاحظة 1 - جهاز الحماية من التمرور (SPD) هو توليفة تجمع بين دارة حماية ومحملها.

الملاحظة 2 - يمكن تزويد الجهاز بوظائف ثانوية، مثل تقييد التيار ضمن حدود تقييد التيار في مطراف.

الملاحظة 3 - تضم دارة الحماية عادة مكونة واحدة على الأقل للحماية من التمرور ومقيدة للفلطية وغير خطية.

4 المختصرات

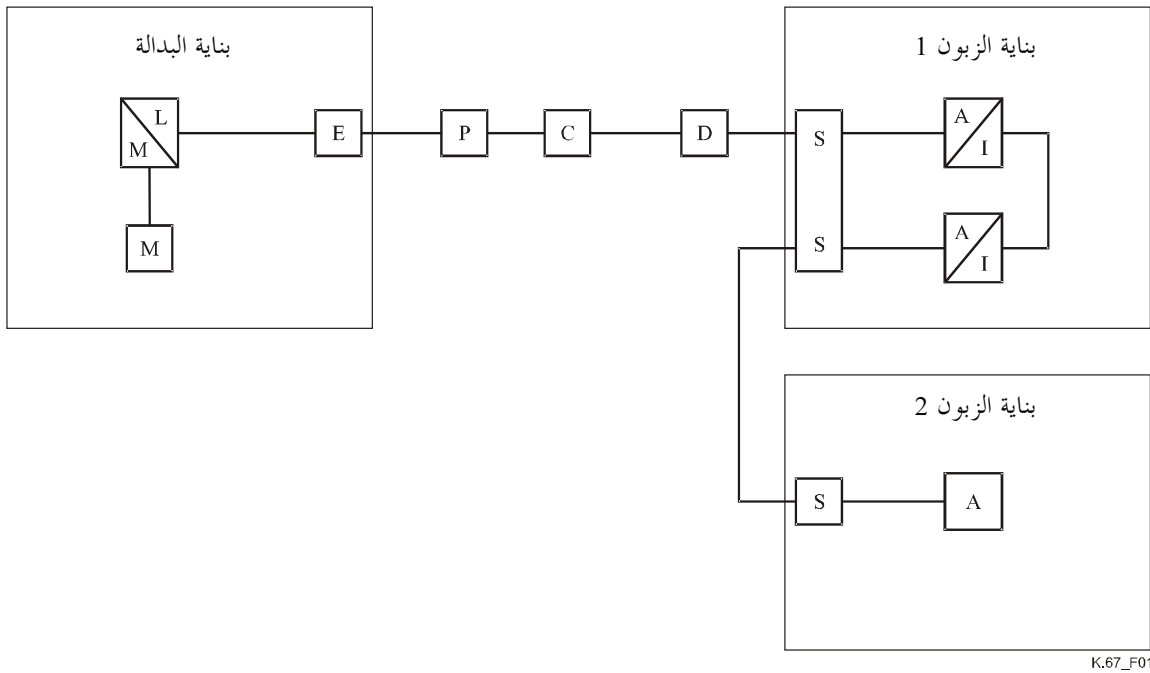
تستعمل هذه التوصية المختصرات التالية:

BN	شبكة تأريض (Bonding Network)
CBN	شبكة تأريض مشتركة (Common Bonding Network)
E	بدالة (Exchange)
LPL	سوية الحماية من الصاعقة (Lightning Protection Level)
MDF	إطار التوزيع الرئيسي (Main Distribution Frame)
MET	مطراف التأريض الرئيسي (Main Earthing Terminal)
NT	انتهائية شبكة (Network Termination)
S	مشترك (Subscriber)
SPD	جهاز الحماية من التمرور (Surge Protective Device)
SPL	سوية الحماية من التمرور (Surge Protection Level)

يبين الشكل 1 التشكيلة المرجعية لخطوط الاتصالات التي تستعمل موصلات معدنية متناظرة حيث يمكن رؤية العقد المرجعية وأقسام الكبلات التي تتخللها.

ويمكن وصف نقاط الانتقال المحددة في الشكل 1 كآآتي:

- نقطة الانتقال L: انتقال بين السطح البيني لتجهيزات التبديل الموجودة داخل البناية والكبلات الخارجية؛
- نقطة الانتقال E: مدخل بناية البدالة، مثل إطار التوزيع الرئيسي (MDF)؛
- نقطة الانتقال P: انتقال بين الكبلات المدفونة بعوازل ورقية والكبلات المدفونة بعوازل بلاستيكية؛
- نقطة الانتقال C: انتقال بين الكبلات المدفونة والكبلات الهوائية؛
- نقطة الانتقال D: انتقال بين الكبلات الهوائية المدرعة والكبلات الهوائية غير المدرعة؛
- نقطة الانتقال S: مدخل بناية الزبون؛
- نقطة الانتقال A: انتقال بين السطح البيني للتجهيزات الموجودة داخل بناية الزبون والكبلات الخارجية؛
- نقطة الانتقال M: انتقال بين السطح البيني لتجهيزات التبديل الموجودة داخل البناية والكبلات الداخلية؛
- نقطة الانتقال I: انتقال بين السطح البيني للتجهيزات الموجودة داخل بناية الزبون والكبلات الداخلية؛



K.67_F01

الشكل 1/K.67 - التشكيلة المرجعية

تدابير الحماية

6

الحماية المتضمنة

1.6

تتطلب حماية التجهيزات والحد من مخاطر الإضرار بها استعمال تجهيزات ذات قوة عزل كهربائي وقدرة على نقل التيار ومعاوقة مناسبة لتتمكن من مقاومة الظروف التي تتعرض لها (أي، الخصائص الملازمة للتجهيزات والمتمثلة في قدرتها على المقاومة).

ومتطلبات القدرة على المقاومة لتجهيزات الاتصالات المستعملة في مختلف نقاط شبكات الاتصالات هي متطلبات محددة في التوصيات K.20 و K.45 و K.21 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات في الاتحاد (ITU-T) فيما يتعلق بتجهيزات التبديل المركبة داخل البناية في حالي تجهيزات شبكة النفاذ والتجهيزات الموجودة داخل بناية الزبون على التوالي.

وقدرة المقاومة هذه من وجهة نظر الحماية من الصاعقة هي قدرة تمكن التجهيزات من مقاومة معظم التمورات المستحثة التي تسببها الصاعقة بالقرب من الخط (انظر 4.7). ونظراً إلى أن هذه التمورات كثيرة التواتر بالمقارنة مع غيرها، فإن تطبيق تدابير حماية إضافية (الحماية الأولية) يقتصر على المنشآت "المعرضة لخطرها" والخاضعة لعملية تقييم مخاطر التمور [2، 3، 6]

2.6 تدابير الحماية الأولية

يحول تطبيق تدابير الحماية الأولية دون وصول الطاقة الزائدة إلى الأجزاء الضعيفة لمنشآت الاتصالات والتشوير (مثل عوازل التجهيزات والموصلات). وتحقيقاً لهذه الغاية، يتعين تركيب الحماية الأولية فيها بطريقة ملائمة وانتقاء خصائصها كما ينبغي.

وتتوقف فعالية الحماية الأولية على قدرتها على توصيل تيارات التمور (في أجهزة تحديد الفلطفية مثل أنابيب التفريغ الغازي (GDT)) أو على مقاومتها لفلطفية التمور (في أجهزة تحديد التيار مثل الفواصم). وترد في الجدول 1 معلمات الصاعقة التي تحدد القيم القصوى لفلطيات وتيارات التمور كدالة لسوية الحماية من الصاعقة (LPL). وتقترن قيم فلطيات وتيارات التمور هذه بسويات الحماية من التمور (SPL) الآتية: $SPL\ I = 0,01$ و $SPL\ II = 0,02$ و $SPL\ III = 0,05$ المعبرة عن احتمالات ارتفاع قيمة فلطيات وتيارات التمور الخطيرة إلى أكثر من قيمة الذروة المصاحبة أو إلى قيمة مكافئة لها.

الجدول K.67/1 - القيم القصوى لمعلمات الصاعقة وفقاً للسوية LPL

السوية LPL				الوحدة	الرمز	معلمات التيار	
IV	III (%95)	II (%98)	I (%99)				
100	150	200	kA	I_p	تيار الذروة	أول تفريغ قصير	
50	75	100	C	Qshort	شحنة تفريغ قصيرة		
2 500	5 625	10 000	kJ/Ω	R/W	طاقة محددة		
350/10			$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	T_2/T_1	معلمات الوقت		
25	37,5	50	kA	I_p	تيار الذروة	تفريغ قصير لاحق	
100	150	200	$\mu\text{s}/\text{kA}$	dt/di	متوسط الانحدار		
100/0,25			$\mu\text{s}/\mu\text{s}$	T_2/T_1	معلمات الوقت		
100	150	200	C	Qlong	شحنة تفريغ طويل	تفريغ طويل	
0,5			s	Tlong	معلمات الوقت		
150	225	300	C	Qflash	شحنة الوميض	وميض	

3.6 التوصيل والتأريض والتدريع

يؤدي استعمال تقنيات التركيب التي توفر التوصيل والتأريض والتدريع إلى تقليل الاقتران بين الصاعقة وخط الاتصالات. وفي حالة ضربت الصاعقة الخط مباشرة أو بالقرب منه، تقوم شبكة التأريض المشتركة (CBN) في المبنى وتجهيزات شبكات التأريض (BNS) بتبديد تيار الصاعقة لتكفل بذلك تدريع الخطوط الداخلية. وتغليف التجهيزات تغليفاً كاملاً بدرع أو تمريرها داخل قنوات يمكن أن يقلل بشكل فعال من الفلطفية أو التيار المقترن بموصلات الاتصالات. ومعاوقة الانتقال هي المعلمة المهمة بالنسبة لفعالية تدريع الكبل التي تساوي تقريباً بالنسبة للدروع الصلبة المقاومة لترددات الصاعقة مقاومة التدريع (بتيار مستمر).

وتشكل تدابير الحماية الأولية مجتمعة مع تدابير التوصيل والتأريض حاجزاً كهرومغناطيسياً لحماية المرافق يقلل تغلغل التداخلات الكهرومغناطيسية الوافدة إلى المرافق من الخارج.

7 التمورات المتوقع أن تسببها الصاعقة

1.7 سقوط ومضات الصاعقة على المبنى مباشرة (مصدر الضرر S1): مرور تيار الصاعقة عبر خطوط الاتصالات أو التشوير التي تتخلل المبنى (بنية البدالة أو بنية الزبون أو الموقع البعيد)

يمر تيار الصاعقة الناجم عن تفريغه بالمبنى مباشرة في نظام تأريض المبنى والخدمات الداخلة فيه. وعليه، يدخل جزء من هذا التيار داخل درع الكبل أو موصلات كبل خط الاتصالات أو التشوير مباشرة أو عبر أجهزة الحماية من التمور (SPD) الموصولة بها، لأن الكبل هو أحد الخدمات الكائنة داخل المبنى.

وترد معلمات تيار الصاعقة في الجدول 1 فيما يخص أول تفريغ قصير بوصفها دالة للسوية LPL المنتقاة. وبناءً على ذلك، يُوصف تيار الصاعقة المتغلغل داخل خط الاتصالات أو التشوير بشكل موجة قدره $\mu s 350/10$ بينما تُوصف قيمة ذروته بالمقدار I_f .

وكقيمة تقريبية أولى، يمكن افتراض أن ما نسبته 50% من تيار الصاعقة (I) يمر في نظام انتهائية الأرض في حين يتم تقاسم النسبة المتبقية منه (50%) بين خدمات n المتغلغلة داخل المبنى.

وإذا كان خط الاتصالات أو التشوير الداخل غير مدرع ولا مسير داخل قناة معدنية، يقوم كل موصل من موصلات m التابعة للخط بنقل جزء متساو (I_f) من تيار الصاعقة في ذروته ويمكن تقييمه بتطبيق المعادلة التالية:

$$(2) \quad I_f = \frac{0.5 \times I_p}{n \times m} \quad \text{لخط غير مدرع}$$

أما فيما يتعلق بالخطوط المدرعة الداخلة (أو المسيرة داخل قناة معدنية) والمؤرضة عند مدخل المبنى، فتُحسب قيم ذروة (I_f) التيار المتغلغل داخل كل موصل من موصلات m بتطبيق المعادلة الآتية:

$$(3) \quad I_f = \frac{0.5 \times I_p \times R_s}{n \times (m \times R_s + R_c)} \quad \text{لخط مدرع}$$

حيث:

R_s = المقاومة بالأوم لوحدة طول الدرع أو القناة المعدنية؛

R_c = المقاومة بالأوم لوحدة طول الموصل.

وتتناسب فلطية الدارة المفتوحة بين أحد الموصلات ومطراف التأريض الرئيسي (MET) تقريباً مع ناتج مقاومة التأريض والجزء من تيار الصاعقة المار بشبكة التأريض إذا كان الكبل غير مدرع. أما إذا كان الكبل مدرعاً، فإن فلطية الدارة المفتوحة بين أحد الموصلات والمطراف MET الموصل بتأريضه بالكبل المدرع تتناسب تقريباً مع ناتج مقاومة التدريع ومع جزء من تيار التفريغ المار بالدرع والمحدد بفلطية قطع الموصلات الرئيسية بالنسبة إلى الدرع (مثل 5 kV). وفي حال تأريض الدرع دورياً، يتعرض تيار الدرع للتوهين وهو ينتشر بعيداً عن نقطة الصعق. ويؤدي انتشار التمور على امتداد الكبل إلى حدوث تشتت وزيادة وقت الإخماد.

وحتى إن روعي احتمال تأين الأرض بالقرب من الأقطاب، من المحتمل أن تكون حسامة الفلطية الناجمة عالية بما فيه الكفاية لتأمين الحماية الأولية أو في حال عدم وجود حماية تؤدي إلى تعطل عزل الموصلات. وعليه لا تُؤخذ في الحسبان الإجراءات المبينة بالتفصيل لحساب فلطية الذروة. وينطبق ذلك على خطوط الاتصالات غير المدرعة والخطوط المدرعة على حد سواء.

2.7 سقوط ومضات الصاعقة بالقرب من المبنى أو عليه (مصدر الضرر S1 أو S2): التمورات المستحثة في خطوط الاتصالات أو التشوير داخل المبنى (بنائية البدالة أو بنائية الزبون أو الموقع البعيد)

يؤدي سقوط وميض الصاعقة بالقرب من مبنى ما أو عليه إلى استحثاث فلطيات التمورّ بالأسلوب الشائع في خطوط الاتصالات أو التشوير داخل المبنى (بنائية البدالة أو بنائية الزبون أو الموقع البعيد) بسبب المشتقة الزمنية لتيار الصاعقة (dt/di). ويُحصل على قيمة ذروة V_{io} الفلطية المستحثة للدائرة المفتوحة بتطبيق المعادلة الآتية:

$$(4) \quad V_{io} = L_M \times \frac{di}{dt} = L_M \times \frac{I_p}{T_1}$$

حيث:

L_M = الاستحثاث المتبادل بين العروة المستحثة وتيار الصاعقة؛

I_p = قيمة ذروة تيار الصاعقة؛

T_1 = زمن زيادة تيار الصاعقة.

ومعلمة تيار الصاعقة هي متوسط درجة الانحدار (dt/di)، الذي يتم الحصول عليه بواسطة النسبة بين قيمة الذروة (I_p)، وزمن الزيادة (T_1) (انظر 8.3) لحالات التفريغ اللاحقة (أسوأ حالة) المبينة في الجدول 1 بوصفها دالة لسوية LPL المنتقاة.

ويُتوقع أن يكون لشكل موجة الفلطية المستحثة للدائرة المفتوحة مدة قصيرة جداً (تبلغ بضع وحدات μs)، مثل $2 \mu s$ إلى $10 \mu s$ وزمن زيادة مماثل لزمن التفريغ اللاحق (أي، $0,25 \mu s$)، مثلما تبين ذلك القياسات الواردة في التذييل I للفلطية المستحثة داخل عروة منقولة بفعل إطلاق الصاعقة.

وقيمة ذروة تيار الدائرة القصيرة (I_{sc}) في حال إهمال مقاومة أسلاك العروة المحسوبة بالأوم (أسوأ حالة) هي قيمة تُقدر بتطبيق المعادلة التالية:

$$(5) \quad I_{sc} = \frac{V_{oi} \times T_1}{L_S}$$

أو المعادلة

$$(6) \quad I_{sc} = \frac{L_M}{L_S} \times I_p$$

حيث:

L_S = الاستحثاث الذاتي للعروة المستحثة.

وفيما يتعلق بشدة تيار الدائرة القصيرة (I_{sc})، فإن معلمة تيار الصاعقة هي قيمة ذروة (I_p) أولى حالات التفريغ (أسوأ حالة) المبينة في الجدول 1 كدالة لسوية LPL المنتقاة. ويتمثل شكل موجتها في شكل موجة تيار الصاعقة (انظر التذييل I)، وعليه، تُوصف مدتها في أسوأ الحالات بشكل موجة بقيمة $350/10 \mu s$.

وترد في الجدول 2 قيم ذروة توتر الدائرة المفتوحة (V_{oi}) الناجمة عن حالات التفريغ اللاحقة، وتيار الدائرة القصيرة (I_{si}) الناشئ عن أولى حالات التفريغ فيما يخص مختلف قيم سوية الحماية من التمور (SPL). وقُدرت هذه القيم على غرار ما هو مبين (في القسمين الفرعيين 2.A و 3.A) من الملحق A لعروة غير مدرعة بمساحة قدرها 50 m^2 ($m = h$ ؛ $m = e$ ؛ 10 m) موضوعة داخل بنائية غير مدرعة.

الجدول K.67/2 - فلتيات الدارة المفتوحة والتيارات الدارة القصيرة لكل موصل التي يُتوقع حدوثها في مختلف عقد خط الاتصالات أو التشوير بفعل سقوط ومضات الصاعقة على المبنى مباشرة (s_1) وعلى خط الاتصالات (s_3) وبالقرب من المبنى (s_2)

سقوط ومضات الصاعقة على المبنى مباشرة مصدر الضرر S_1		سقوط الومضات قرب المبنى مصدر الضرر S_2		ومضات مباشرة على خط الاتصالات مصدر الضرر S_3	
العقدتان S و E (انظر الجدول 2.A)		العقد L و A و M و I (الملاحظة 1) (موصل 1 سفلي فقط) (انظر الجدول 1.A)		العقد C، D، S، A P, E, L	
SPL	(جزء من تيار الصاعقة المباشر) شكل الموجة: $\mu s 350/10$ [kA]	(الفلطية المستحثة بفعل حالات التفريغ اللاحقة) شكل الموجة: $\mu s 2/0,25$ [kV]	(التيار المستحث بفعل أول تفريغ) شكل الموجة: $\mu s 350/10$ [kA]	(جزء من تيار الصاعقة المباشر) شكل الموجة: $\mu s 350/10$ [kA]	(جزء من تيار الصاعقة المباشر) شكل الموجة: $\mu s 350/10$ [kA]
	المعادلة (2) أو (3)	250	6	0,50 (الملاحظة 2)	المعادلة (12) أو (14)
	II	190	4,5	0,07	المعادلة (12) أو (14)
III	المعادلة (2) أو (3)	125	3	0,05	المعادلة (12) أو (14)
الملاحظة 1 - شروط الحساب: مبنى غير مدرع؛ خط مستحث غير مدرع؛ أبعاد العروة: 50 m^2 ($h = 5\text{ m}$؛ $e = 10\text{ m}$)؛ نصف قطر موصل العروة: 0,5 mm. الملاحظة 2 - يمكن في حالات معينة تطبيق المعادلة (12) أو (14). يُعتبر هبوط التوتر من الخط إلى الأرض مساوياً لمقدار 100 kv ويمر الخط بدارة قصيرة إلى الأرض عند سوية أول نقطة مرغوبة.					

وفيما يتعلق بأي خط مستحث ذي عروة مختلفة ولكنها بمساحة مطابقة لطول العروة (e)، يجب أن تُضرب قيم فلطية التمرور الواردة في الجدول 2 بالعامل التالي (K_r):

$$(7) \quad K_r = A/50 \quad (A \text{ هي مساحة العروة مقيسة بالأمتار المربعة } m^2)$$

ويُتيح تطبيق المعادلة (5) تقييم تيار الدارة القصيرة (I_{sc})، وحساب قيمة الاستحثاث الذاتي (L_s) للعروة الجديدة.

وبالنسبة للخطوط المدرعة يمكن تقليل قيم فلطيات التمرور الواردة في الجدول 2 بواسطة العامل K_{s3} المبين في المعادلة الآتية:

$$(8) \quad K_{s3} = K_r \times K_{ss}$$

حيث:

$$(9) \quad K_{ss} = \frac{V_{cs}}{V_{io}}$$

V_{cs} = الفلطية بين الموصل والدرع مبنية بالمعادلة التالية:

$$(10) \quad V_{cs} = R \times I_{sc}$$

وتطبيق المعادلتين (4) و (5) بشأن البعدين V_{io} و I_{sc} على التوالي، تصبح المعادلة (8) كالآتي:

$$(11) \quad K_{ss} = \frac{R \times T_1}{L_s} \text{ التي يصح تطبيقها على الدالة (11) } T_1 \gg (L_s/R)$$

حيث:

$$K_{ss} = \text{قيمة عامل التدريع ذي الصلة بالدرع (R مقاومة الدرع محسوبة بالأوم (\Omega))}.$$

ملاحظة - يصح تطبيق المعادلة 10 على الدروع الأنبوبية. أما بالنسبة للدروع المضفرة، فهي معادلة تقريبية.

ويمكن تقدير قيم تيارات التمور لمساحات عروات مختلفة مع مراعاة اختلاف قيم كل من فلطية تمور المستحث واستحثاث العروة (انظر القسمين الفرعيين 2.A و 3.A).

3.7 ضرب الصاعقة مباشرة لخطوط الاتصالات أو التشوير

يُحتمل وجود حالتين هما:

(أ) نقطة ضربة الصاعقة بعيدة عن المبنى؛

(ب) النقطة قريبة من المبنى.

ويُوصف تيار الصاعقة المتغلغل داخل خط الاتصالات أو التشوير في كلتا الحالتين بشكل موجة قدره $350/10 \mu s$ وقيمة الذروة I_f . وبإهمال آثار الانتشار، فإن من المفترض أن يكون للتيار المتوقع مروره بمختلف مواقع الشبكة (بناية البدالة أو بناية الزبون أو الموقع البعيد) نفس قيمة شكل الموجة $350/10 \mu s$.

وبالنسبة للحالة (أ)، يتم الحصول على تيار الذروة الكلي المار بالخط في أسوأ الحالات بمضاعفة مقدار الفلطية الهابطة من الخط إلى الأرض وقسمته على معاوقة تمور الخط (مثلاً، $2 \times 100 \text{ kV} / 400 \Omega = 500 \text{ A}$)؛ وهذه الحالة التي هي الأسوأ مستقلة عن السويات LPL من I إلى IV، غير أن تحليل الحالة (ب) ينطبق عليها في حال كان الخط مدرعاً وكان الدرع مؤرضاً دورياً.

وينبغي في الحالة (ب) مراعاة تقسيم تيار الصاعقة في كلا اتجاهي شبكة الاتصالات وانحياز العزل إلى الأرض. وكقيمة تقريبية أولى، يمكن التسليم بأن ما نسبته 50% من تيار الصاعقة (I_p) يتسرب إلى الأرض في حين تنتشر النسبة المتبقية منه (50%) في كلا الاتجاهين بين خدمات n المجاورة بعضها لبعض.

وفي حال عدم تدريع خط الاتصالات أو التشوير أو تسييره داخل قناة معدنية، يقوم كل موصل من موصلات m التابعة للخط بنقل جزء متساو (I_f) من تيار الصاعقة في ذروته والذي يمكن تقييمه بتطبيق المعادلة التالية:

$$(12) \quad I_f = \frac{0.25 \times I_p}{n \times m} \text{ لخط غير مدرع}$$

حيث $n = 1$ أو 2؛ عند انطباق الحالة الأخيرة مثلاً، حينما تكون خطوط الاتصالات وخطوط الكهرباء قريبة من بعضها البعض، كتقاسمها نفس الأقطاب مثلاً.

وتساوي القيمة التي يُحصل عليها بواسطة المعادلة (12) القيمة التالية أو أقل منها:

$$(13) \quad I_f \leq 8 \times A \quad [\text{kA}]$$

حيث A مساحة المقطع المستعرض لموصل الاتصالات أو التشوير [محسوبة بالملليمترات المربعة $[\text{mm}^2]$].

أما فيما يتعلق بالخطوط المتغلطة المدرعة (أو المسيرة داخل قناة معدنية) والمؤرضة عند مدخل المبنى، فتُحسب قيم ذروة (I_f) التيار المتغلغل داخل كل موصل من موصلات m بواسطة المعادلة الآتية:

$$(14) \quad I_f = \frac{0.25 \times I_p \times R_s}{n \times (m \times R_s + R_c)} \quad \text{لخط مدرع}$$

حيث:

R_s = المقاومة بالأوم لوحدة طول الدرع أو القناة المعدنية؛

R_c = المقاومة بالأوم لوحدة طول الموصل.

ويتناسب تقريباً توتر الدارة المفتوحة بين الموصل والدرع مع ناتج مقاومة الدرع ومع الجزء من تيار الصاعقة المار بالدرع والمحدد بالتوقف المفاجئ لفلطية الموصلات الرئيسية بالنسبة إلى الدرع (مثل 5 Kv). وفي حال تأريض الدرع دورياً، يتعرض تيار الدرع للتوهين بسبب ابتعاده عن نقطة الصعق. ويؤدي انتشار التمرور على امتداد الكبل إلى حدوث تشتت وزيادة وقت الإخماد.

وبالنسبة للبنائيات الحاوية للبدالات، تضرب الصاعقة عموماً خط الهوائي (المكون من بضعة أزواج) بعيداً عن المبنى. ويمكن في هذه الحالة استعمال القيم المبينة في الجدول 2. وبالإمكان تطبيق المعادلات (12) و(13) و(14) المذكورة أعلاه في حالات معينة.

أما فيما يخص بناية الزبون، فتحدث عموماً أسوأ حالة عندما تكون نقطة الصعق قريبة من المبنى. ويمكن في هذه الحالة استعمال القيم المقدرة على أساس المعادلات (12) و(13) و(14) المذكورة أعلاه.

ملاحظة - لا يتوفر سوى القليل من المعلومات عن تيارات تمر ناجمة عن ضرب الصاعقة لخطوط الاتصالات مباشرة. ويشار في الدراسة الاستقصائية التي أجرتها كندا في الفصل 10 من كتيب الحماية من الصاعقة [1] إلى أن "الحادث بنصف قيمة الانحطاط $300 \mu s$ ، جاء نتيجة لضربة صاعقة مباشرة لقطب كان على بعد 200 متر تقريباً من موقع مسبار بقطب كربوني، وكان هذا الموقع مجهزاً أيضاً بعدد مدرج بسويات ومراقب رقمي لأشكال الموجات. ولحقت بالكبل والقطب أضرار جسيمة". ولا تتوفر معلومات عن قيمة ذروة تيار الصاعقة التي ضربت الخط. ولو افترضنا أن تيار التمرور هذا البالغة قيمته 300 A قد نجم عن تيار صاعقة قيمته حوالي 30 kA، المقابل لاحتمال نسبته 50%، عندئذ يمكن تقدير القيمتين المقترنتين بالسوية LPL III بمقدار 2 أو 1 kA على التوالي. ويمكن الحصول على نتائج مماثلة بتطبيق المعادلة (6) بحيث تكون $n=1$ و $m=20$ عندما يكون تيار الصاعقة بمقدار 200 kA (السوية LPL I) أو 100 kA (السوية LPL III).

4.7 سقوط ومضات الصاعقة بالقرب من خطوط الاتصالات

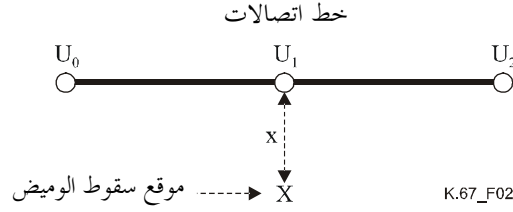
1.4.7 جوانب عامة

يُعكف استناداً إلى إجراء عدة دراسات استقصائية في بلدان مختلفة على بحث قيم ذروة فلطيات التمرور وتياراته المتوقع أن تسببه الصاعقة في بعض النقاط الانتقالية لشبكة الاتصالات. وترد نتائج هذه الدراسات في الفصل 10 من كتيب الحماية من الصاعقة [1].

ومتطلبات القدرة على المقاومة الملازمة لتجهيزات الاتصالات المحددة في التوصيات K.20 و K.21 و K.45 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات في الاتحاد (ITU-T) هي متطلبات قائمة على نتائج الدراسات الاستقصائية المبينة في كتيب الحماية من الصاعقة [1].

ويقتصر تطبيق تدابير حماية إضافية (الحماية الأولية) على المنشآت "المعرضة لخطر الصاعقة" والخاضعة لعملية تقييم مخاطرها [2، 3، 6].

ويبين الشكل 2 أسوأ حالات الاستحثاث التي تفترضها هذه التوصية حيث يكون موقع وميض الصاعقة في منتصف المسافة بين انتهائتي الخط، وعلى مسافة تبعد بمقدار "x" عن خط الاتصالات الذي هو خط هوائي على ارتفاع 6 أمتار ($h=6$). ويقيم فلطية التمرور وتياراته الخطيرة المتوقعة في النقطة الوسطية وعند انتهائتي الخط.



الشكل K.67/2 - التشكيلة المرجعية لتقييم التمور المستحث بفعل سقوط الصاعقة بالقرب من الخط (أسوأ حالة)

وتُحدد السوية SPL بالمعادلة التالية:

$$(15) \quad SPL = \frac{N_T(U_{SPL})}{N_T(U_R)}$$

حيث:

U_{SPL} = الفلطية المقابلة لسوية SPL المنتقا؛

U_R = فلطية مرجعية (أقل من U_{SPL}) تحدد مستوى الفلطية بالنسبة لأدنى سوية لقدرة مقاومة التجهيزات الموصولة بالخط أو قدرة مقاومة عزل موصل الخط؛

$N_T(U)$ = العدد الكلي لضربات الصاعقة التي تستحث فلطية مساوية لـ U أو أعلى منها.

ويرد حساب العدد N_T والفلطية U_{SPL} في الملحق B بالنسبة لخط هوائي غير مدرع وخط مدرع على حد سواء موضوع فوق تربة موصلة تماماً.

ويقترح الملحق B أيضاً كيفية تقييم تيارات الدارة القصيرة المصاحبة لفلطية التمور الخطيرة.

2.4.7 القيم المحسوبة (تربة موصلة تماماً)

ترد في الجدول 5 قيم ذروة فلطيات التمور الخطيرة للدارة المفتوحة والتيارات الخطيرة للدارة القصيرة المتوقع حدوثها عند النقاط الانتقالية P و C و D (القريبة من النقطة الوسطية) للخط الهوائي غير المدرع فيما يخص مختلف سويات SPL. ويتباين شكل موجة فلطيات التمور وتياراته تبايناً كبيراً بتباين خصائص تيار الصاعقة (شكل الموجة وقيمة الذروة والسرعة) ويتباين المسافة الفاصلة بين صعقة التفريغ والخط وخصائص الخط (توصيلات التأريض، والتدريع، وما إلى ذلك). وتؤدي الزيادة الطارئة في المسافة الفاصلة بين صعقة التفريغ والخط بالنسبة لتيار صاعقة ثابت وخط غير مدرع إلى تخفيض الفلطية والتيار المستحثين وتطويل أشكال الموجات. وعلاوة على ذلك، فإن تدريع الخط يقلل أيضاً الفلطية والتيار المستحثين وتطويل أشكال الموجات. وعلاوة على ذلك، يؤدي أيضاً تدريع الخط إلى تخفيض الفلطية والتيار المستحثين وتطويل أشكال الموجات. وتبلغ سرعة صعقة التفريغ العائدة في تيارات الصاعقة المدروسة في الجدول 1 ما مقداره 130 $\mu\text{s/m}$ ، ويمكن تمثيل الفلطية المستحثة المقابلة لمدى السويات SPL المنتقا (أي، 0,01 إلى 0,05)، وشكل موجة الفلطية والتيارات المستحثة عبر خط غير مدرع، بموجة أسية مضاعفة قدرها 20/8 μs . وتقل قيمة الذروة في الخط المدرع بينما يطول شكل موجته، وبالتالي فإن الموجة الأسية المضاعفة للمقدار 700/10 μs هي موجة أكثر تمثيلاً.

ملاحظة - يُحسب شكل الموجة 20/8 μs لأي خط هوائي غير مدرع بالاستعانة بالمرجع [5]، على فرض أن سرعة صعقة التفريغ العائدة تساوي 130 $\mu\text{s/m}$. أما في الخط المدرع، فيُسلم بأن شكل الموجة مطابق للقياسات.

3.4.7 القيم المقيسة (تربة غير موصلة تماماً)

يُعكف في عدة بلدان على قياس فلطيات التمور وتياراته التي يمكن أن تظهر في شبكة النفاذ، وترد معطيات القياس في الفصل 10 من كتيب الحماية من الصاعقة [1]. ويلخص الجدول 3 هذه المعطيات.

وَجُمِعَت هذه المعطيات في الميدان من خطوط مكونة من خليط من الأقسام المدرعة المدفونة والهوائية وكثيراً ما جُمِعَت من قسم قصير غير مدرع قريب من الزبون (كبل التفريع). وقيست معظم المعطيات على صعيد تجهيزات البدالة وأطراف المشتركين. وتمثل الفولطية U_e الواردة في الجدول 3 التوتر بين الزوج والدراع المقيس عند طرف البدالة ويمثل الرمز i_{sce} تيار الدارة القصيرة المصاحب، بينما يمثل الرمز U_s توتر الدارة المفتوحة بين الزوج (أو أحد موصلي الزوج) والأرض عند طرف الزبون ويمثل الرمز i_{scs} تيار الدارة القصيرة المصاحب.

الجدول K.67/3 - قياس فلطيات تمور الدارة المفتوحة وتيارات تمور الدارة القصيرة عند طرفي البدالة والزبون

طرف الزبون		طرف البدالة		الاحتمال
[A] i_{scs}	[V] U_s	[A] i_{sce}	[V] U_e	
23	2300	17	860	0,01
16	1640	13	680	0,02
10	1020	8	480	0,05

ويمكن تقدير القيمتين التاليتين $\eta_{ss} = 0,05$ و $\eta_{se} = 0,1$ على فرض أن مقاومة الدرع هي $R_s = 5 \Omega$ ومقاومة الأرض لتوصيل الدرع بالأرض قرب الزبون هي $R_t = 400 \Omega$ ومعاوقة التمور هي $Z = 100 \Omega$ بالنسبة للقسم المدفون وهي $Z = 400 \Omega$ بالنسبة للقسم الهوائي.

وبمراعاة قيم عامل التدريع هذه، يمكن الاستناد إلى معطيات القياس في تقدير التوزيع المبتور ($U_R = 50 V$) عند طرف البدالة والفلطية ($U_R = 150 V$) عند طرف الزبون. وترد القيم الخطيرة لذروة تمور الفلطية والتيارات في الجدول 4 بوصفها دالة للسوية SPL.

الجدول K.67/4 - قياس فلطيات التمور الخطيرة للدارة المفتوحة وتيارات التمور الخطيرة للدارة القصيرة عند طرفي البدالة والزبون

طرف الزبون		طرف البدالة		السوية SPL
[A] i_{scs}	[V] U_s	[A] i_{sce}	[V] U_e	
35	3500	20	1000	I
25	2500	15	750	II
15	1500	10	500	III

وترد هذه القيم أيضاً في الجدول 5.

الجدول 5/ K.67 – فلطيات الدارة المفتوحة والتيارات الدارة القصيرة لكل موصل
المتوقع حدوثها في مختلف عقد خط الاتصالات أو التشوير بفعل ومضات الصاعقة
بالقرب من خط الاتصالات (S₄)

ومضات الصاعقة بالقرب من خط الاتصالات أو التشوير (أسوأ حالة) مصدر الضرر S ₄										SPL
العقد D و S و A (مقيسة)		العقد L و E و P و C (مقيسة)		العقد L و E و P و C القيمة = 0,05 ηs (المحسوبة)		العقد D و S و A		العقد L و E و P و C		
القيمة 0,1 = ηs (المحسوبة)										
خط مكون من أقسام مدرعة مدفونة (العقد C-E)، وأقسام مدرعة هوائية (العقد D-C)، وأقسام غير مدرعة هوائية (العقد S-C)						خط غير مدرع (ملاحظة)				
التيار المستحث: μs 350/10 [A]	الفلطية المستحثة: μs 700/10 [kV]	الفلطية المستحثة: μs 10/700 [kV]	التيار المستحث: μs 350/10 [A]	الفلطية المستحثة: μs 700/10 [kV]	الفلطية المستحثة: μs 700/10 [kV]	التيار المستحث: μs 20/8 [A]	الفلطية المستحثة: μs 20/8 [kV]	التيار المستحث: μs 20/8 [A]	الفلطية المستحثة: μs 20/8 [kV]	
35	3,5	6,4	20	1	1	160	64	110	44	I
25	2,5	3,4	15	0,8	0,75	85	34	60	23	II
15	1,5	1,4	10	0,6	0,5	35	14	25	10	III
ملاحظة - شروط الحساب: خط هوائي وتربة موصلة تماماً.										

الملحق A

التمورات المستحثة داخل المبنى نتيجة سقوط الصاعقة بالقرب من المبنى أو ضربها له

1.A الجوانب العامة

التمورات المستحثة بفعل الصاعقة داخل عروات مكونة بالتكبير في منشأة معينة هي مسألة مهمة بالنسبة للكثير من توصيات السلسلة K الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات في الاتحاد (ITU-T). وتُشخص تمورات الصاعقة بأشكال موجاتها وقيم ذروتها.

ويبين التذييل الأول أشكال موجات فلطيات التمرور المستحثة هذه على أساس نتائج القياسات التي نُفذت في أحد المواقع التجريبية.

وقيم ذروة فلطية الدارة المفتوحة (V_{io}) و تيار الدارة القصيرة (I_{io}) المستحثين داخل العروة هي قيم مقدرة في القسمين الفرعيين 2.A و 3.A المتعلقين بسقوط ومضات الصاعقة بالقرب من المبنى أو عليه على التوالي.

2.A سقوط الصاعقة بالقرب من المبنى

يمكن بواسطة المعادلة (4) حساب قيمة ذروة فلطية الدارة المفتوحة (V_{io}) المستحثة في العروة الموجودة داخل المبنى بفعل ضرب الصاعقة للمبنى، حيث يتم التوصل إلى الاستحثاث المتبادل (L_M) بتطبيق المعادلة التقريبية التالية (على فرض أن المجال المغنطيسي الساقط هو موجة مستوية) [3، 6]:

$$(1.A) \quad L_M = 0.2 \times \eta \times K_s \times h \times \ln \left(\frac{f+d+e}{f+d} \right) \quad [\mu H]$$

حيث (انظر الشكل 1.A):

$= h$ عرض العروة أو ارتفاعها [بالمتر]؛

$= e$ طول العروة [بالمتر]؛

$= f$ المسافة الممتدة من قناة تفريغ شحنة الصاعقة إلى جدار المبنى [بالمتر]؛

$= d$ المسافة الفاصلة بين العروة وجدار المبنى؛

$= \eta = 0,12 \times w$ عامل تدريع درع المبنى (درع المنطقة 1 للحماية من الصاعقة (LPZ 1))، حيث $5 \geq w$

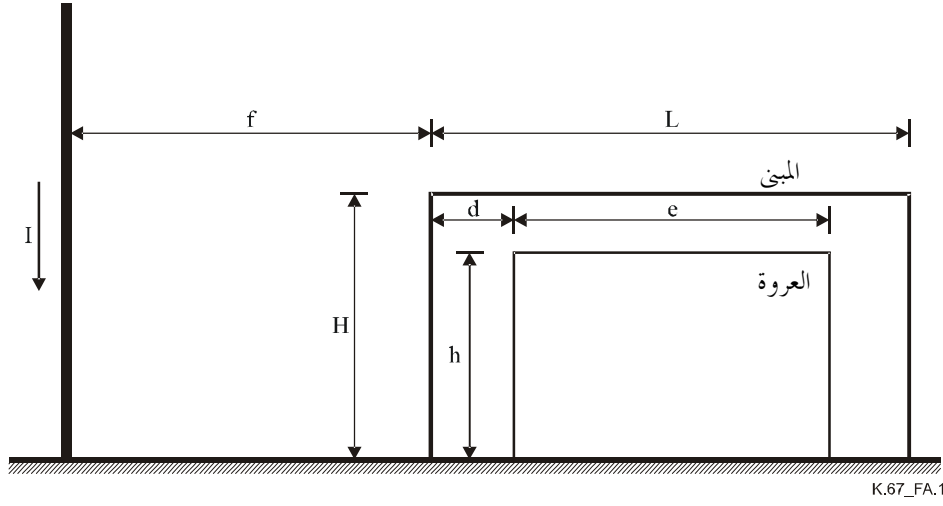
عرض تشابك الدرع الفضائي الشبيه بالشبكة [5، 6]؛

$= K_s$ عامل تدريع يراعي أثر تدريع الكبل؛

و:

$= I_{ps}$ قيمة ذروة حالات التفريغ اللاحقة (الجدول 1) [kA]؛

$= T1 = 0,25$ زمن زيادة حالات التفريغ اللاحقة (الجدول 1) [μs].



الشكل K.67/1.A - تفريغ الصاعقة بالقرب من المبنى

وقيمة ذروة تيار الدارة القصيرة (Isc) في حال إهمال مقاومة أسلاك العروة المحسوبة بالأوم (أسوأ حالة) هي قيمة تُقدر بتطبيق المعادلة (5) أو (6)، حيث يُحسب استحثاث العروة الذاتي (LS) بالوحدة μH بتطبيق المعادلة التالية:

$$(2.A) \quad L_S = 0.8 \times \sqrt{e^2 + h^2} - 0.8 \times (e + h) + 0.4 \times e \times \ln \left[\frac{\frac{2 \times h}{r}}{e + \sqrt{e^2 + \left(\frac{h}{e}\right)^2}} \right] + 0.4 \times h \times \ln \left[\frac{\frac{2 \times e}{r}}{e + \sqrt{e^2 + \left(\frac{e}{h}\right)^2}} \right]$$

حيث:

$$r = \text{نصف قطر سلك العروة [بالمتر].}$$

وتُقدر بواسطة المعادلة (4) فلطيات التمور الخطيرة المتوقع استحثاثها في العروة الداخلية.

وتُحدد السوية SPL بالمعادلة التالية:

$$(3.A) \quad SPL = \frac{N_T(U_{SPL})}{N_T(U_R)}$$

حيث:

$$U_{SPL} = \text{الفلطية المقابل لسوية SPL المنتقاة؛}$$

$$U_R = \text{فلطية مرجعية (أقل من الفلطية } U_{SPL} \text{) تحدد أدنى سوية توتر لقدرة مقاومة التجهيزات الموصولة بالخط أو قدرة مقاومة عزل موصل الخط؛}$$

$$N_T(U) = \text{العدد الكلي لضربات الصاعقة التي تسبب فلطية مساوية للفلطية } U \text{ أو أكبر منها.}$$

ويتم التوصل إلى العدد الكلي لضربات $N_T(U)$ (انظر الشكل 2.A) بتطبيق المعادلة الآتية:

$$(4.A) \quad N_T = 4 \cdot N_g \int_0^{\infty} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\infty} p(i) \cdot di \cdot \cos \theta \cdot d\theta \cdot x \cdot dx$$

حيث:

$$N_g = \text{كثافة الومضات الساقطة على الأرض (عدد الضربات/2km سنوياً)؛}$$

أدى مسافة ممتدة من العروة والتي عندها لن تضرب الصاعقة المبنى مباشرة
 $= R$
 $(L/2 + 3H \cong R)$ (انظر الشكل 1.A)؛

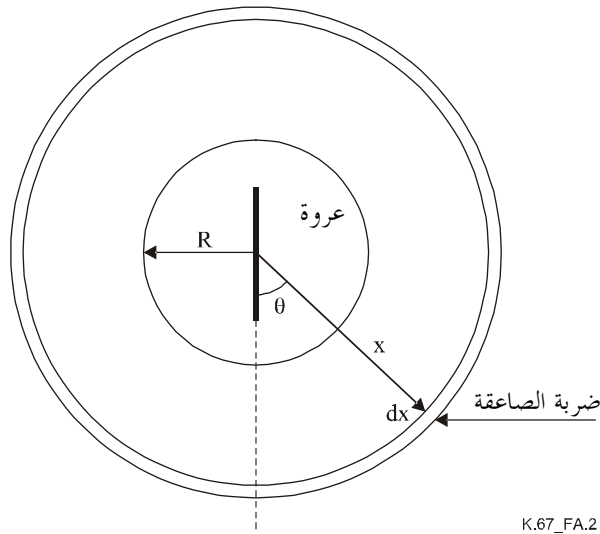
دالة احتمال تيار الضربة. $= p(i)$

الملاحظة 1 - تبين التوصية K.47 الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات في الاتحاد (ITU-T) أن قيمة
 $p(i) = 10^{-2} e^{(a-bi)}$ بالنسبة للدالة $0 \leq i$ ، حيث "i" تيار ذروة تفريغ شحنة الصاعقة [kA]
 $a = 4,605$ و $b = 0,0117$ بالنسبة للدالة $i \geq 5,063$ و $a = 20$ و $b = 0,0346$ بالنسبة للدالة
 $20 \text{ kA} < i$.

الزاوية بين العروة وخط مستقيم واصل بين نقطة الضربة والعروة؛ $= \theta$

المسافة الفاصلة بين نقطة الضربة ومركز العروة؛ $= x$

تيار الذروة في نقطة الضربة الذي يستحث الفلطية U عند العروة والمستنبط بتطبيق
 $= I_p$
 المعادلة (4).



K.67_FA.2

الشكل K.67/2.A - التشكيلة المرجعية لتقييم التمور المستحث داخل عروة
 بفعل سقوط الصاعقة بالقرب من المبنى

وعلى فرض أن معظم نقاط ضربات الصاعقة تقع على بعد مسافة معينة من المبنى لكي تكون الدالة $d+f \ll e$ ولذلك ففي
 $(f+d)/e \cong [(f+d+e)/(f+d)]$ ، ويمكن تدوين المعادلة (1.A) على النحو التالي:

$$(5.A) \quad L_M = 0.2 \times \eta \times K_s \times h \times \frac{e}{(f+d)} \cong \frac{W}{x}$$

حيث $W \cong f+d \times x$ هو ثابت يتم الحصول عليه بواسطة المعادلة التالية:

$$(6.A) \quad W = 0.2 \times \eta \times K_s \times h \times e$$

ويؤدي حل الأعداد الصحيحة للمعادلة (4) وإدراج النتائج في المعادلة (3.A) وإجراء بعض العمليات الجبرية إلى الحصول على
 المعادلات التالية:

$$(7.A) \quad U_{SPL} \leq U_{LIM} \text{ و } U_R \text{ بالنسبة للدالتين } SPL = \left(\frac{U_R}{U_{SPL}} \right)^2 \frac{[(C_1 \cdot U_{SPL} + 1) \exp(a_1 - C_1 \cdot U_{SPL}) - D]}{[(C_1 \cdot U_R + 1) \exp(a_1 - C_1 \cdot U_R) - D]}$$

$$(8.A) \quad U_{LIM} < U_{SPL} \text{ و } U_{LIM} \geq U_R \text{ بالنسبة للدالتين } SPL = \left(\frac{b_1 \cdot U_R}{b_2 \cdot U_{SPL}} \right)^2 \frac{[(C_2 \cdot U_{SPL} + 1) \exp(a_2 - C_2 \cdot U_{SPL})]}{[(C_1 \cdot U_R + 1) \exp(a_1 - C_1 \cdot U_R) - D]}$$

$$(9.A) \quad U_{LIM} < U_{SPL} \text{ و } U_R \text{ بالنسبة للدالتين } SPL = \left(\frac{U_R}{U_{SPL}} \right)^2 \frac{[(C_2 \cdot U_{SPL} + 1) \exp(a_2 - C_2 \cdot U_{SPL})]}{[(C_2 \cdot U_R + 1) \exp(a_2 - C_2 \cdot U_R)]}$$

الملاحظة 2 - الحصول على هذه المعادلات الثلاث (7.A) و (8.A) و (9.A)، بدلاً من معادلة واحدة، هو نتيجة لتجزئة الدالة p(i) at i = 20 kA (انظر الملاحظة 1)؛

حيث:

$$(10.A) \quad U_{LIM} = \frac{20 \cdot W}{R \cdot T_1}$$

$$(11.A) \quad C_1 = \frac{b_1 \cdot R \cdot T_1}{W}$$

$$(12.A) \quad C_2 = \frac{b_2 \cdot R \cdot T_1}{W}$$

$$(13.A) \quad D = \left(1 + 20b_1 - 20 \frac{b_1^2}{b_2} - \frac{b_1^2}{b_2^2} \right) \exp(a_1 - 20b_1) = 82.33$$

.p(i) معلمات الدالة هي $a_1 = 4,605$ ؛ $b_1 = 0,0117$ ؛ $a_2 = 5,063$ ؛ $b_2 = 0,0346$ هي معلمات الدالة p(i).

ويُعبّر عن الفلطيّتين U_{SPL} و U_R بالوحدة kV في المعادلات من (7.A) إلى (9.A).

ويُحصل على حالة محددة للسوية SPL فيما يتعلق بالدالة $R \rightarrow 0$ ، إذ تُختزل في هذه الحالة المعادلات من (7.A) إلى (9.A) في الصيغة البسيطة المبينة في المعادلة (14-A)، حيث تكون الفلطية U_{SPL} مستقلة عن أبعاد العروة ومعلمات الدالة p(i).

$$(14.A) \quad SPL = \left(\frac{U_R}{U_{SPL}} \right)^2$$

ويبين الجدولان 1.A و 2.A قيم الفلطية U_{SPL} التي يُحصل عليها بموجب المعادلات من (7.A) إلى (9.A) فيما يخص مختلف قيم السويات SPL والفلطيات U_R وأبعاد العروة والمبنى.

ويمكن الاستناد إلى نفس الأساس المنطقي من أجل استحداث تيارات الدارة القصيرة داخل العروة. وتمثل المعادلات الناشئة عن ذلك المعادلات من (7.A) إلى (9.A) حيث تُستبدل الفلطيّات U_R و U_{SPL} و U_{LIM} بالتيارات I_R و I_{SPL} و I_{LIM} وتُغير المعادلات من (10.A) إلى (12.A) لتصبح كالآتي:

$$(15.A) \quad I_{LIM} = \frac{20 \times W}{R \times L_S}$$

$$(16.A) \quad C_1 = \frac{b_1 \times R \times L_S}{W}$$

$$(17.A) \quad C_2 = \frac{b_2 \times R \times L_S}{W}$$

ورُوعي لدى حساب القيم الواردة في الجدولين 1.A و 2.A موضوع انطباق الدالة p(i) على أول تفريغ. وحسبما يرد في الجدول 1، فإن للتفريغ اللاحق نفس توزيع التفريغ الأول، ولكن بقسمة التيارات على العامل 4 (أي أن قيمة 200 kA للتفريغ الأول تقابل قيمة 50 kA للتفريغ اللاحق، وهلم جرا). وعليه، وبالنظر إلى استعمال الدالة p(i) لحساب المعادلات من

(7.A) إلى (9.A)، فقد ضُرب زمن ارتفاع التفريغ اللاحق المستعمل في حساب الفلطية USPL بالعامل 4، أي $1 = T_1 \mu s$ ، من أجل التعويض عن الفرق في جساممة التيارات. وحُسبت قيمتا الفلطية USPL والشدة I_{SPL} للتفريغ اللاحق والتفريغ الأول على التوالي.

الجدول K.67/1.A - قيم ذروة فلطيات التمرور وتياراته المستحثة بفعل سقوط الصاعقة بالقرب من المبنى في عروة بمساحة 25 m² موجودة داخل المبنى

أبعاد المبنى (بالأمتار)						SPL
0 = H - 0 = L (لا توجد بناية)		5 = H - 15 = L (بناية صغيرة)		50 = H - 25 = L (بناية كبيرة)		
(A) I _{SPL}	(V) U _{SPL}	(A) I _{SPL}	(V) U _{SPL}	(A) I _{SPL}	(V) U _{SPL}	
121	5000	112	4630	61	2520	
86	3540	82	3390	51	2100	I
54	2240	53	2200	39	1610	II
III/IV						
ملاحظة - شروط الحساب: 1 = K _s ، 1 = η ؛ (41.2 μH = L _s) = mm 0.5 = m; r 10 = m; e 2.5 = h						

الجدول K.67/2.A - قيم ذروة فلطيات التمرور وتياراته المستحثة بفعل سقوط الصاعقة بالقرب من المبنى في عروة بمساحة 50 m² موجودة داخل المبنى

أبعاد المبنى (بالأمتار)						SPL
0 = H - 0 = L (لا توجد بناية)		5 = H - 15 = L (بناية صغيرة)		50 = H - 25 = L (بناية كبيرة)		
(A) I _{SPL}	(V) U _{SPL}	(A) I _{SPL}	(V) U _{SPL}	(A) I _{SPL}	(V) U _{SPL}	
95	5000	93	4890	64	3370	
68	3540	67	3500	51	2690	II
43	2240	43	2230	37	1920	III/IV
ملاحظة - شروط الحساب: 1 = K _s ، 1 = η ؛ (52.4 μH = L _s) = mm 0.5 = m; r 10 = m; e 5 = h						

ويمكن حساب قيم الاستحثاث LS في مختلف أبعاد العروة بتطبيق المعادلة (2.A). ويبين الجدول 3.A بعض نتائج المعادلة (2.A) فيما يخص أبعاد عروة مختلفة.

الجدول K.67/3.A - قيم الاستحثاث (L_s) محسوبة بالوحدة μH لمختلف أبعاد العروة

m 10 = e		m 20 = e		(m) h
mm 0,5 = r	mm 0,5 = r	mm 0,5 = r	mm 0,5 = r	
29,7	41,2	54,6	75,3	2,5
19,1	28,7	37,5	56,4	0,5
9,2	18,5	18,4	36,9	0,05
6,4	15,7	12,9	31,3	0,025

3.A ضرب الصاعقة للمبنى

في حال ضرب الصاعقة للمبنى، يمكن النظر في الحالات الثلاث التالية:

- (1) المبنى محمي بنظام للحماية من الصاعقة (LPS) مكون من قضيب منفصل أحادي (مثل برج هوائي لحماية المحطة الأساسية الراديوية (RBS) الموجودة في الجوار)؛
 - (2) المبنى محمي بنظام LPS متشابك ذي موصلات سفلية مفصولة عن بعضها البعض على امتداد المحيط؛
 - (3) المبنى محمي بنظام LPS ذي درع فضائي شبيه بالشبكة بعرض تشابك قدره $5 \text{ m} \geq w$.
- ويمكن في الحالتين الأولى والثانية تقدير فلتية الدارة المفتوحة (V_{i0}) المستحث في العروة الموجودة داخل المبنى بتطبيق المعادلة (4)، حيث يتم التوصل إلى الاستحثاث المتبادل L_M بواسطة المعادلة التالية [4، 6].

$$(18.A) \quad [\mu H] L_M = 0.2 \times K_c \times K_s \times h \times \ln \left(\frac{d+e}{d} \right)$$

حيث (انظر الشكل 3.A):

h = ارتفاع العروة [بالمتر]؛

e = طول العروة [بالمتر]؛

d = المسافة الفاصلة بين الموصلات السفلية وعروة الدارة؛

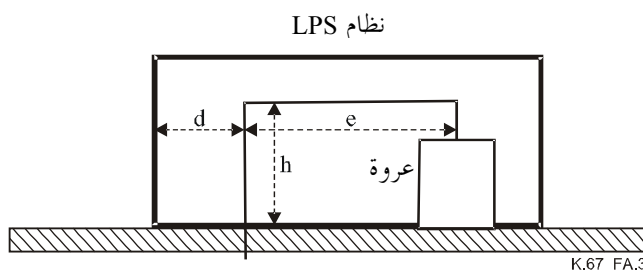
K_c = عامل يراعي تقاسم التيار فيما بين الموصلات السفلية؛

K_s = عامل تدريع يأخذ في الحسبان أثر تدريع الكبل؛

و:

I_{ps} = قيمة ذروة حالات التفريغ اللاحقة (الجدول 1) [kA]؛

$T_1 = 0.25$ = زمن زيادة حالات التفريغ اللاحقة (الجدول 1) [μs].



الشكل K.67/3.A - تفريغ الصاعقة في المبنى:

نظام LPS بموصل سفلي واحد أو أكثر

ويُفترض أن قيمة العامل $K_c = 1$ في حالة استعمال نظام LPS مع موصل سفلي واحد؛ أما في حالة استعمال نظام LPS مع عدة موصلات سفلية [6]، فتُطبق المعادلة التالية:

$$(19.A) \quad K_c = \frac{1}{2 \times n} + 0.3$$

حيث:

n = عدد الموصلات السفلية المفصولة عن بعضها البعض بمسافة متساوية حول المحيط.

أما في الحالة الثالثة لحماية المبنى بنظام LPS ذي الدرع الفضائي الشبيه بالشبكة، فبالإمكان حساب قيمة ذروة فلطية الدارة المفتوحة المستحثة داخل العروة بتطبيق المعادلة (4) حيث يتم التوصل إلى الاستحثاث المتبادل LM بواسطة المعادلة الآتية [4، 6]:

$$(20.A) \quad L_M [\mu H] = 0.4 \times \pi \times K_s \times h \times \ln \left(\frac{d_w + e}{d_w} \right) \times K_h \times \frac{w}{\sqrt{d_r}}$$

حيث (انظر الشكل 4.A):

المسافة التي تفصل العروة عن الجدار [بالمتر]؛ $= d_w$

المسافة التي تفصل العروة عن السقف [بالمتر]؛ $= d_r$

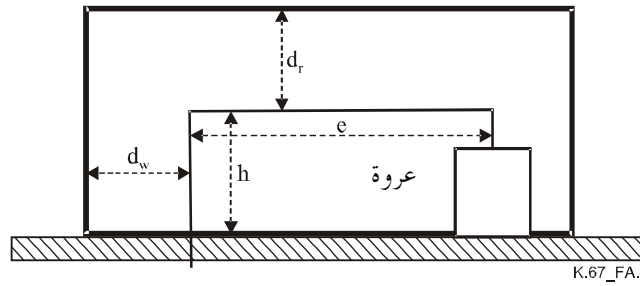
عامل تشكيل مساو لقيمة 0,01 [0,5m/1]؛ $= K_h$

عامل تدريع يأخذ في الحسبان أثر تدريع الكبل؛ $= K_s$

و:

قيمة ذروة حالات التفريغ اللاحقة (الجدول 1) [kA] $= I_{ps}$

زمن زيادة حالات التفريغ اللاحقة (الجدول 1) [μs] $= 0.25 = T_1$



الشكل K.67/4.A - تفريغ الصاعقة في المبنى: نظام LPS بدرع فضائي شبيه بالشبكة

وتُقدر قيمة تيار الدارة القصيرة (I_{sc}) في حال إهمال مقاومة أسلاك العروة المحسوبة بالأوم (أسوأ حالة) بتطبيق المعادلة (5) أو (6)، حيث يُحسب استحثاث العروة الذاتي (L_s) بالوحدة Henry بتطبيق المعادلة (2.A).

وترد في الجدول 4.A قيمتا الفلطية (V_{oi}) والتيار (I_{sc}) الناجمين عن التفريغين الأول واللاحق بوصفهما دالة للسوية LPL، على فرض أن المبنى محمي بنظام LPS مكون من قضيب منفصل واحد (العامل $K_c = 1$ ، أسوأ حالة) والتكبييل الداخلي غير مدرع وبعد العروة المستحثة هو 50 m^2 ($h = 5 \text{ m}$ ؛ $e = 10 \text{ m}$).

الجدول K 67 /4.A - قيم ذروة التمورات المستحثة بفعل ضرب الصاعقة للمبنى مباشرة في عروة بمساحة 50 m^2 موجودة داخل المبنى

حالات التفريغ اللاحقة		حالات التفريغ الأولى		LPL
I_{sc} [kA]	V_{oi} [kV]	I_{sc} [kA]	V_{oi} [kV]	
1,5	250	6	25	I
1,2	190	4,5	19	II
0,8	125	3	12,5	III/IV
شروط الحساب: $L_M = 0,792 \mu H$ ؛ $L_s = 42 \mu H$ ؛ أبعاد العروة $d = 4$ ؛ $K_s = 1$ ؛ $K_c = 1$ ؛ $h = 5 \text{ m}$ ؛ $e = 10 \text{ m}$ ؛ 50 m^2 ؛ $r = 0,5 \text{ m}$ ؛ $K_s = h$				

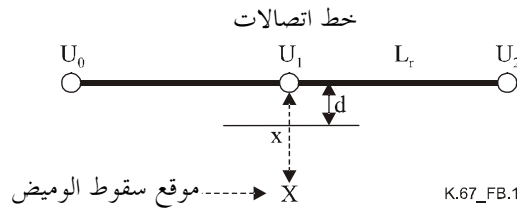
الملحق B

التمورات المستحثة على خطوط الاتصالات بفعل سقوط الصاعقة بالقرب من الخط: تربة موصلة تماماً

يتم الحصول على عدد حالات تفريغ الصاعقة في القسم الأولي " $dx \times L_r$ " التي تسبب فلطية مستحثة على خط الاتصالات مساوية لقيمة الفلطية U أو أكثر، بتطبيق المعادلة التالية:

$$(1.B) \quad N = 2 \times L_r \times N_g \times dx \int_I^{\infty} p(i) \times di$$

حيث N_g شدة الوميض الساقط على الأرض، و L_r طول الخط، و $p(i)$ دالة الاحتمال للتيار في نقطة الضربة على غرار ما يرد في التوصيتين K.25 و K.47 الصادرتين عن قطاع تقييس الاتصالات في الاتحاد (ITU-T) وفي المعايير IEC 61663-1 الصادرة عن اللجنة الكهروتقنية الدولية (IEC)، و I تيار الذروة في نقطة الضربة الذي يحث الفلطية U في نقطة معينة على الخط.



الشكل K.67/1.B - تشكيلة مرجعية لتقييم التمورات المستحثة بفعل سقوط الصاعقة بالقرب من الخط

ويتم الحصول على العدد الكلي للضربات التي تسبب فلطية مستحثة مساوية للفلطية U أو أكثر بواسطة المعادلة الآتية:

$$(2.B) \quad N_T = 2 \times L_r \times N_g \int_d^{\infty} \int_I^{\infty} p(i) \cdot di \cdot dx$$

حيث d هي أدنى مسافة تبعد عن الخط ولن تعرضه لضربة صاعقة مباشرة. وتفترض هنا العلاقة التقريبية $h = 3d$ (الشكل 1.B).

ويمكن تقدير قيمة ذروة الفلطية U_1 المستحثة عند النقطة الوسطية للخط، وقيمة الفلطية U_0 أو U_2 ، المستحثة عند انتهائتي الخط، بواسطة تطبيق المعادلتين التاليتين على فرض وجود تربة موصلة تماماً:

$$(3.B) \quad U_1 = \frac{30 \times I_p \times h}{d} \left(1 + \frac{v}{\sqrt{2-v^2}} \right)$$

$$(4.B) \quad U_0 = U_2 = \frac{30 \times I_p \times h}{d}$$

حيث:

$$= I_p \quad \text{قيمة ذروة تيار الصاعقة (محسوبة بالوحدة Ak)؛}$$

$$= v \quad \text{النسبة بين سرعة صاعقة التفريغ العائدة (على فرض أن } v = 1.3 \times 10^8 \text{ m/s) وسرعة الضوء (} c = 3 \times 10^8 \text{ m/s):}$$

$$v = 0.43 \text{ and } \left(1 + \frac{v}{\sqrt{2-v^2}}\right) = 1.3.$$

ويؤدي إدراج شدة التيار I_p المستمدة من المعادلة (4.B) في المعادلة (2.B) وحل الأعداد الصحيحة وإدراج النتائج في المعادلة (15) وإجراء بعض العمليات الجبرية إلى الحصول على المعادلات التالية:

$$(5.B) \quad U_R \text{ and } U_0 \leq U_{LIM} \text{ حيث } SPL = \frac{U_R [\exp(a_1 - A_1 U_0) - B]}{U_{SPL} [\exp(a_1 - A_1 U_R) - B]}$$

$$(6.B) \quad U_0 > U_{LIM} \text{ and } U_R \leq U_{LIM} \text{ حيث } SPL = \frac{b_1 U_R [\exp(a_2 - A_2 U_0)]}{b_2 U_{SPL} [\exp(a_1 - A_1 U_R) - B]}$$

$$(7.B) \quad U_0 > U_{LIM} \text{ and } U_R > U_{LIM} \text{ حيث } SPL = \frac{U_R [\exp(a_2 - A_2 U_0)]}{U_{SPL} [\exp(a_2 - A_2 U_R)]}$$

الملاحظة 1 - الحصول على هذه المعادلات الثلاث (5.B) و (6.B) و (7.B)، بدلاً من معادلة واحدة، هو نتيجة تجزئة الدالة $i = p(i)$ at $i = 20 \text{ kA}$.
حيث:

$$\eta = \text{عامل تدريع الخط } (\eta = 1 \text{ عندما يكون الخط غير مدرع})$$

$$(8.B) \quad U_{LIM} = 600 \text{ h } \eta / d$$

$$(9.B) \quad A_1 = \frac{b_1}{10\eta} = \frac{0.00117}{\eta}$$

$$(10.B) \quad A_2 = \frac{b_2}{10\eta} = \frac{0.00346}{\eta}$$

$$(11.B) \quad B = \left(1 - \frac{b_1}{b_2}\right) \exp(a_1 - 20b_1) = 52.37$$

$$a_1 = 4,605; b_1 = 0,0117; a_2 = 5,063; b_2 = 0,0346 \text{ هي معاملات الدالة } p(i).$$

ويعبر عن الفلطين U_{SPL} و U_R بالوحدة kV في المعادلات من (5.B) إلى (7.B).

وتتحقق حالة محددة للسوية SPL فيما يتعلق بالدالة $d \rightarrow 0$ ، إذ تُختزل في هذه الحالة المعادلات من (5.B) إلى (7.B) إلى الصيغة البسيطة المبينة في المعادلة (12.B)، حيث تكون الفلطينية U_{SPL} مستقلة عن خصائص الخط ومعلمات الدالة $p(i)$.

$$(12.B) \quad SPL = \left(\frac{U_R}{U_{SPL}} \right)$$

ويبين الجدول 1.B قيم الفلطينية U_{SPL} لمختلف قيم السويات SPL والفلطيات U_R التي يتم الحصول عليها بواسطة المعادلة (5.B) بالنسبة لخط هوائي غير مدرع ($\eta = 1$).

الجدول K.67/1.B – قيم فلطية التمرور الخطيرة (USPL) للدائرة المفتوحة عند طرفي خط هوائي غير مدرع بوصفها دالة للسوية SPL بالنسبة لمختلف قيم الفلطية المرجعية U_R

فلطية التمور الخطيرة، U _{SPL} [kV]			U _R (kV)
SPL			
0,05	0,02	0,01	
28	64	111	1,5
19	44	81	1,0
14	34	64	0,75
10	23	44	0,5
5	12	23	0,25

وتم في الجدول 1.B تثبيت الحد السفلي للفلطيات "الخطيرة" للدائرة المفتوحة على ضعف قيمة الفلطية المرجعية ($U_R \times 2$) من أجل مراعاة الانعكاس على صعيد انتهائية الخط. فمثلاً، إذا كانت الفلطية $U_R = 0,75$ kV والسوية $SPL = 0,01$ ، فهذا يعني أن نسبة 1% من الفلطيات المستحثة على الدائرة المفتوحة وذات القيمة الأكبر من 1,5 kV هي نسبة مساوية للمقدار 64 kV أو أكبر منه.

وتُقدر قيمة ذروة تيار الدائرة القصيرة (I_{sc}) كآلي:

$$I_{sc} = \frac{U_{SPL}}{Z} \quad (13.B)$$

حيث:

$$Z = 400 \Omega \text{ هي معاوقة تمور الخط الهوائي.}$$

ويمكن حساب قيم الفلطية U_{SPL} في أي خط هوائي مدرع باتباع نفس الطريقة المذكورة أعلاه عند تقدير قيمة عامل التدريع واستعمالها في المعادلتين (9.B) و(10.B)، غير أن الاحتمال المطلق لحدوث الفلطية U_{SPL} الناتجة (عدد حالات التمرور سنوياً) سيكون أقل بكثير من الفلطية U_{SPL} المقابلة بالنسبة للخط غير المدرع. وعليه، فإن الأكثر معقولية هو ضرب الفلطية U_{SPL} للخط غير المدرع في عامل التدريع من أجل الحصول على الفلطية U_{SPL} للخط المدرع.

الملاحظة 2 – على سبيل المثال، إذا كانت السوية هي سوية II SPL، فهذا يعني أن نسبة 2% فيما بين جميع الفلطيات الأكبر من المقدار 0,75 kV الملاحظة على خط غير مدرع أثناء فترة زمنية معينة هي نسبة مكافئة للمقدار 34 kV أو أكبر منه وأن هذه النسبة 2% وتقابل التمرورات N_T ، وبالتالي، بالنسبة لخط مدرع ($\eta e = 0,1$) ضمن نفس السوية II SPL وأثناء ذات الفترة الزمنية تكون التمرورات N_T مكافئة للمقدار 34 kV أو أكبر منه. ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أنه من بين جميع الفلطيات الأكبر من المقدار 0,75 kV الملاحظة عبر هذا الخط المدرع أثناء فترة زمنية معينة تكون نسبة تزيد على 2% من الفلطيات مساوية للمقدار 4,3 kV أو أكبر منه.

وأدرجت القيم الناتجة لبعض عوامل التدريع في الجدول 5، ولا سيما عامل التدريع ذي الصلة بالدراع ($\eta e = 0,05$) بالنسبة للعقد L و E و P و C وعامل التدريع ذي الصلة بالأرض ($\eta e = 0,1$) فيما يخص العقد D و S و I.

الملاحظة 3 – قيم عامل التدريع ذي الصلة بالدراع على فرض أن مقاومة الدراع (R_s) تساوي 5 Ω ، ومن ثم حسب بالمعادلة $\eta s = Z/R_s = 100/5 = 0,05$. أما عامل التدريع ذي الصلة بالأرض فقد قيم على افتراض أن مقاومة الأرض للدراع R_e تساوي 40 Ω تقريباً، ومن ثم حسب أن $\eta e = (R_e + Z)/(R_e + R_s) = 440/45 = 0,1$.

وبين الجدول 2.B قيم الفلطية U_{SPL} لمختلف قيم السويات SPL والفلطيات U_R بالنسبة لخط هوائي مدرع ($\eta e = 0,1$) والأساس المنطقي الموصوف سابقاً.

الجدول K.67/2.B - قيم فلطية التمور الخطيرة (U_{SPL}) للدائرة المفتوحة عند طرفي خط هوائي مدرع بوصفها دالة للسوية SPL لمختلف قيم الفلطية المرجعية U_R

فلطية التمور الخطيرة، [kV] U _{SPL}			U _R (kV)
SPL			
0,05	0,02	0,01	
2,8	6,4	11	1,5
1,9	4,4	8,1	1,0
1,4	3,4	6,4	0,75
1,0	2,3	4,4	0,5
0,5	1,2	2,3	0,25

ويمكن تقدير قيمة ذروة تيار الدائرة القصيرة (I_{sc}) بواسطة المعادلة (13.B) حيث Z التي تساوي 50Ω أو 100Ω هي معاوقة تمور دائرة الدرع - الموصل أو دائرة الموصل - الأرض على التوالي، اللتين تؤخذان تجريبياً من القياسات.

التذييل I

التمورات المستحثة داخل المبنى بفعل سقوط الصاعقة بالقرب من المبنى أو عليه: التشكيلة التجريبية والنتائج

1.I مقدمة

يهدف هذا التذييل إلى تأكيد الافتراض القائل إن لشكل موجة الفلطية المستحثة بفعل الصاعقة داخل عروة مفتوحة زمن ارتفاع ومدة قصيرين جداً وإن شكل موجة التيار المستحث بفعل الصاعقة داخل عروة مغلقة هو شكل مطابق لشكل موجة تيار الصاعقة نفسه. وللقيام بذلك، يُستعان بمعطيات تجريبية مستمدة من موقع كاتشويرا باوليستا-البرازيل لتجارب إطلاق شحنات الصاعقة.

2.I النموذج النظري

تؤخذ الافتراضات التالية بعين الاعتبار:

- تكون العروة قريبة نسبياً من قناة تفريغ شحنة الصاعقة، بحيث يمكن اعتبار التيار منتظماً على امتداد القناة (يتيح هذا الافتراض إمكانية إهمال آثار انتشار تيار الصاعقة على امتداد القناة المذكورة).
- تُعتبر الأرض بمثابة موصل تام بحيث يتسنى تطبيق مبدأ التصوير المرئي على قناة تفريغ شحنة الصاعقة تحت سطح الأرض.
- يُهمل أثر الموصلات المعدنية (كخطوط الكهرباء مثلاً) التي قد تنقل جزءاً من تيار الصاعقة، وهذا يعني افتراض توزيع تناظري للتيار على سطح الأرض، مما يتيح تطبيق نظرية الصورة.
- يُنظر إلى العروة على أنها منخفضة المقاومة بالمقارنة مع مفاعلتها الحثية عند الترددات المصاحبة لتيارات الصاعقة (ينطبق ذلك على معظم الحالات العملية).
- تُهمل جميع آثار الدرع حول العروة.
- يُهمل أي انحناء لقناة تفريغ الشحنة عن الاتجاه العمودي.
- تُوضع العروة وقناة تفريغ الشحنة على نفس المستوي (وهذا افتراض متحفظ بشأن حجم التيار ولكنه لا يؤثر على شكل الموجة).

وبناءً على ذلك، يسري التيار المستحث بفعل الصاعقة (I_a) سريعاً منتظماً على امتداد خط مستقيم عمودي (انظر الشكل 1.I). ويكون مجال الاستحثاث المغنطيسي (B) الناشئ عن هذا التيار في الشكل التالي:

$$B = \frac{\mu_0 \times I_a}{2 \times \pi \times x} \quad (1.I)$$

حيث:

x هي المسافة الفاصلة عن قناة التفريغ.

ويسهل إيجاد التدفق المغنطيسي في العروة عن طريق دمج المجال المغنطيسي في العروة ككل.

$$(2.I) \quad \phi_B = \frac{I_a \times h \times \mu_0}{2 \times \pi} \int_f^{f+e} \frac{dx}{x}$$

ويؤدي هذا إلى أن:

$$(3.I) \quad \phi_B = \frac{I_a \times h \times \mu_0 \times \ln\left(\frac{f+e}{f}\right)}{2 \times \pi}$$

وتُستمد فلطية الدفع المستحث (V) داخل العروة من المشتقة الزمنية للتدفق المغنطيسي كالآتي:

$$(4.I) \quad V = \frac{\left(\frac{dI_a}{dt}\right) \times h \times \mu_0 \times \ln\left(\frac{f+e}{f}\right)}{2 \times \pi}$$

ويمكن تدوين المعادلة (4.I) كما يلي:

$$(5.I) \quad V = L_M \times \left(\frac{dI_a}{dt}\right)$$

حيث:

L_M هما الاستحثاث المتبادل بين قناة التفريغ والعروة، الذي يتم الحصول عليه بتطبيق المعادلة التالية:

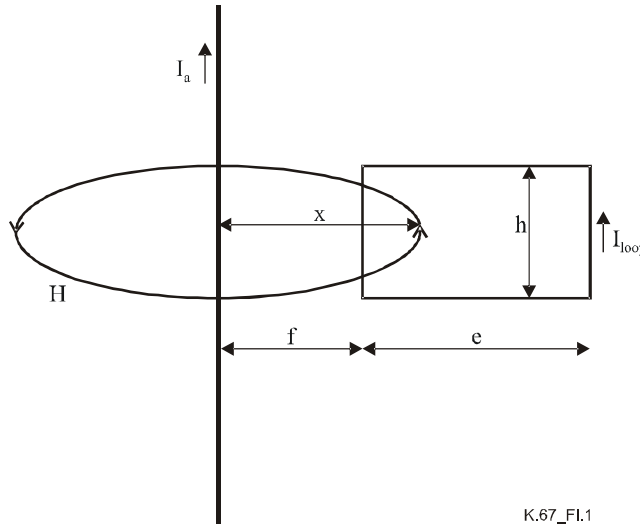
$$(6.I) \quad L_M = \frac{h \times \mu_0 \times \ln\left(\frac{f+e}{f}\right)}{2 \times \pi} = 0.2 \times h \times \ln\left(\frac{f+e}{f}\right) \text{ in } \mu\text{H}$$

ويُعبّر عن التيار المستحث I_{loop} بالمعادلة الآتية:

$$(7.I) \quad I_{loop} = \left(\frac{1}{L_S}\right) \int V dt = \left(\frac{L_M}{L_S}\right) \times I_a$$

حيث:

L_S استحثاث العروة الذاتي.



الشكل K.67/1.1 - الاستحثاث داخل عروة

3.I موقع الاختبار التجريبي وتشكيلة الاختبار

1.3.I موقع الاختبار التجريبي

يبين الشكل 2.I أ) المحطة الأساسية الراديوية (RBS) لموقع الاختبار، حيث توجد في أعلى البرج منصة لإطلاق الصواريخ تستعمل لإطلاق شحنات الصاعقة. أما الشكل 2.I ب) فيتضمن رؤية مقرّبة لقمة البرج. والمنصة مدعّمة بعوازل وموصولة بالمبنى بموصل أحادي واحد يمر خلال مسبار لتيار Pearson (النمط 1330) يغذي مكشاف تذبذب موضوع داخل صندوق معدني قريب. ويسيطر السطح البيني RS232 عن بُعد على مكشاف التذبذب بمساعدة ألياف بصرية. ويؤمن هذا الأمر قياس تيار شحنة الصاعقة مباشرة.



ب) قمة البرج



أ) المحطة RBS لموقع الاختبار

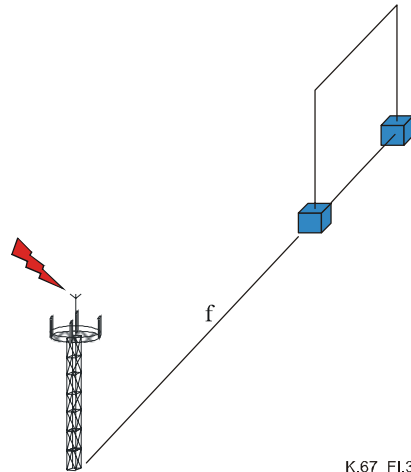
الشكل K.67/2.I - المحطة الأساسية الراديوية (RBS) لموقع الاختبار

2.3.I تشكيلة الاختبار المعدة لقياس الفلطية المستحثة في عروة مفتوحة

يوضح الشكل 3.I تشكيلة الاختبار التجريبي التي تُطلق منها الصاعقة وتُسجل في قمة برج الاتصالات وتقاس الفلطية المستحثة في عروة موضوعة على بعد f من البرج. ومعطيات التشكيلة هي كالاتي:

- أبعاد العروة: $e = 1,5$ m و $h = 2,0$ m (مساحة العروة 3 m²);

- المسافة بين العروة والصاعقة، $f = 100$ m.



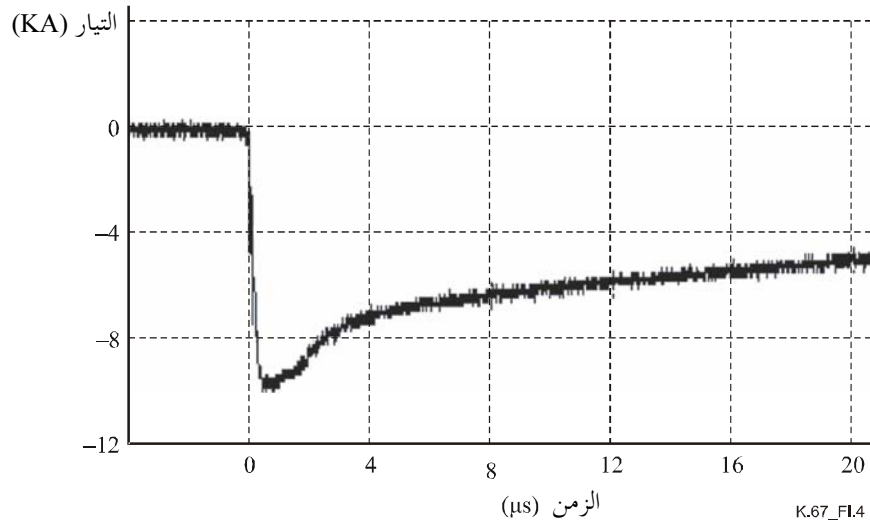
K.67_FI.3

الشكل K.67/3.I - تشكيلة الاختبار المعدة لقياس الفلطية المستحثة في عروة مفتوحة

ويبين الشكل 4.I تيار الصاعقة المقيس، وفيما يلي ملخص بمعلوماته الرئيسية:

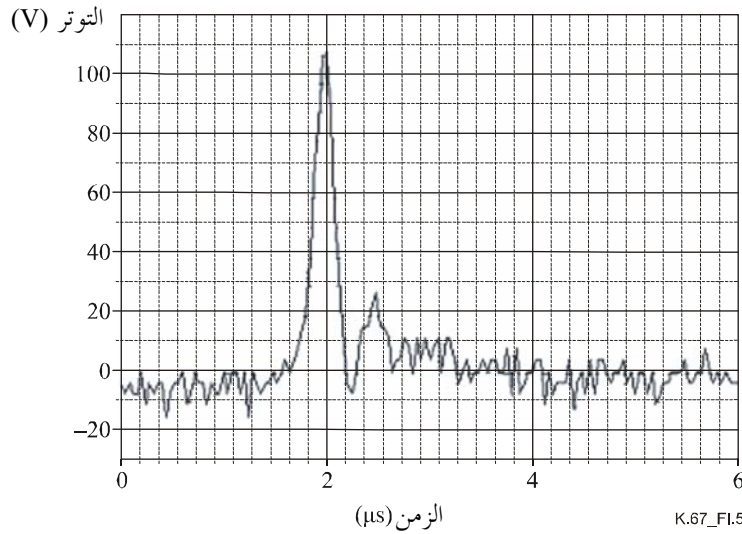
التيار: زمن الزيادة (T) = 0,375 ms؛

قيمة الذروة (I_s) = 9,8 kA.



الشكل 4.I K.67 - إطلاق تيار الصاعقة

ويوضح الشكل 5.I التيار المقيس المستحث داخل العروة، حيث يمكن أن يُلاحظ فيه أن زمن ارتفاع التيار المستحث في العروة المفتوحة هو زمن مشابه لزمن التيار المستحث (أي، 0,35 μs) وأن لشكل موجته مدة قصيرة للغاية، وهي ترد في ترتيب بضعة وحدات μs.



(المقياس الزمني غير متزامن مع الشكل 4.I)

الشكل 5.I K.67 - قياس الفلطية المستحثة في العروة

وبإدراج القيم العددية في المعادلة (4.I) واعتبار شكل موجة التيار بمثابة شبه منحرف، فإننا نحصل على شكل موجة مستطيلة بمدة قدرها 0,375 μs وذروة بقيمة 157 V. وينبغي مقارنة هذه القيمة مع الشكل 5.I، حيث يمكن أن يُلاحظ فيه أنها أعلى قليلاً من القيمة المقيسة (110 V).

وبالإمكان اتباع طريقة أكثر استفاضة تستند إلى أعمال Rusck [1.I]. وتراعي هذه الطريقة انتشار التيار على امتداد قناة تفريغ الشحنة. وبتطبيق معادلات Rusck على مجال الاستحثاث المغنطيسي (B) عند مسافة معينة من الصاعقة وحساب مشتقاته الزمنية، يتم التوصل إلى ما يلي:

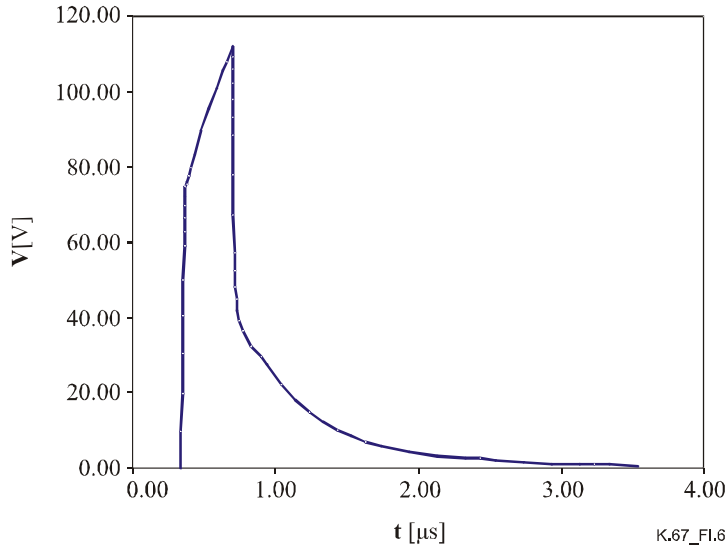
$$(8.I) \quad \frac{dB}{dt} = 0 \quad \text{للدالة } t \leq r_0/v_0$$

$$(9.I) \quad r_0/v_0 \leq t \leq r_0/v_0 + T \quad \text{للدالة} \quad \frac{dB}{dt} = \frac{60I_0 v}{r_0^2 T v_0} \left\{ \left[1 + \left(\frac{v}{v_0} \right)^2 \left[\left(\frac{v_0 t}{r_0} \right)^2 - 1 \right] \right]^{-1/2} t \right\}$$

$$(10.I) \quad \frac{dB}{dt} = \frac{60I_0 v}{r_0^2 T v_0} \left\{ \left[1 + \left(\frac{v}{v_0} \right)^2 \left[\left(\frac{v_0 t}{r_0} \right)^2 - 1 \right] \right]^{-1/2} t - \left[1 + \left(\frac{v}{v_0} \right)^2 \left[\left(\frac{v_0 (t-T)}{r_0} \right)^2 - 1 \right] \right]^{-1/2} (t-T) \right\}$$

$$\text{للدالة } t \geq r_0/v_0 + T$$

و v_0 في المعادلتين (9.I) و (10.I) هي سرعة الضوء في الفضاء الحر (3×10^8 m/s) و v هي سرعة انتشار تيار الصاعقة على فرض أنها تساوي $1,3 \times 10^8$ m/s. وبإدراج القيم العددية في هاتين المعادلتين، يتم التوصل إلى شكل الموجة المبين في الشكل 6.A. ولشكل الموجة هذا ذروة قيمتها 112 V وهي مطابقة تماماً للفلطية المقيسة.



الشكل 6.I / K.67 - حساب شكل موجة الفلطية Rusck

ويمكن الخلوص على أساس المعادلتين (9.I) و (10.I) إلى أن قيمة ذروة الفلطية المستحثة داخل العروات القريبة نسبياً من نقطة ضرب الصاعقة ($f < T v_0$) هي قيمة يمكن تقريبها بشكل مبرر من خلال اعتبار تيار الصاعقة على أنه تيار يسري بانتظام على امتداد القناة طبقاً لما يرد في المعادلة (4.I)، غير أنه إذا ابتعدت العروة عن نقطة ضرب الصاعقة، فإن الفلطية المستحثة تنخفض تدريجياً عن القيمة المحسوبة بواسطة المعادلة المذكورة، لأن سرعة انتشار التيار تصبح معلمة مهمة. وينبغي في هذه الحالة تطبيق المعادلات من (8.I) إلى (10.I).

3.3.I تشكيلة الاختبار المعدة لقياس التيار المستحث في عروة مغلقة

يوفر الشكل 7.I أ) رؤية مقرّبة للمحطة RBS حيث يمكن أن يُلاحظ فيها وجود عروة في أعلى المبنى، وهذه العروة مكونة من أنبوب نحاسي بدارة قصيرة ويُقاس تيارها بواسطة مسبار تيار Pearson (النمط 110) الذي يغذي مكشاف تذبذب

موضوع داخل المبنى الذي توجد فيه المحطة RBS. أما الشكل 7.I ب) فيبين إطلاق الصاعقة على قمة البرج المُشاهد من داخل ملجأ المراقبة.



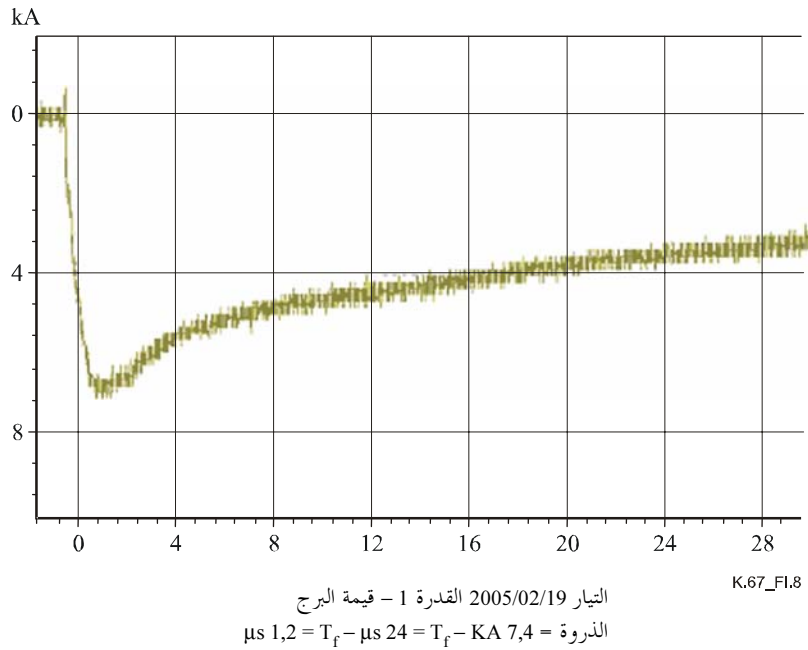
ب) إطلاق الصاعقة



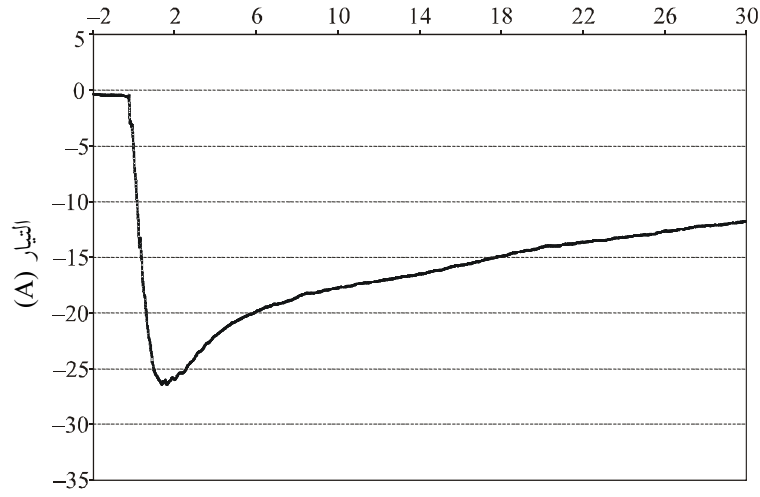
أ) مبنى المحطة المجهز بعروة RBS

الشكل 7.I / K.67 - تشكيلة الاختبار المعدة لقياس التيار المستحث في عروة مغلقة

والموجات المسجلة آنياً عند قمة البرج (الشكل 8.I) وعند العروة (الشكل 9.I) موصوفة بقيمة الذروة وزمن التناقص إلى نصف القيمة (T_h) وزمن الارتفاع (T_f) المحددة جميعاً على أنها بمقدار 1,25 ($T_{90\%} - T_{10\%}$).



الشكل 8.I / التوصية K.67 - تيار الصاعقة



التيار 2005/02/19 القدرة 1 - قيمة البرج
الذروة = 26,4 A - $T_f - \mu s$ 24 = $T_f - \mu s$ 1,3

الشكل K.67/9.I - التيار المستحث داخل العروة المغلقة

وتظهر المقارنة بين الموجات المسجلة عند قمة البرج وعند العروة تطابقاً جيداً للغاية فيما يخص شكل الموجة.

وفيما يلي المعطيات المتعلقة بموقع الاختبار:

- المسافة بين محور البرج والعروة: $f = 10,7$ أمتار؛
- ارتفاع العروة: $h = 0,80$ متر؛
- عرض العروة: $h = 1,00$ متر؛
- نصف قطر موصل العروة = $0,0075$ متر.

ويُحصل على الاستحثاث المتبادل بين البرج والعروة بواسطة المعادلة (6.I) التالية:

$$L_M = 0.0143 \mu H$$

ويُحصل على استحثاث العروة الذاتي بتطبيق المعادلة (2.A) التالية:

$$L_S = 2.89 \mu H$$

وتيار العروة المتوقع الذي يتم التوصل إليه بواسطة المعادلة (7.I) بالنسبة لتيار الصاعقة $I_a = 7.04$ kA، هو التيار الآتي:

$$I_{loop} = 34.8 A$$

وتيار العروة المقيس (A 4.26) هو أدنى قليلاً (24%) من القيمة المتوقعة لأن الظروف الحقيقية لموقع الاختبار لا تستوفي تماماً الافتراضات النظرية الواردة في الفقرة الفرعية 2.I. وثمة افتراض من بين هذه الافتراضات يسهم إلى أكبر حد في إحداث هذا الفرق يتمثل في وجود خط الطاقة الكهربائية الذي ينقل جزءاً من تيار الصاعقة بعيداً عن المحطة في اتجاه لا يقتصر مع العروة. ومن أجل استنساخ قياس تيار الصاعقة، جرى التعويض عن هذه العوامل في كسب النظام المُبلغ لبرمجيات القياس.

وختاماً، فقد أثبتت التجارب أن شكل موجة التيار الذي تسببه الصاعقة في عروة مغلقة هو شكل مطابق لشكل موجة تيار الصاعقة ذاته وأن بالإمكان تقدير العلاقة القائمة بين قيمتي ذروتيهما من خلال إيجاد النسبة بين الاستحثاث المتبادل والاستحثاث الذاتي مثلما تبين ذلك المعادلة (7.I).

بيليو غرافيا

- [I.1] RUSCK (S.): Transactions of the Royal Institute of Technology, No. 120, *Induced lightning overvoltages on power transmission lines with special reference to the overvoltage protection of low voltage networks*, Stockholm, 1958.

سلاسل التوصيات الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات

السلسلة A	تنظيم العمل في قطاع تقييس الاتصالات
السلسلة B	وسائل التعبير: التعاريف والرموز والتصنيف
السلسلة C	الإحصائيات العامة للاتصالات
السلسلة D	المبادئ العامة للتعريف
السلسلة E	التشغيل العام للشبكة والخدمة الهاتفية وتشغيل الخدمات والعوامل البشرية
السلسلة F	خدمات الاتصالات غير الهاتفية
السلسلة G	أنظمة الإرسال ووسائطه والأنظمة والشبكات الرقمية
السلسلة H	الأنظمة السمعية المرئية والأنظمة متعددة الوسائط
السلسلة I	الشبكة الرقمية متكاملة الخدمات
السلسلة J	الشبكات الكبلية وإرسال إشارات تلفزيونية وبرامج صوتية وإشارات أخرى متعددة الوسائط
السلسلة K	الحماية من التداخلات
السلسلة L	إنشاء الكبلات وغيرها من عناصر المنشآت الخارجية وتركيبها وحمايتها
السلسلة M	إدارة الاتصالات بما في ذلك شبكة إدارة الاتصالات (TMN) وصيانة الشبكات
السلسلة N	الصيانة: الدارات الدولية لإرسال البرامج الإذاعية الصوتية والتلفزيونية
السلسلة O	مواصفات تجهيزات القياس
السلسلة P	نوعية الإرسال الهاتفي والمنشآت الهاتفية وشبكات الخطوط المحلية
السلسلة Q	التبديل والتشوير
السلسلة R	الإرسال البرقي
السلسلة S	التجهيزات المطراية للخدمات البرقية
السلسلة T	المطاريق الخاصة بالخدمات التلمائية
السلسلة U	التبديل البرقي
السلسلة V	اتصالات المعطيات على الشبكة الهاتفية
السلسلة X	شبكات المعطيات والاتصالات بين الأنظمة المفتوحة ومسائل الأمن
السلسلة Y	البنية التحتية العالمية للمعلومات وملامح بروتوكول الإنترنت وشبكات الجيل التالي
السلسلة Z	اللغات والجوانب العامة للبرمجيات في أنظمة الاتصالات