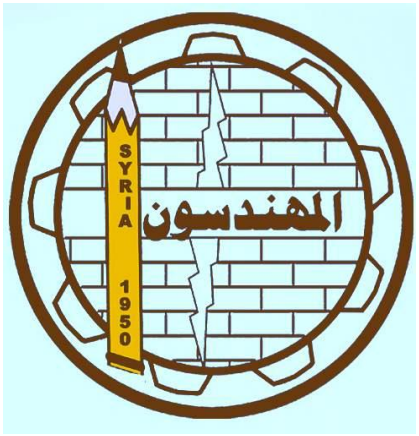


الجمهورية العربية السورية
نقابة المهندسين السوريين

الحماية الداخلية من الصواعق

الدكتور المهندس
محمد رسلان زهيرة

أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية
جامعة تشرين
رئيس لجنة الطاقة في اتحاد المهندسين العرب

مقدمة

لا يعني التقاط شحنة الصاعقة وتفريغها في الأرض بأي شكل من الأشكال التخلص من أخطارها، حيث تسبب الحقول الكهرطيسية الناتجة عن قناة الانفراغ تحريض توترات كبيرة جداً في الأجهزة الكهربائية بالقرب من مكان الانفراغ، مما يؤدي إلى انهيار عازليتها، وبخاصة تلك الحساسة منها تعمل على توترات منخفضة جداً. كذلك يمكن حدوث توترات زائدة في التجهيزات داخل المبنى نتيجة سريان جزء من تيار الصاعقة في النواقل الداخلة والخارجة من المبنى.

لتفادي أثر هذه التوترات الزائدة يجب اتخاذ مجموعة من الاجراءات واستخدام تجهيزات لمنع حدوث شرارات كهربائية خطيرة داخل المبنى المراد حمايته، وهذا ما يعرف **بالحماية الداخلية**.

لا يتعلق نظام الحماية الداخلي بدرجات الحماية من *I* حتى *VI* كما هو الحال في نظام الحماية الخارجي.

الحماية الداخلية من الصواعق

1. مقدمة.

تصميم نظام الحماية الداخلي.

2. آلية تحريض التوترات الزائدة في التجهيزات داخل المبنى.

2-1 مفاهيم أساسية.

3. أثر الحقول الكهرطيسية على التجهيزات الكهربائية والإلكترونية.

3-1 حساب قيم الحقول الكهرطيسية والتوترات والتيارات المتحرضة الناتجة عنها داخل المبنى.

3-2 حساب قيمة التيارات التي تسري في النواقل الداخلة للمبنى.

تنفيذ نظام الحماية الداخلي.

4. الحماية من أثر الحقول الكهرطيسية.

4-1 تحجيب المبنى.

4-2 تمديد النواقل داخل المبنى بشكل صحيح.

4-3 تنفيذ نواقل تساوي الكمون.

4-4 تنفيذ مسافة أمان بين التجهيزات.

5. الحماية من التوترات الزائدة المنتقلة على شبكة التوتر المنخفض.

6. الحماية من التوترات الزائدة المنتقلة على نواقل القيادة والإشارة.

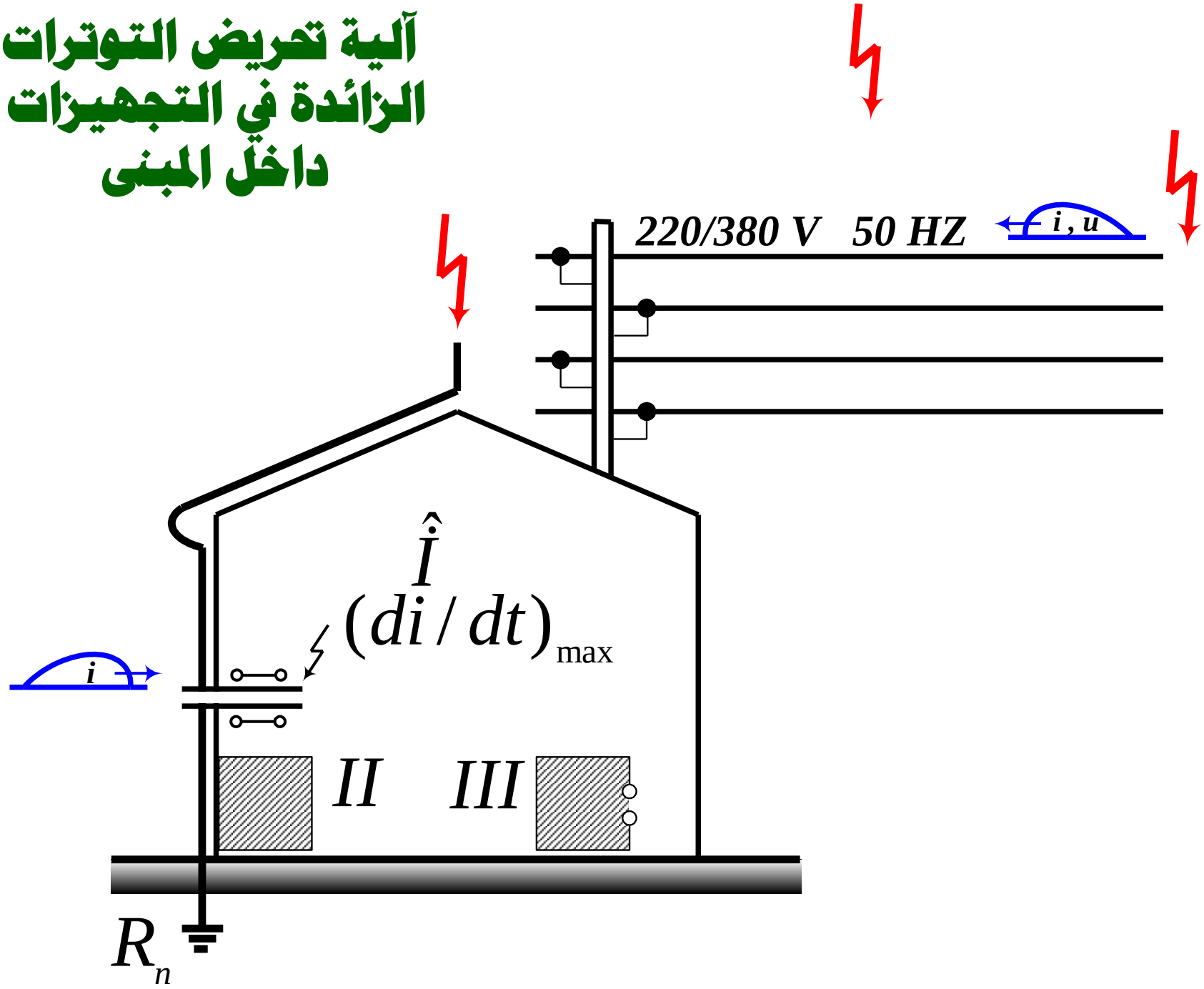
6-1 نوع الكابلات المستخدمة وسماكة غلاف التحجيب.

6-2 تركيب مفرغات التوتر

7. التجهيزات المستخدمة للحماية من التوترات الزائدة.

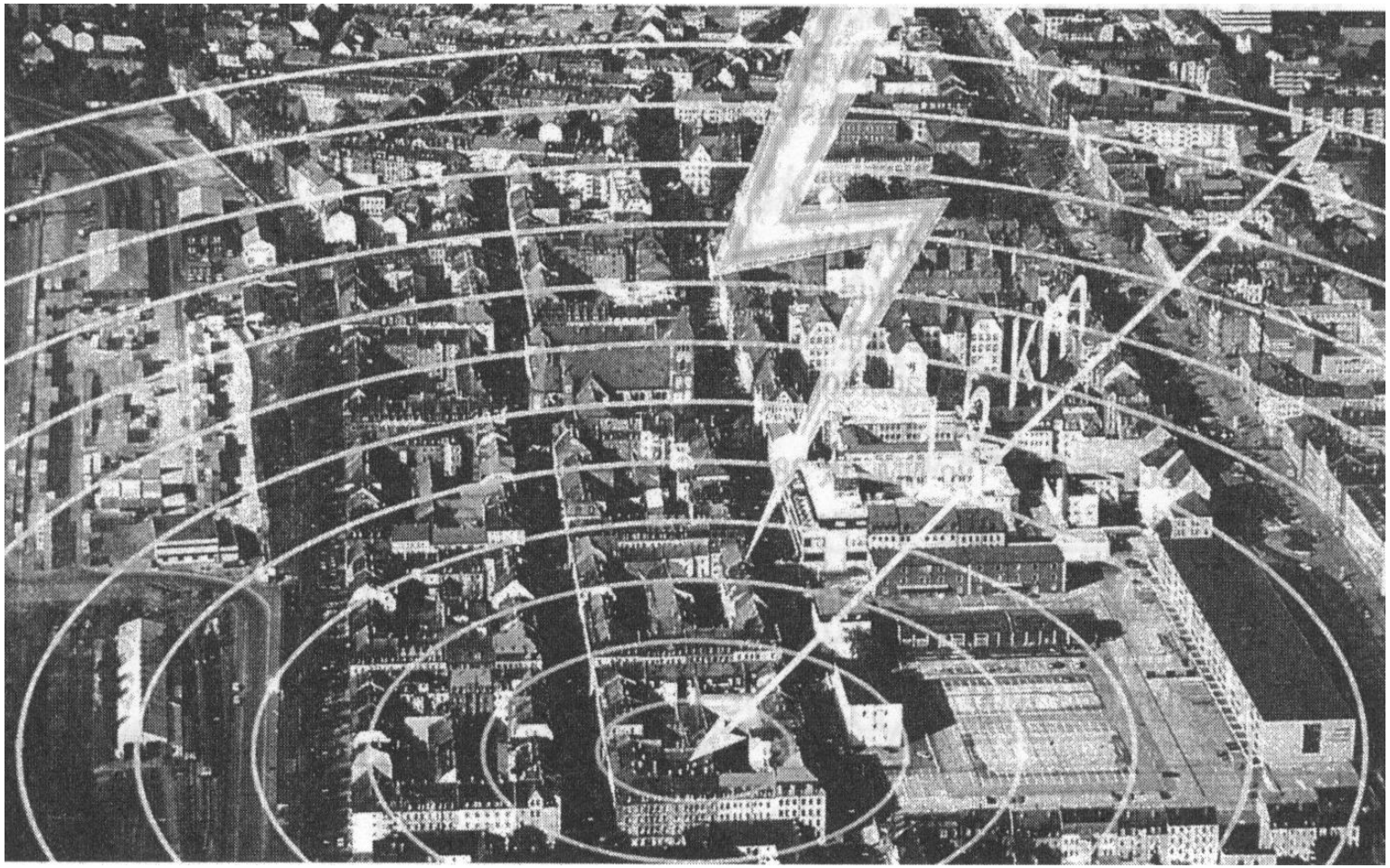
8. الخلاصة.

آلية تحريض التوترات الزائدة في التجهيزات داخل المبنى



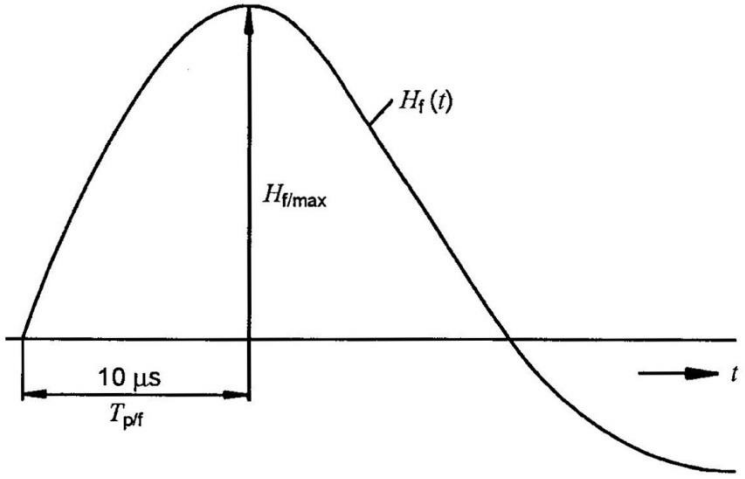
التوترات المتحرضة نتيجة الحقول الكهرطيسية

يسبب التغير السريع لتيار الصاعقة توليد حقول كهرطيسية مشابهة لنبضة التيار تؤثر هذه الحقول على التجهيزات الكهربائية لمسافة حتى *1 km*.

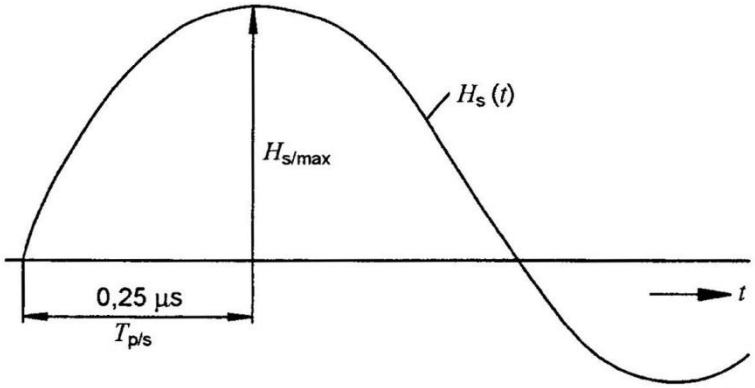


شدة الحقل (المجال) الكهرومغناطيسى داخل مناطق الحماية:

يسبب التغيّر الزمني السريع جداً لتيار الصاعقة توليد حقول كهرطيسية كبيرة. فتيار النبضة الأولى I_f يولد الحقل (المجال الكهرومغناطيسي H_f ، وتيار النبضة اللاحقة (العائدة) I_S يولد الحقل (المجال) الكهرومغناطيسي H_S ، كما أن شكل نبضة الحقل (المجال) الكهرومغناطيسي يشبه تماماً شكل نبضة التيار المسببة له.



شكل نبضة الحقل الناتجة عن النبضة الأولى للتيار (*10/350 µs*) بتردد *25 kHz* حسب *IEC 61000-4-10*.



شكل نبضة الحقل الناتجة عن النبضة اللاحقة للتيار (*0.25/100 µs*) بتردد *1 MHz*.

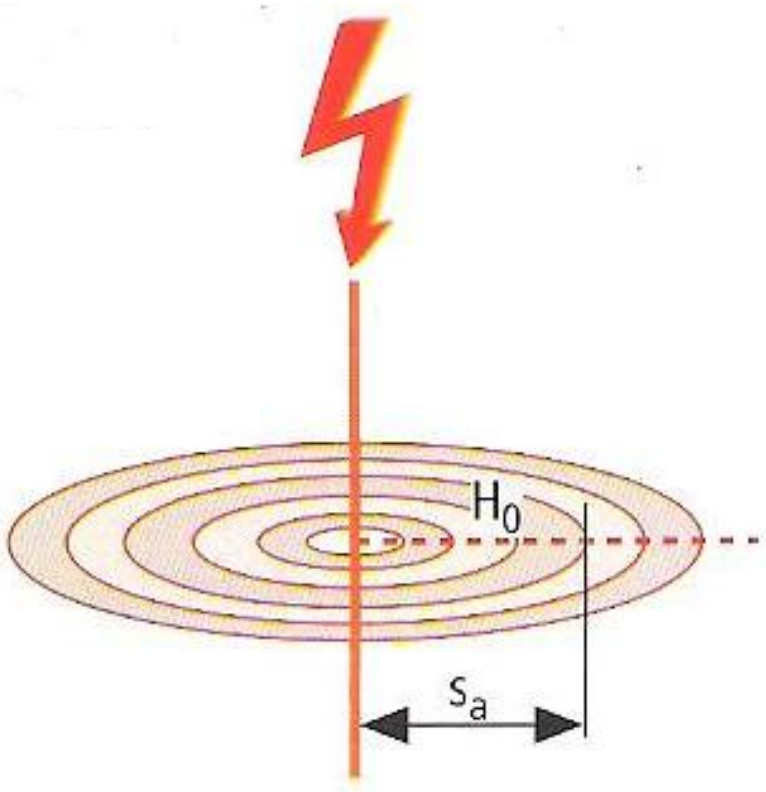
شكل نبضة الحقل حسب *IEC*.

القيم المميزة للتيار	النبضة الأولى	النبضة اللاحقة
القيمة العظمى للتيار $I\ [kA]$	200	50
الزمن الجبهي للتيار $T_1[\mu s]$	10	0.5
$di/dt\ [kA/\mu s]$	20	200

تعطى شدة الحقل الكهرطيسي بدلالة التيار بشكل عام حسب العلاقة:

$$H_{0/f\max} = \frac{I_{f\max}}{(2\pi \cdot S_a)} \quad [A/m]$$

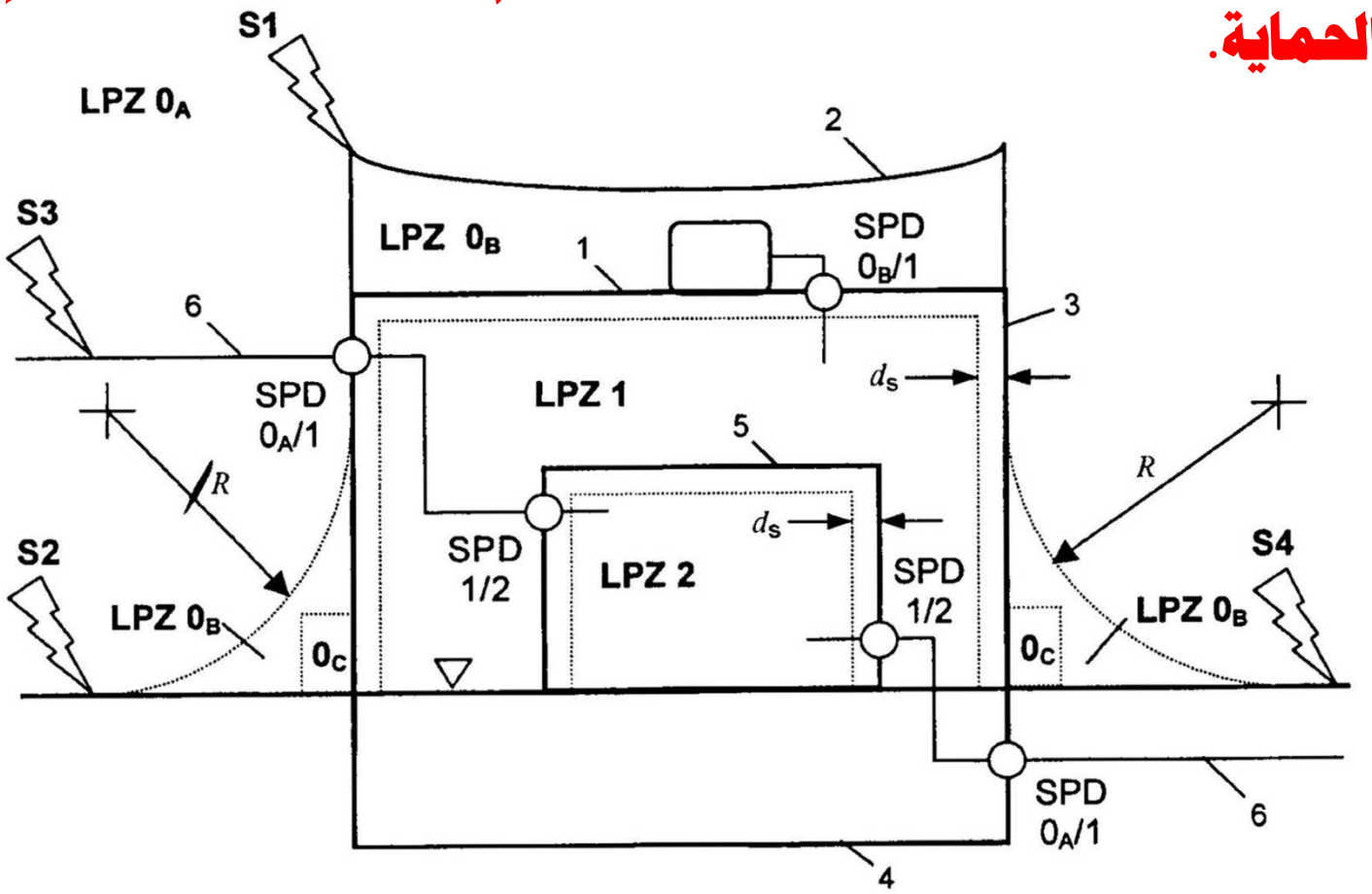
$$H_{0/S\max} = \frac{I_{S\max}}{(2\pi \cdot S_a)} \quad [A/m]$$



$I_{f\max}$, $I_{S\max}$ - قيمة تيار الصاعقة للنبضة الأولى والنبضة اللاحقة.

S_a - المسافة بين مكان الإصابة والنقطة المراد معرفة شدة الحقل فيها بـ[m] .

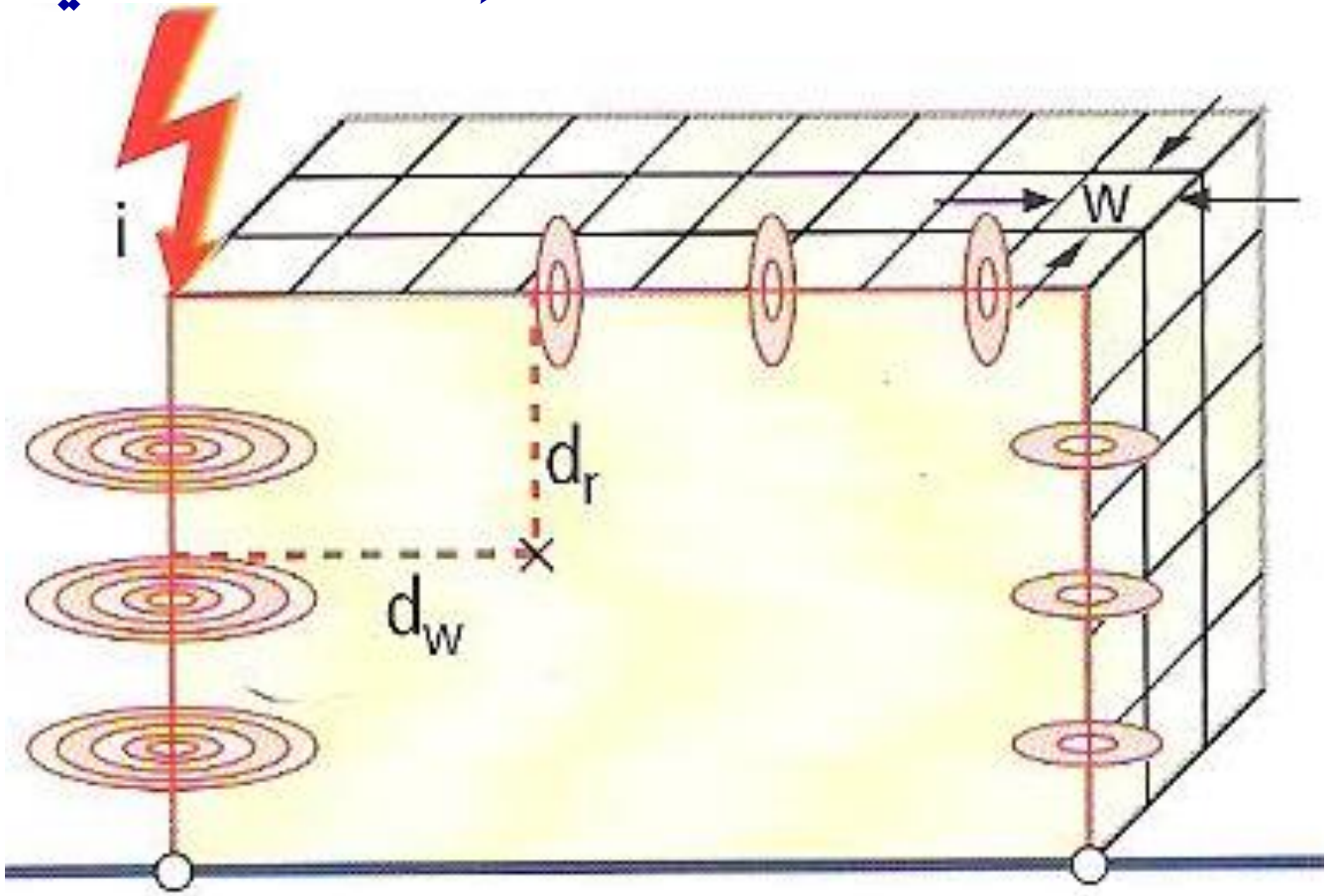
تختلف شدة الحقل الكهرطيسي وقيمة التوترات المتحرضة في التجهيزات والناتجة عنه من مكان لآخر، لذلك يجب تقسيم المبنى المراد حمايته إلى عدة مناطق الحماية.



1 بناء (تحجيب منطقة الحماية *LPZ1*)	*S1* الإصابة المباشرة للمبنى بصاعقة
2 لواقط	*S2* الإصابة بالقرب من المبنى
3 نوازل	*S3* إصابة النواقل الداخلة إلى المبنى إصابة مباشرة
4 أقطاب تأريض	*S4* إصابة بالقرب من النواقل
5 تحجيب منطقة الحماية *LPZ2*	*R* نصف قطر كرة الصاعقة
6 نواقل هوائية وأرضية داخلة إلى المبنى	d_s مسافة الأمان.
SPD مفرغ تيار أو مفرّغ توتر	

حساب شدة الحقل داخل منطقة الحماية *LPZ 1* نتيجة الإصابة المباشرة

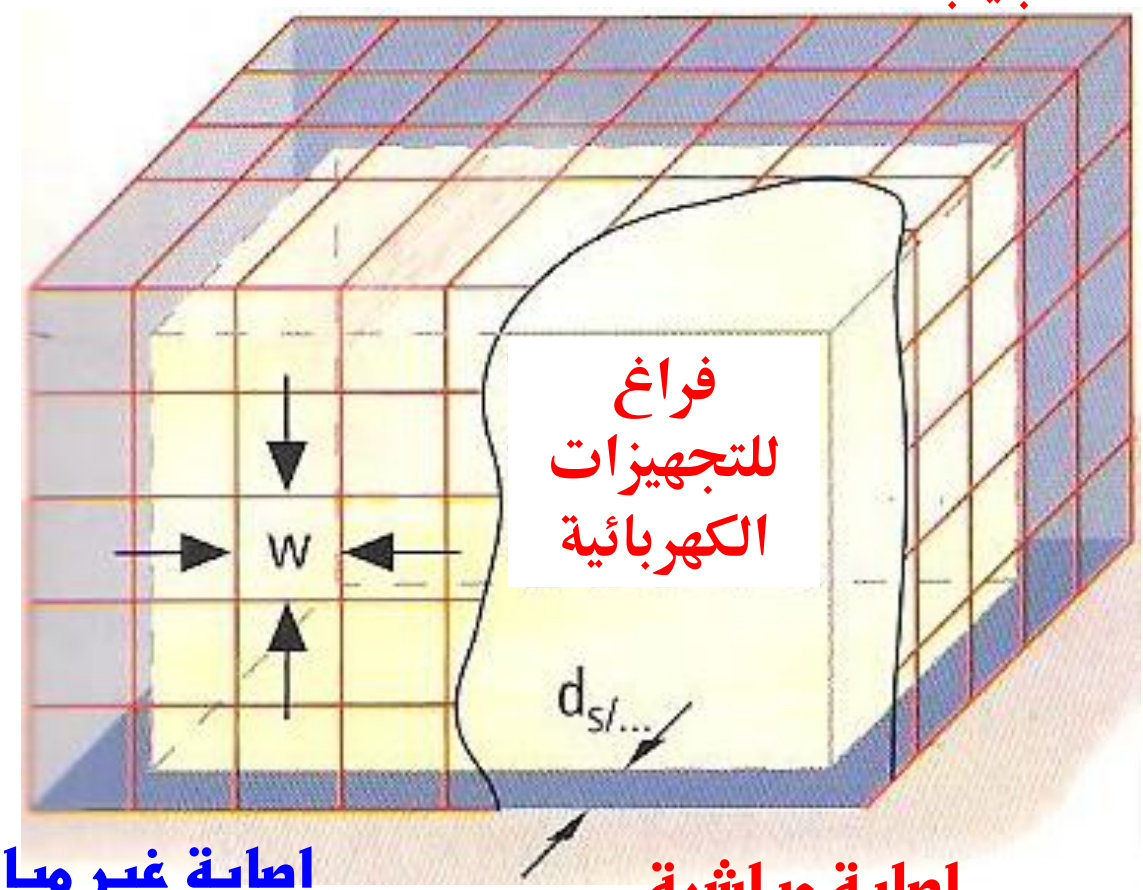
إصابة مباشرة في المبنى



$$H_1 = k_H \cdot i \cdot \frac{W}{d_W \cdot \sqrt{d_r}} [A/m]$$

العلاقة السابقة صحيحة من أجل مسافة بين التجهيزات والجدران أو السقف لا تقل عن W

تحجيب المنطقة $LPZ0$



إصابة غير مباشرة

$$d_{s/1} = W \cdot SF\ /10$$

إصابة مباشرة

$$d_{s/2} = W$$

حساب شدة الحقل الكهرطيسي داخل منطقة الحماية *LPZ 2*

$$H_2 = \frac{H_1 \cdot W_2 \cdot k_H}{8.5} \; [A/m]$$

W_2 - أبعاد فتحات التحجيب لمنطقة الحماية *LPZ2*.

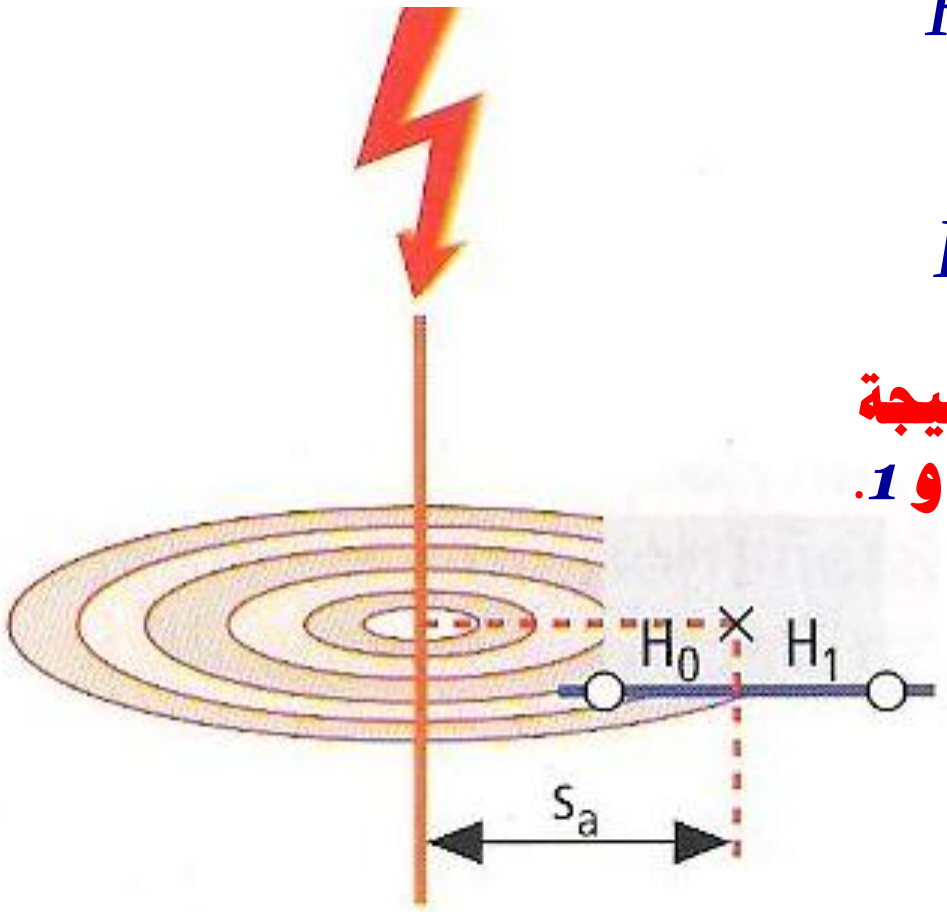
ومن أجل مناطق حماية *LPZ3* وما بعد تستخدم العلاقة السابقة بعد إبدال:

H_1 بـ H_2 ..... H_n و W_2 بـ W_3 ..... W_n وهكذا

شدة الحقول الكهرطيسية المرافقة لقناة البرق داخل مناطق الحماية

حساب شدة الحقل داخل مناطق الحماية *LPZ1*

إصابة غير مباشرة



بدون تحجيب:

$$H_0 = \frac{i}{2\pi \cdot S_a}$$

مع تحجيب:

$$H_1 = \frac{H_0}{10^{SF/20}}$$

S_F – عامل تخفيض شدة الحقل نتيجة التحجيب بين منطقتي الحماية *0* و *1*.

وشدة الحقل داخل منطقة الحماية *LPZ2* تعطى من العلاقات السابقة بعد إبدال H_0 بـ H_1، أي:

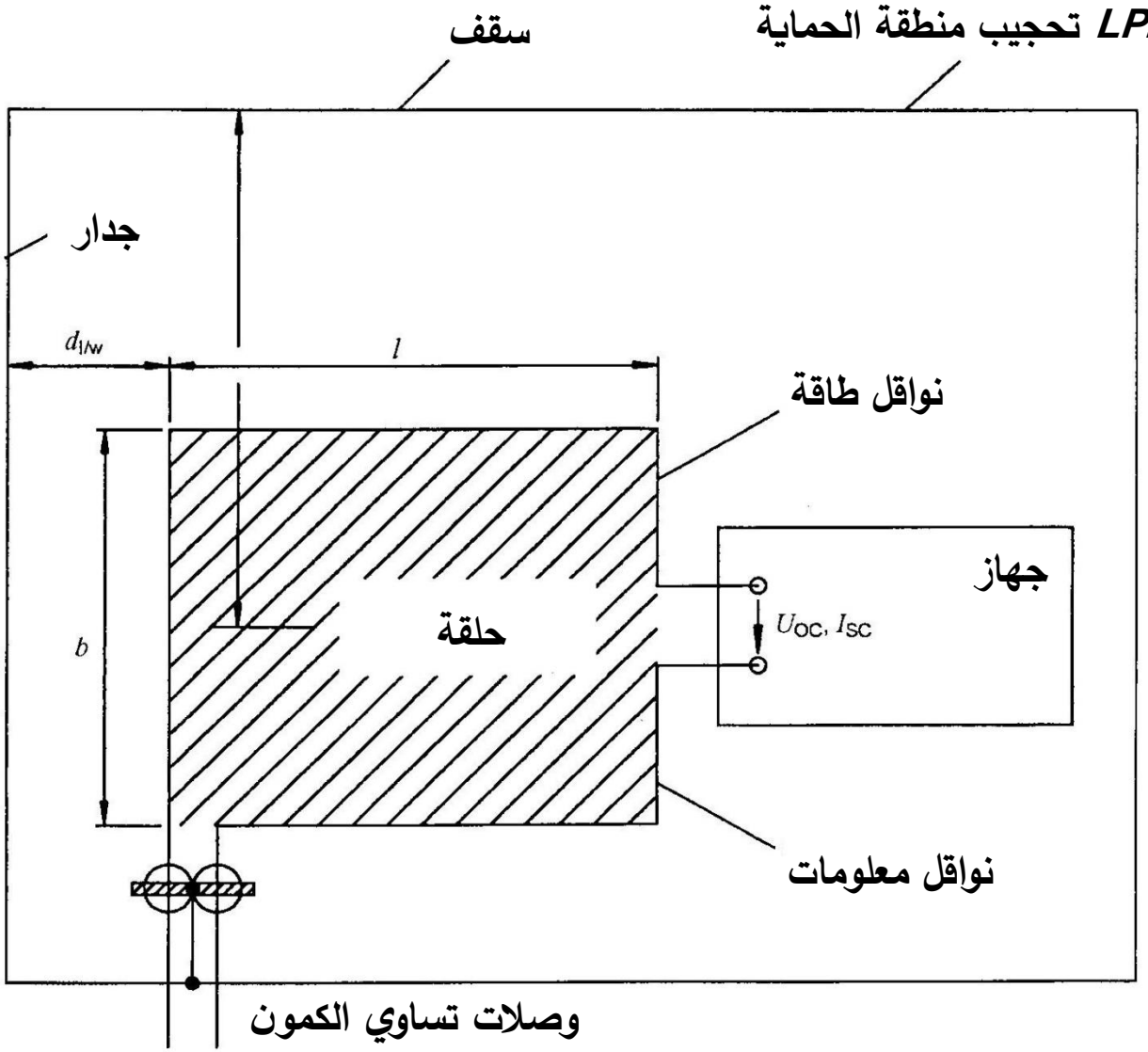
$$H_2 = \frac{H_1}{10^{SF/20}}$$

يتم إجراء مقارنة بين شدة الحقل المغناطيسي الذي يسبب تشويشاً في عمل التجهيزات والأنظمة الإلكترونية، والذي يكون محدداً في مواصفات هذه التجهيزات مثلاً وبين القيم المحسوبة من العلاقات السابقة. فإذا كانت قيمة الحقل الذي يسبب التشويش أكبر من القيمة المحسوبة تعمل التجهيزات بشكل سليم. وفي الحالة المعاكسة لا بد من اتخاذ اجراءات لتخفيض شدة الحقل داخل مناطق الحماية.

نوع الشبكة	شدة الحقل الذي يسبب التشويش للنبضة الأولى [A/m]	شدة الحقل الذي يسبب التشويش للنبضة اللاحقة [A/m]
نواقل معلومات ... هاتف	100	10
شبكة توتر مستمر	300	30
شبكة توتر متناوب	1000	100

حساب التوترات والتيارات المتحرّضة في الحلقات التي تشكلها النواقل المختلفة داخل المبنى نتيجة الإصابة المباشرة.

بفرض أن الحلقات التي تشكلها النواقل المعدنية المختلفة على شكل مستطيل.



تشكل النواقل المختلفة داخل المبنى حلقات.

ملاحظة: إذا كانت الحلقة المشكلة بين النواقل غير مستطيلة الشكل يمكن تحويلها إلى شكل مستطيل له نفس المساحة.

تعطى القيمة العظمى للتوتر المتحرض في الحلقات نتيجة الإصابة المباشرة في منطقة الحماية *LPZ1* بالعلاقة:

$$U_{1\max 1/s} = 5.04\times10^{-3}\cdot b\cdot \ln(1+\frac{l}{d_{1/W}})\cdot k_H\cdot\frac{W}{\sqrt{d_{1/r}}}\cdot\frac{I_{0/\max}}{T_1} \quad [V]$$

حيث:

- b – عرض الحلقة، *[m]*.
- $d_{1/W}$ – بعد الحلقة عن الجدار، *[m]*.
- $d_{1/r}$ – بعد الحلقة عن السقف، *[m]*.
- $I_{0/\max}$ – القيمة العظمى لنبضة تيار الصاعقة اللاحقة حسب درجة الحماية.
- k_H – ثابت $0.01/\sqrt{m}$.
- l – طول الحلقة، *[m]*.
- T_1 – الزمن الجبهي لتيار الصاعقة، *[s]*.
- W – أبعاد فتحات التحجيب *[m]*.

وتحدث القيمة العظمى للتوتر نتيجة النبضة اللاحقة باعتبار *di/dt* لها أكبر بعشرة أضعاف *di/dt* للنبضة الأولى.

أما القيمة العظمى للتوتر المتحرض في منطقة الحماية *LPZ2*

$$U_{\max 2/s} = 5.04\times10^{-3}\cdot b\cdot l\cdot H_2 \quad [V]$$

ومن أجل مناطق حماية *LPZ3* وما بعد تستخدم العلاقة السابقة بعد إبدال:

$$H_n \ldots\ldots H_3 \text{ بـ } H_2$$

تعطى القيمة العظمى للتيار بالعلاقة:

$$I_{SC/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1+\frac{l}{d_{1/W}}) \cdot k_H \cdot \frac{W}{\sqrt{d_{1/r}}} \cdot \frac{I_{0/\max}}{L} \quad [A]$$

μ_0 - السماحية، وتساوي $4\pi\times10^{-7}$ [V.s/A.m]

L - التحريضية الذاتية للحلقة، [H]. وتعطى بالعلاقة:

$$L = \left\{ 0.8 \cdot \sqrt{l^2+b^2} - 0.8(l+b) + 0.4 \cdot l \cdot \ln(\frac{2b/r}{1+(b/l)^2} + \right.$$

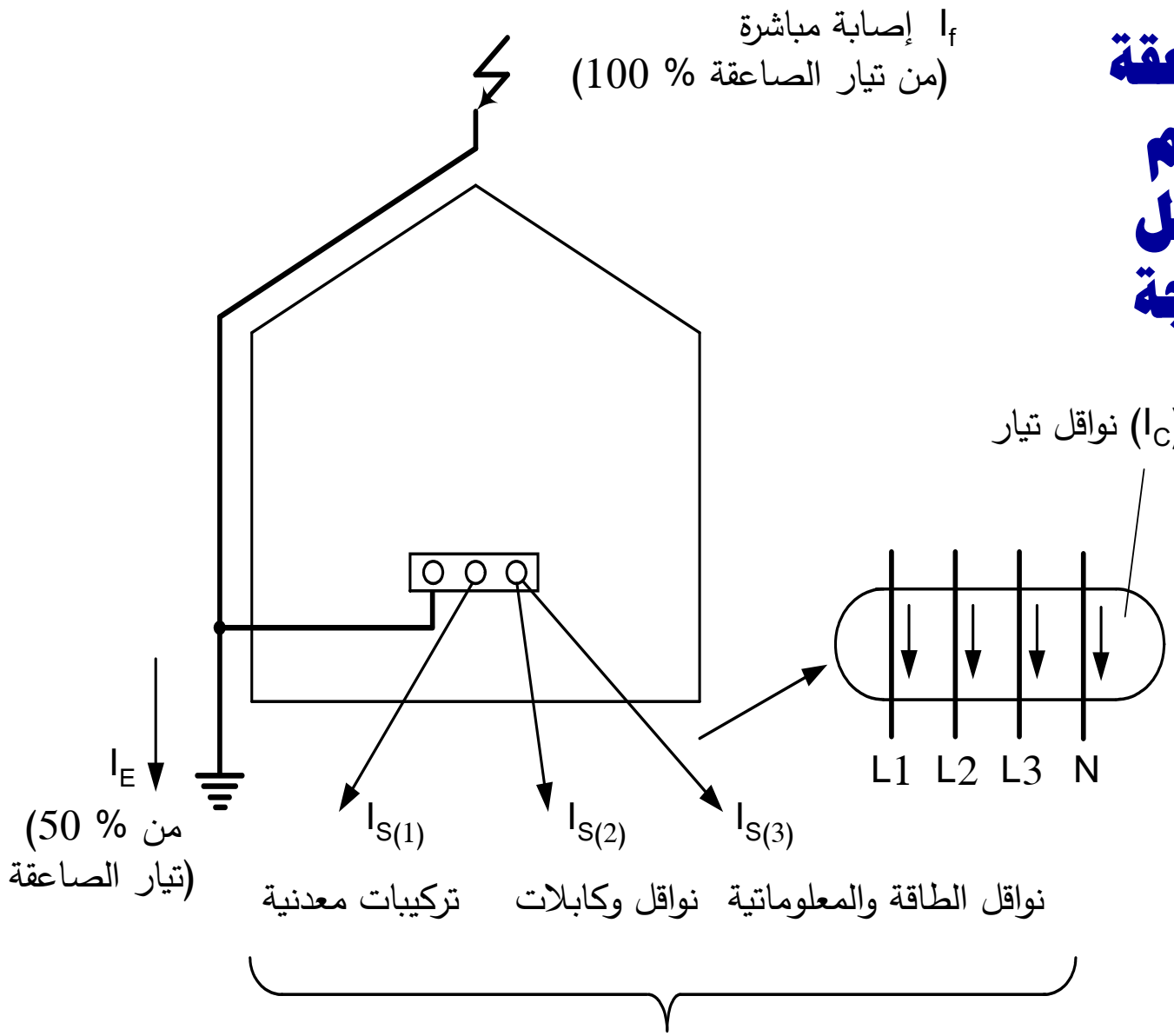
$$\left. + 0.4 \cdot l \cdot \ln(\frac{2b/r}{1+\sqrt{1+(l/b)^2}} \right\} \times 10^{-6}$$

l- طول الحلقة ، b – عرض الحلقة ، r – نصف قطر ناقل الحلقة

ملاحظة: تحدث القيمة العظمى للتيار نتيجة النبضة الأولى باعتبار تيارها أكبر بـ 4 أضعاف تيار النبضة اللاحقة.

حساب قيمة التيارات المنتقلة على النواقل الداخلة إلى المبنى.

يتوزع تيار الصاعقة بين نواقل نظام الحماية والنواقل الداخلة والخارجة من المبنى.



وبفرض أن التيار الذي يسري في النواقل يتوزّع بالتساوي في هذه النواقل، وبالتالي يسري في كل ناقل تيار i_S مقداره:

$$i_S = \frac{i_0}{2 \cdot n}$$

حيث:

i_0- تيار الصاعقة الكلي.

n- عدد النواقل.

وبفرض أن هذا التيار الذي يسري في الكابل يتوزّع بالتساوي في الأطوار والأغلفة المعدنية التي يتكون منها الكابل، وبالتالي يسري في كل طور أو غلاف تيار كهربائي قيمته:

$$i_a = \frac{i_0}{2 \cdot n \cdot m}$$

حيث:

m- عدد الأطوار والأغلفة المعدنية في الكابل.

من العلاقات السابقة نجد:

* تتعلق القيمة العظمى لشدة الحقل داخل مناطق الحماية بـ :

- مكان توضّع التجهيزات.
- تحجيب المبنى.
- وجود أو عدم وجود حلقات تساوي كمون.

* تتعلق القيمة العظمى للتيارات والتوترات المتحرضة بـ :

- كيفية تمديد النواقل (مساحة الحلقات التي تشكلها النواقل).
- تحجيب المبنى.
- وجود أو عدم وجود حلقات تساوي كمون.

* تتعلق القيمة العظمى للتيارات المارة في النواقل الداخلة إلى المبنى، بعدد نواقل الكابل، ونوع وسماكة التحجيب.

الحسابات التصميمية لنظام الحماية الداخلي

الشخص المعني	الهدف	الخطوة
- مصمم نظام الحماية [a]. - المالك.	بيان إمكانية الحاجة إلى إقامة نظام حماية من الحقول الكهرطيسية على قاعدة الأضرار الحاصلة والأضرار المسموحة.	تحليل عامل الخطورة
- مصمم نظام الحماية [a]. - المالك. - المهندس المعماري. - مهندس التجهيزات الإلكترونية. - مهندس التركيب.	- تحديد مستوى الحماية لتحديد القيمة العظمى لتيار الصاعقة. - تحديد مناطق الحماية وحدودها الداخلية. - تحجيب (تغطية) الغرف. - تحديد مكان وصلات ونواقل تساوي الجهد (شبكة تساوي الجهد). - نوع التأريض. - تحديد مكان ومواصفات النواقل (الموصلات) الداخلة للمبنى. - ربط الغلاف المعدني للنواقل مع حلقات تساوي الجهد على حدود مناطق الحماية *LPZ*.	تصميم نظام الحماية من خطر الحقول الكهرطيسي.
مهندس	- رسم المخططات التغذية. - كتابة المذكرة الحسابية والمستندات. - وضع برنامج زمني للتنفيذ.	المخططات التنفيذية.
- مصمم نظام الحماية. - منفذ نظام الحماية. - مهندس. - المكلف بالمراقبة.	- نوعية التركيبات. - الوثائق والمستندات.	تنفيذ نظام الحماية ومراقبته.
- شخص حيادي ذو خبرة في تنفيذ مثل هذه الأعمال. - المكلف بالاستلام.	- حالة ووثائق نظام الحماية في الوضع الراهن.	استلام نظام الحماية
- شخص حيادي ذو خبرة في تنفيذ مثل هذه الأعمال. - المكلف بالاستلام.	- مقارنة فيما إذا كانت الأضرار المسموحة أقل من الأضرار الممكن حدوثها (انظر الفقرة (5-2) $R_a \geq R$	مقارنة الأضرار المسموحة بالأضرار الممكن حدوثها.
- مصمم نظام الحماية. - المكلف بالاستلام.	- للتأكد من مطابقة نظام الحماية للمواصفات المعتمدة لحظة إعادة الفحص.	إعادة فحص الوثائق والمخططات
الملاحظة *a* : يجب أن يكون مصمم الحماية ذا خبرة كبيرة جداً في مجال *EMC*.		

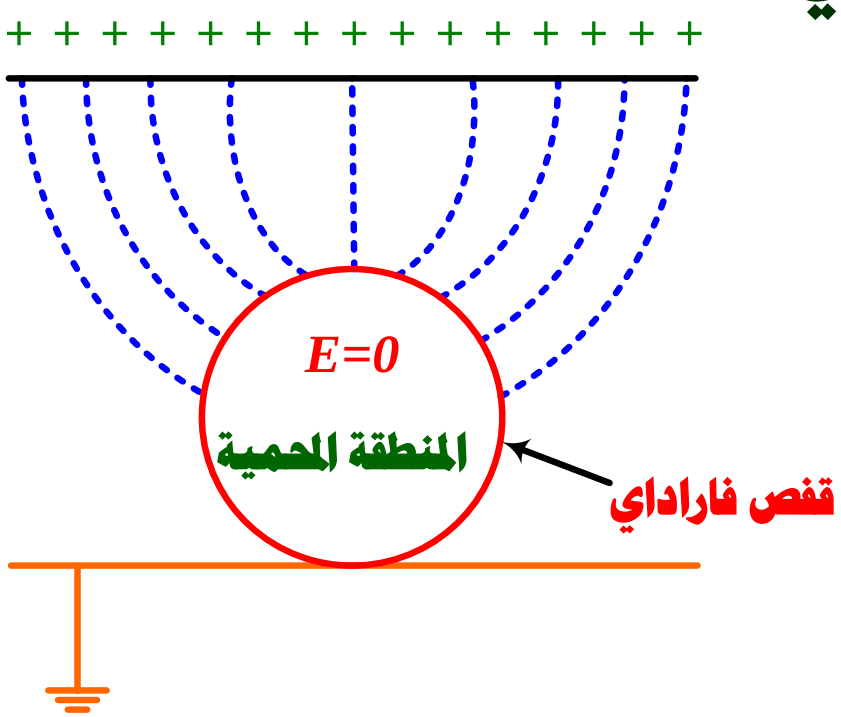
تنفيذ نظام الحماية الداخلي:

توضع التجهيزات داخل المبنى

لاحظنا من العلاقات السابقة أن شدةّ الحقل وقيمة التوترات والتيارات المتحرضة في التجهيزات تتناسب عكساً مع البعد عن الجدار والبعد عن الأسقف، لذلك يجب أن توضع التجهيزات بعيدة عن الجدار، وأن يكون سقف الغرف التي تحوي تجهيزات حساسة عالٍ قدر الإمكان.

تنفيذ نظام الحماية الداخلي:

مفهوم التحجيب

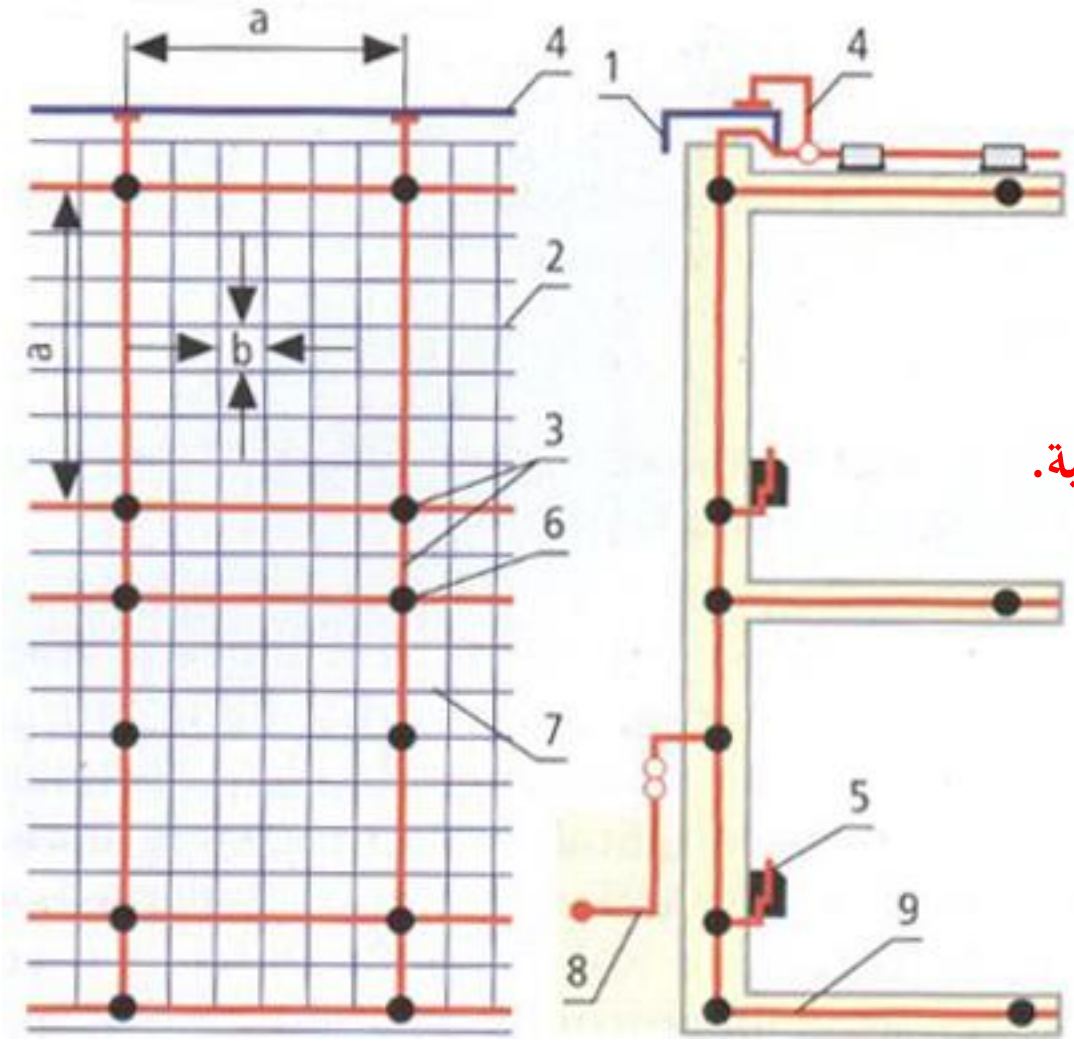


بما أن الحقل الكهرطيسي يمثل حقلاً منبعياً (خطوط الحقل تنطلق من مسرى وتستقر في مسرى آخر) فإن شدة الحقل داخل جسم مغلق يساوي الصفر.

إذا كان الجسم غير مغلق تماماً فإن شدة الحق بداخله تتناسب مع أبعاد الفتحات الموجودة على سطحه الخارجي.

ويقصد بتحجيب المبنى جميع النواقل المعدنية الممددة لهذه الغاية أو التركيبات المعدنية الموجودة في المبنى والتي تستخدم لخفض شدة الحقل الكهرطيسي المرافق لقناة البرق، والتوترات المتحرضة في الحلقات التي تشكلها النواقل المعدنية المختلفة داخل مناطق الحماية.

تنفيذ التحجيب بتمديد نواقل معدنية داخل جدران المبنى

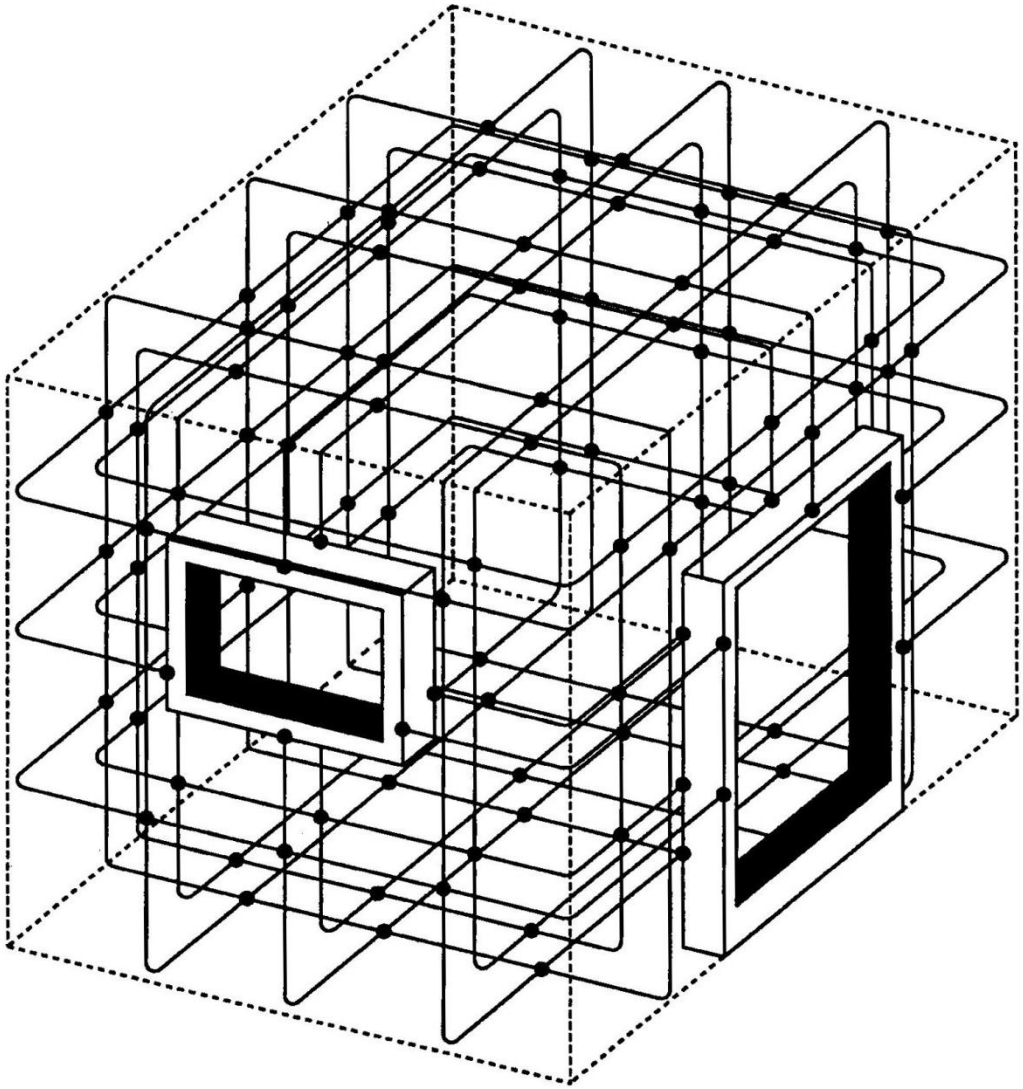


1 ربط بين اللواقط والنوازل.
2 لواقط أفقية.
3 حديد تسليح.
4 نوازل ونواقل حلقية من معدن مرن.
5 وصلة تساوي الكمون للحماية الداخلية.
6 علبة تفتيش.
7 وصلات تتحمل جزء التيار.
8 وصلات جدل.

$a \leq 5\ m$

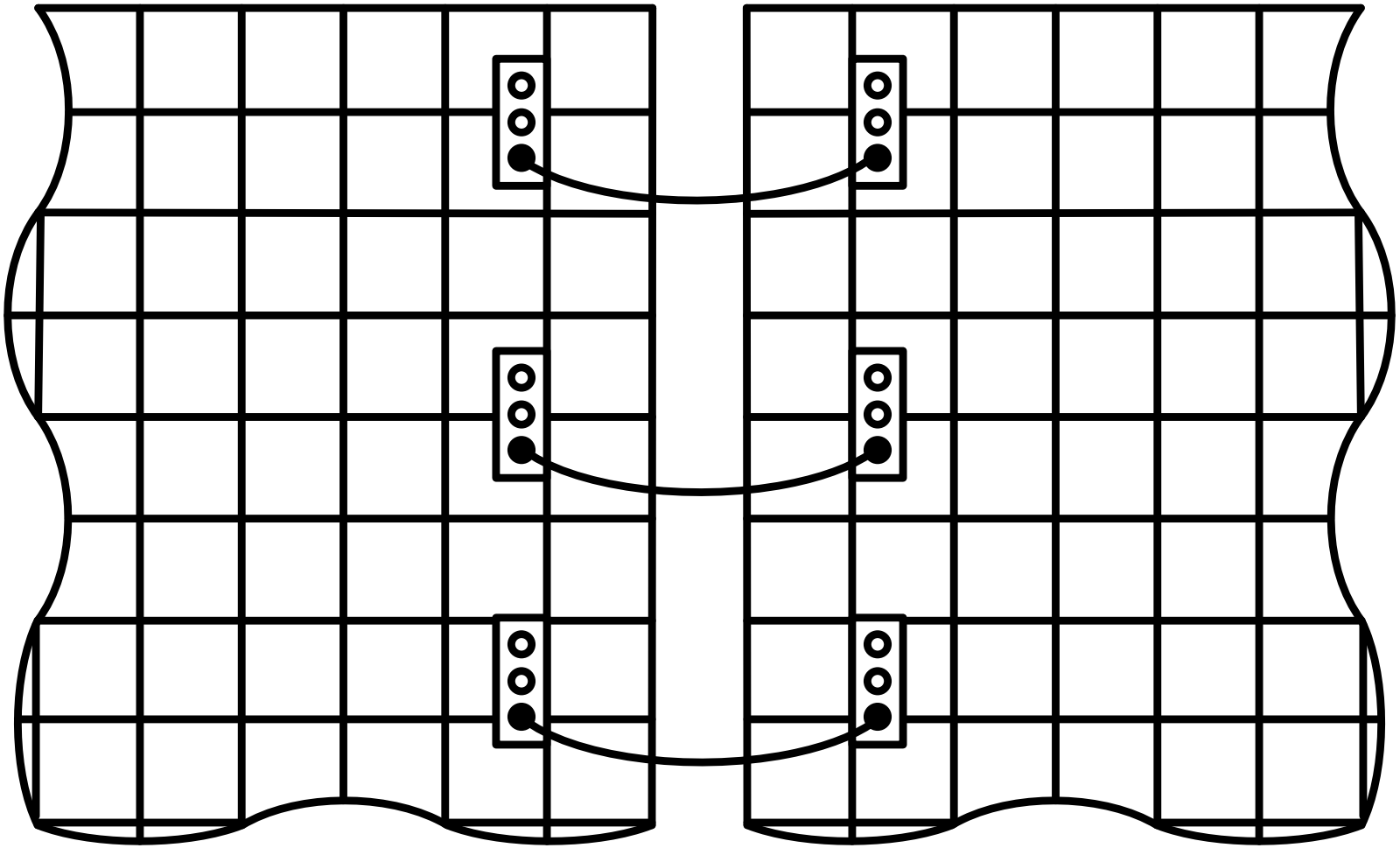
$b \leq 1\ m$

تنفيذ التحجيب باستخدام حديد التسليح وتأريضه بشكل جيد



ملاحظة: يكفي في التنفيذ العملي ربط النواقل مع بعضها كل *1 m*،
كما يجب ربط إطارات النوافذ والأبواب المعدنية مع حديد البيتون.

عند وجود أجزاء معدنية غير متصلة يجب وصلها مع بعضها البعض بواسطة نواقل معدنية.



تخفيض الحقل الكهرطيسي نتيجة التحجيب.

تعطى شدة الحقل نتيجة وجود تحجيب داخل منطقة الحماية ***LPZ1*** بالعلاقة: $H_1 = \frac{H_0}{10^{SF/20}}$ وتعطى قيمة ***SF*** من الجداول.

	$S_F\,[dB]$	
	(من أجل النبضة الأولى) ***25 KHz***	(من أجل النبضة اللاحقة) ***1 MHz***
نحاس أو ألمنيوم	$20 \cdot \log\,(8.5/W)$	$20 \cdot \log\,(8.5/W)$
حديد مغلفن	$20 \cdot \log\left[\frac{(8.5/W)}{1+18\times10^{-6}/r^2}\right]$	$20 \cdot \log\,(8.5/W)$

W – أبعاد فتحات التحجيب.

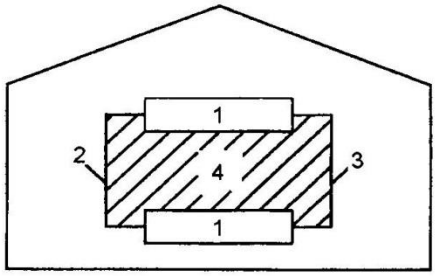
r – نصف قطر نواقل التحجيب.

ملاحظة: $SF = 0$ **عندما تكون نتيجة العلاقة سالبة.**

تزداد SF **بمقدار** ***6 dB*** **عند استخدام حلقات تساوي كمون.**

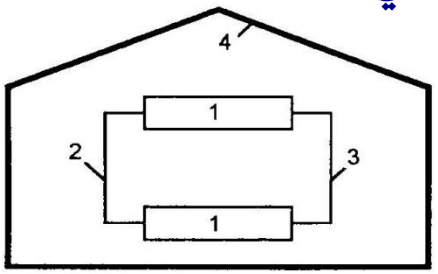
تنفيذ نظام الحماية الداخلي:

تمديد النواقل المختلفة داخل المبنى بشكل صحيح



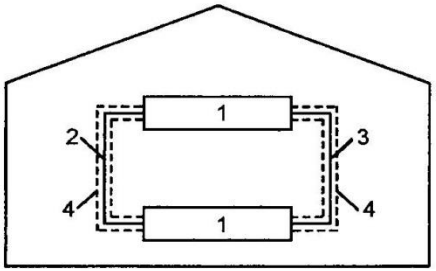
1- جهاز كهربائي أو إلكتروني.
2- نواقل (طاقة مثلاً).
3- نواقل (معلومات مثلاً).
4- مساحة حلقة التحريض.

a) نظام غير محمي.



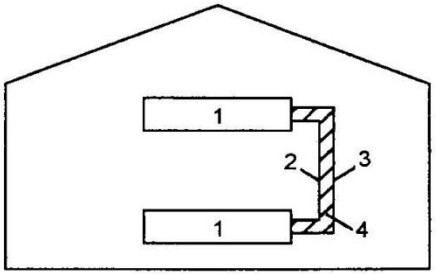
1- جهاز كهربائي أو إلكتروني.
2- نواقل (طاقة مثلاً).
3- نواقل (معلومات مثلاً).
4- تحجيب للمبنى (حماية خارجية).

b) خفض شدة الحقل الكهرطيسي داخل منطقة الحماية بسبب التحجيب.



1- جهاز كهربائي أو إلكتروني.
2- نواقل (طاقة مثلاً).
3- نواقل (معلومات مثلاً).
4- نواقل محجّبة.

c) خفض شدة الحقل الكهرطيسي داخل منطقة الحماية بسبب تحجيب النواقل.



1- جهاز كهربائي أو إلكتروني.
2- نواقل (طاقة مثلاً).
3- نواقل (معلومات مثلاً).
4- تصغير أبعاد الحلقة.

d) خفض التحريض بتصغير أبعاد الحلقة.

تنفيذ نظام الحماية الداخلي:

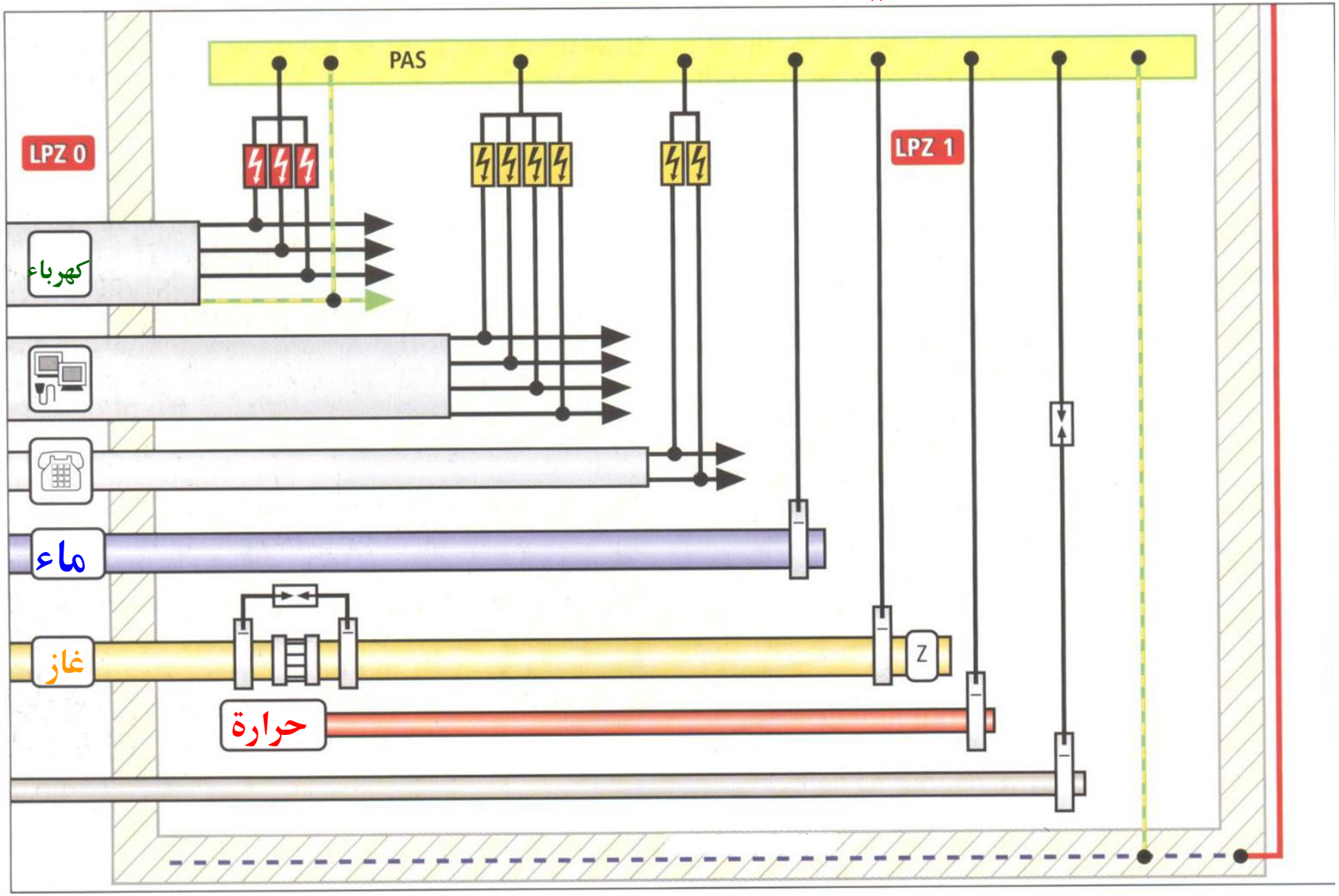
تنفيذ نواقل تساوي الكمون

* الغاية من نواقل تساوي الكمون هي الحد من فرق الكمون بين الأجزاء المعدنية الموجودة في المساحة المراد حمايتها.

* يجب ربط الغلاف المعدني لجميع النواقل الداخلة إلى المبنى مع وصلة تساوي الكمون على الحد الفاصل بين منطقة الحماية *LPZo* و *LPZ1*.

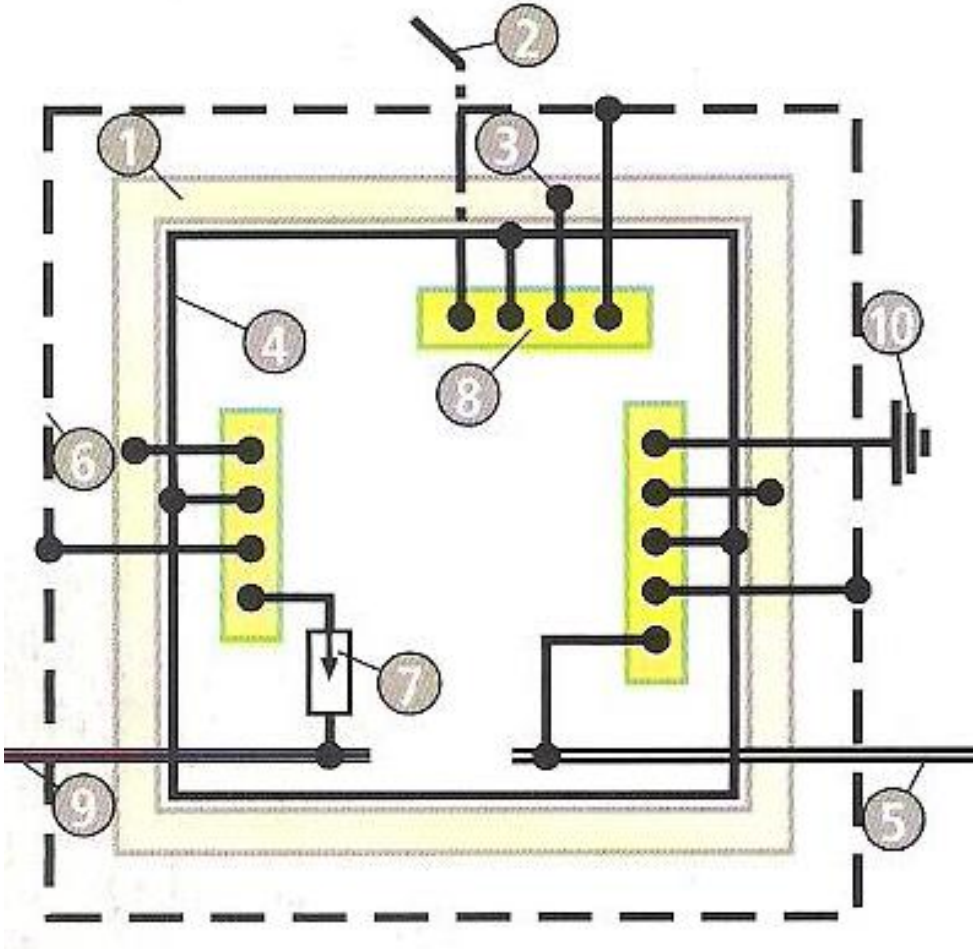
* يجب ربط جميع الأغلفة المعدنية للتجهيزات داخل منطقة الحماية إلى وصلة تساوي الكمون.

تنفيذ نواقل تساوي الكمون على حدود منطقة الحماية 0/1



يفضل دخول جميع النواقل المعدنية إلى المبنى من مكان واحد.

عند دخول النواقل من أماكن مختلفة تستخدم عدة وصلات تساوي كمون تربط مع التأريض الحلقي. وعند عدم تنفيذ تأريض حلقي تؤرض كل وصلة بمفردها، وتربط الوصلات مع بعضها البعض من الداخل.



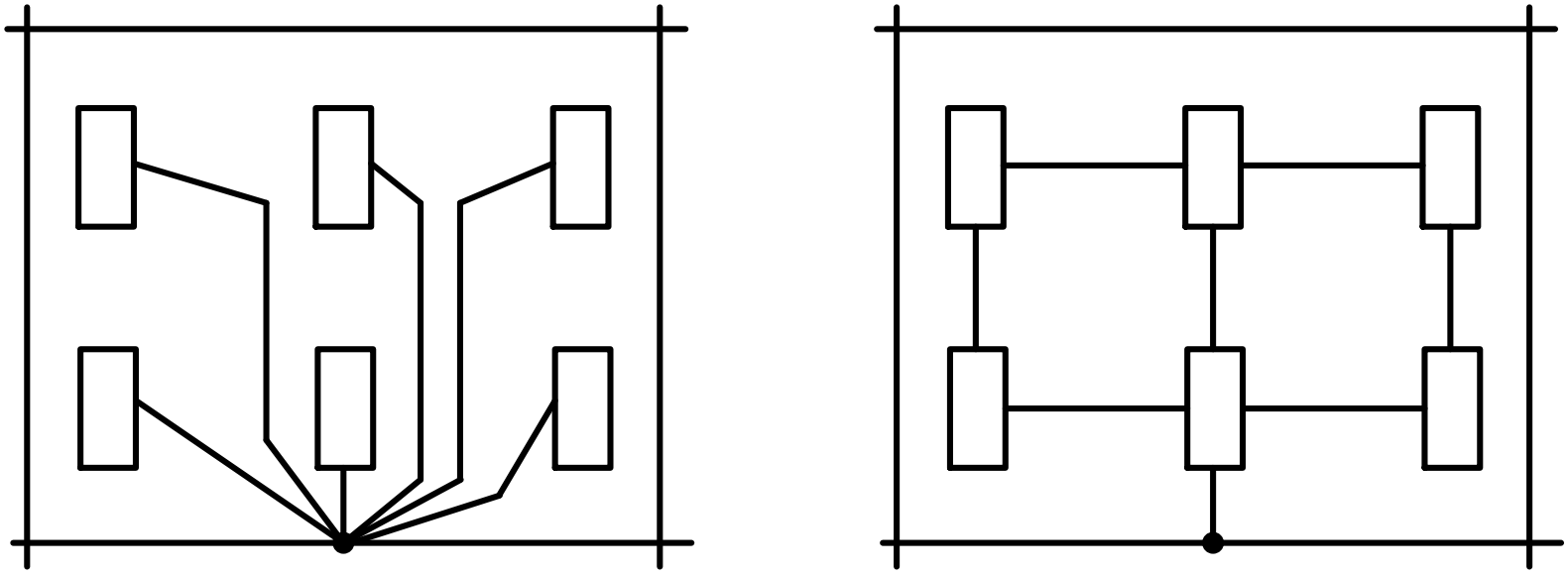
1. أساسات المبنى.
2. ربط مع الأرضي آخر
3. ربط مع حديد التسليح.
4. وصلة تساوي الكمون.
5. أنابيب معدنية داخله للمبنى، مياه مثلاً
6. تأريض نموذج *B*.
7. مفرع توتر.
8. وصلة تساوي كمون.
9. استخدام تأريض نموذج *A*.

تنفيذ نظام الحماية الداخلي:

تنفيذ وصلات تساوي الكمون داخل منطقة الحماية

يجب وصل جميع التجهيزات المعدنية الموجودة ضمن منطقة الحماية إلى وصلات تساوي الكمون، ويتم الوصل بأحد الأشكال التالية:

الوصل النجمي

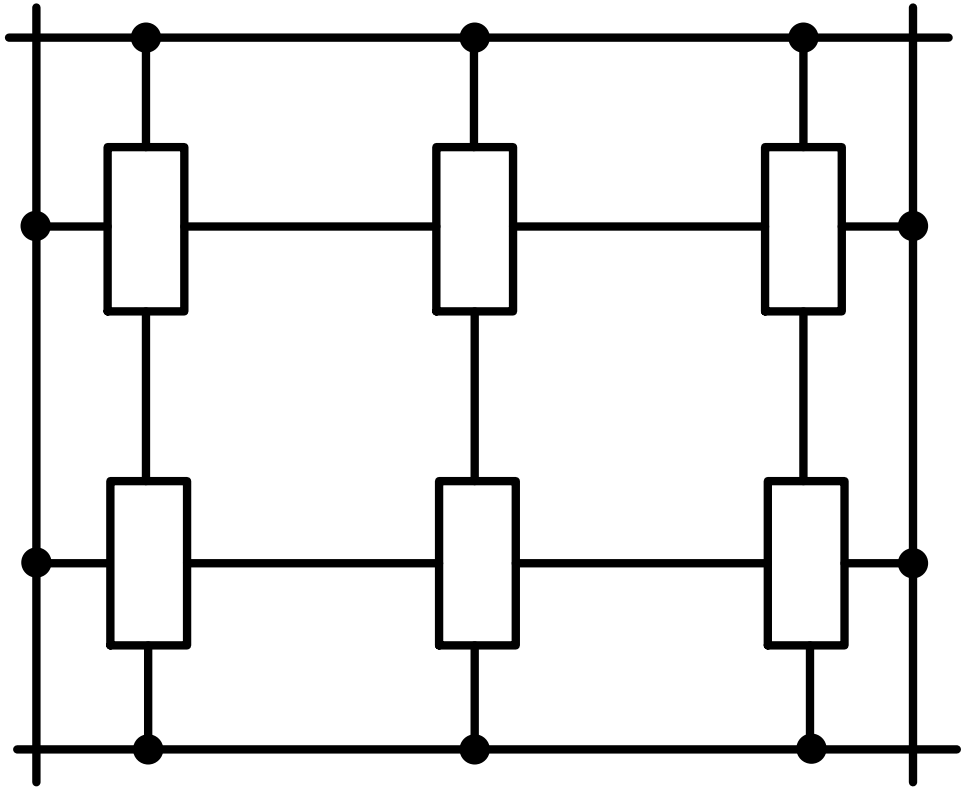


ملاحظة 1: يستخدم الوصل النجمي من أجل المسافات الصغيرة.

ملاحظة 2: نتجنب في هذا الوصل الترابط الأومي للتيارات ذات التردد الصغير.

تنفيذ وصلات تساوي الكمون داخل منطقة الحماية

الوصل الشبكي

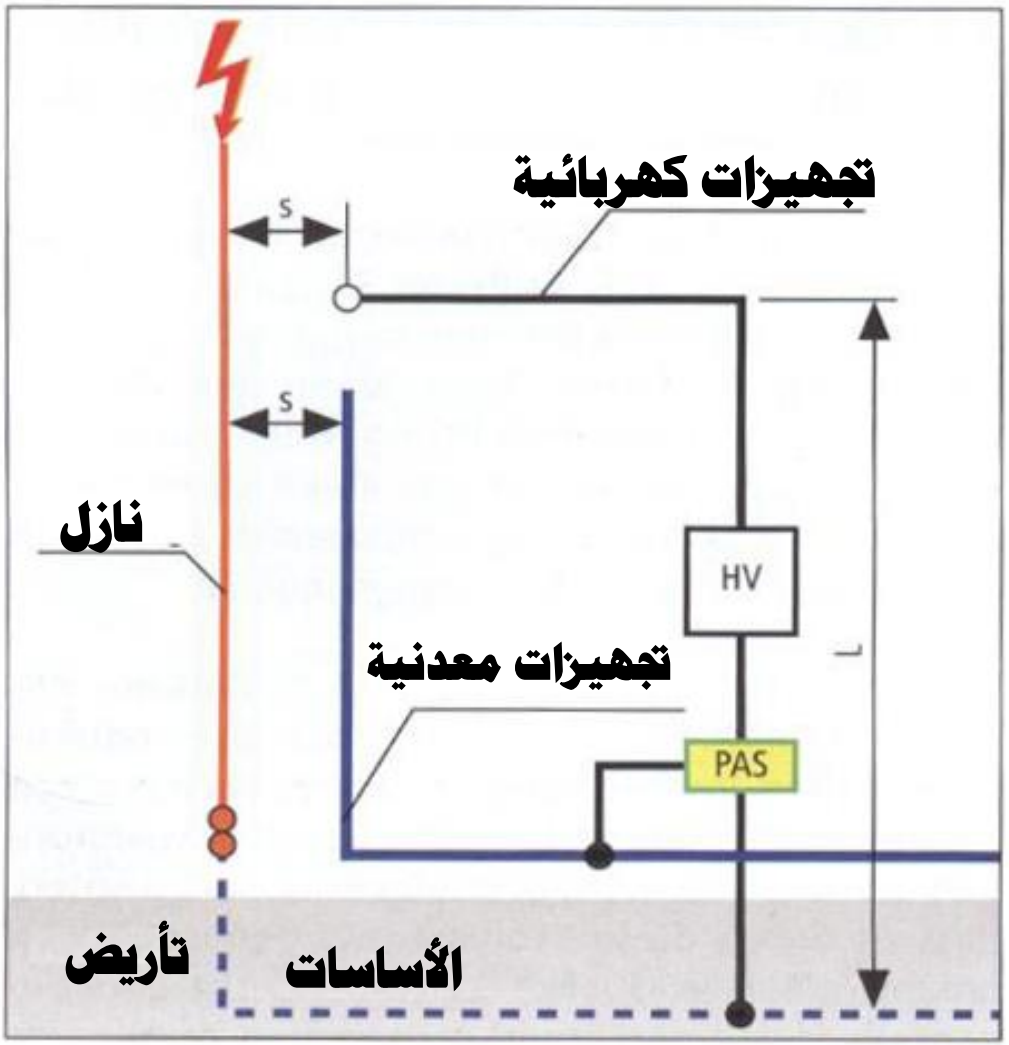


ملاحظة 1: يستخدم الوصل الشبكي من أجل المسافات الكبيرة.

ملاحظة 2: تتوزع التيارات الأومية والتحريضية في عدد كبير من الحلقات.

تنفيذ نظام الحماية الداخلي:

تنفيذ مسافة أمان بين نواقل الحماية والتجهيزات الكهربائية لمنع حدوث شرارات جانبية خطيرة



$$S \geq d$$

$$d = K_i \cdot \frac{K_C}{K_m} \cdot l \quad [m]$$

حيث :

l – طول الناقل النازل بدءاً من نقطة التقارب المعتبرة وحتى أقرب نقطة وصل تساوي الكمون.

K_i – ثابت يتعلق بمستوى الحماية المختار لنظام الحماية من الصواعق.

درجة الحماية	K_i
I	*0.08*
II	*0.06*
III-IV	*0.04*

K_m – ثابت يتعلق بمادة العزل في المسافة الفاصلة.

المادة	K_m
الهواء	1
بيتون أو قرميد	0.5
ملاحظة: عند استخدام عدة مواد متتالية يتم اعتماد د أصغر قيمة لـ K_m للمواد الداخلة	

K_C – عامل تجزئة التيار، ويتعلق بأبعاد الشكل العام وعدد النوازل.

عدد النوازل n	K_c
1	1
2	1 - 0.5
4 وما فوق	0.5 – 1/n

التقاربية في الأبنية ذات النتوءات البارزة:

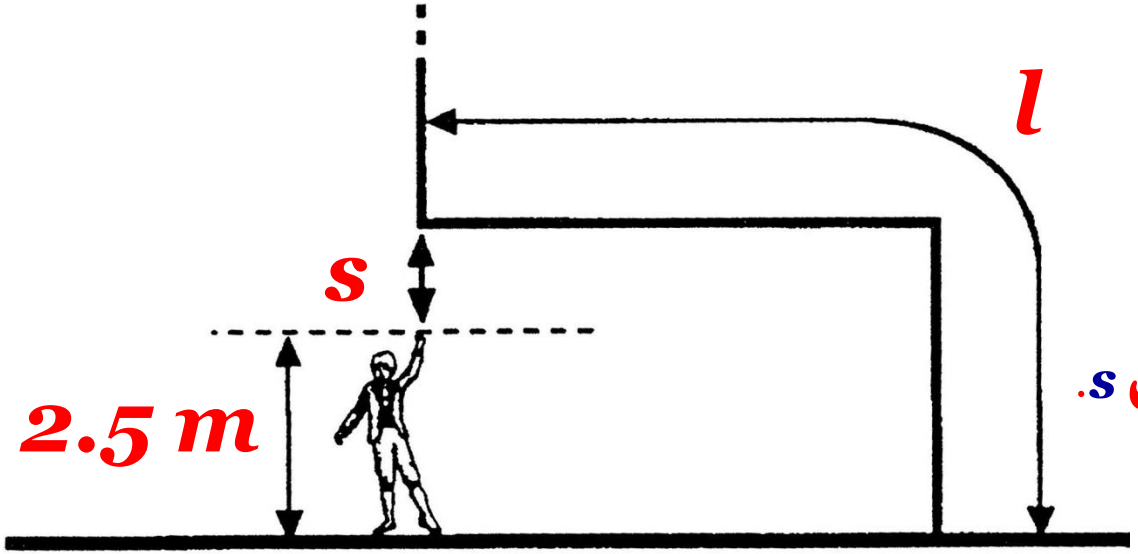
في الأبنية ذات النتوءات البارزة يجب أن تحقق المسافة $d\ [m]$ الشرط التالي:

$$\text{المسافة} > 2.5 + s \quad [m]$$

حيث :

s – مسافة الأمان، $[m]$

الرقم 2.5 يدل على متوسط ارتفاع الإصبع لرجل واقف يده مرفوعة نحو الأعلى (انظر الشكل).



s مسافة التقاربية.

l الطول اللازم لحساب مسافة الأمان s.

تصميم نظام حماية من الصواعق لبروز في مبنى ما.

تنفيذ نظام الحماية الداخلي:

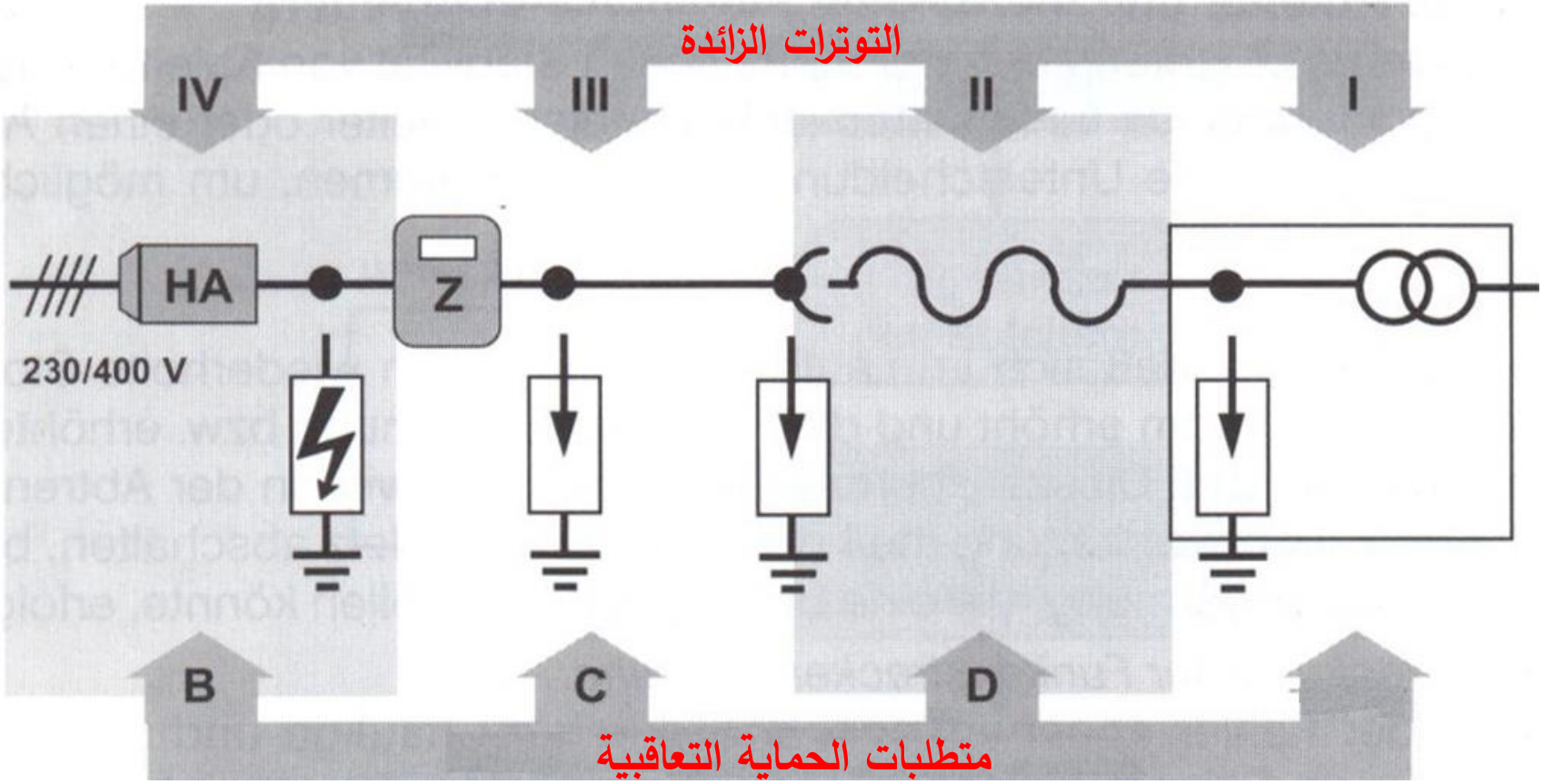
حماية من التوترات الزائدة المنتقلة على شبكة التوتر المنخفض.

يعد احتمال إصابة شبكة التوتر المنخفض إصابة مباشرة بصاعقة ضعيفاً جداً لأن هذه الشبكة تكون غالباً محمية بالأبنية والأشجار العالية، إلا أن سقوط الصاعقة بالقرب منها يسبب تحريض توترات زائدة فيها، ولحسن الحظ فإن هذه التوترات تتفرع إلى تفرعات كثيرة.

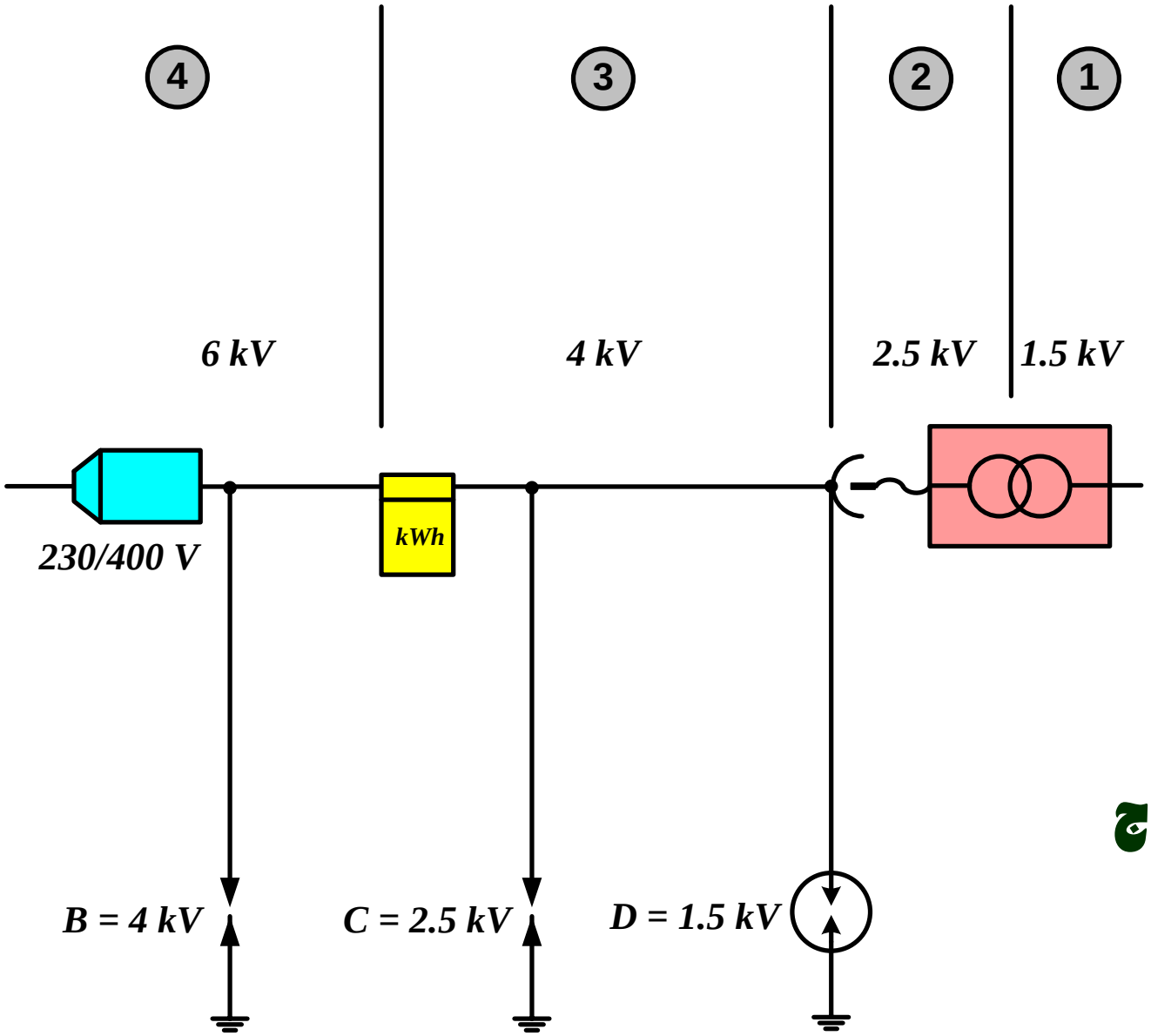
تستخدم الحماية التعاقبية لحماية التجهيزات داخل المنزل من التوترات المتحرضة على شبكة الكهرباء الداخلة إليه.

تنفيذ نظام الحماية الداخلي:

الحماية التعاقبية



يبين الشكل التالي العناصر الأولية لهذه المفرغات، وتوتر الحماية لها.



حيث تكون المفرغات من النموذج *B* عبارة عن ثغرة هوائية أو غازية تنهار عند توتر أقل من *4 kV*.

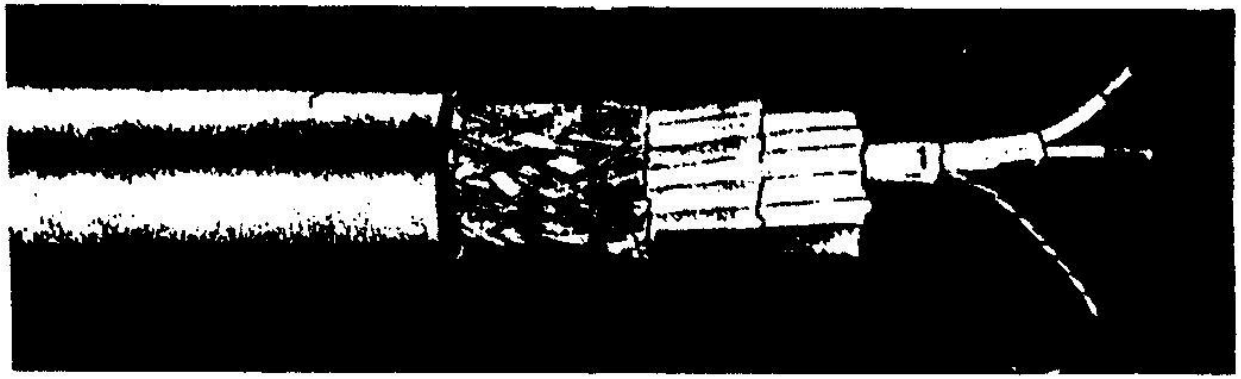
المفرغات من النموذج *C* عبارة عن ثغرة هوائية تنهار عند توتر أقل من *2.5 kV*.

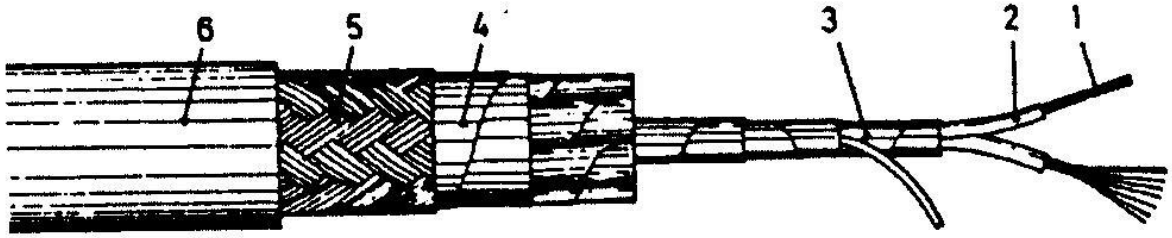
المفرغات من النموذج *D* عبارة عن ديودات

تنفيذ نظام الحماية الداخلي:

نوع كابلات القيادة المستخدمة

يجب استخدام كابلات محجبة للحد من أثر التيارات المنتقلة على كابلات القيادة :





1- ناقل نحاسي.
2- عازل *PE*.
3- غلاف معدني.
4- غلاف مصنوع من مادة عازلة
5- شبك نحاسي.
6- غلاف خارجي من *PVC*.

كابل إشارة محجّب.

سماكة الغلاف المعدني للكابلات المستخدمة تعطى بالعلاقة:

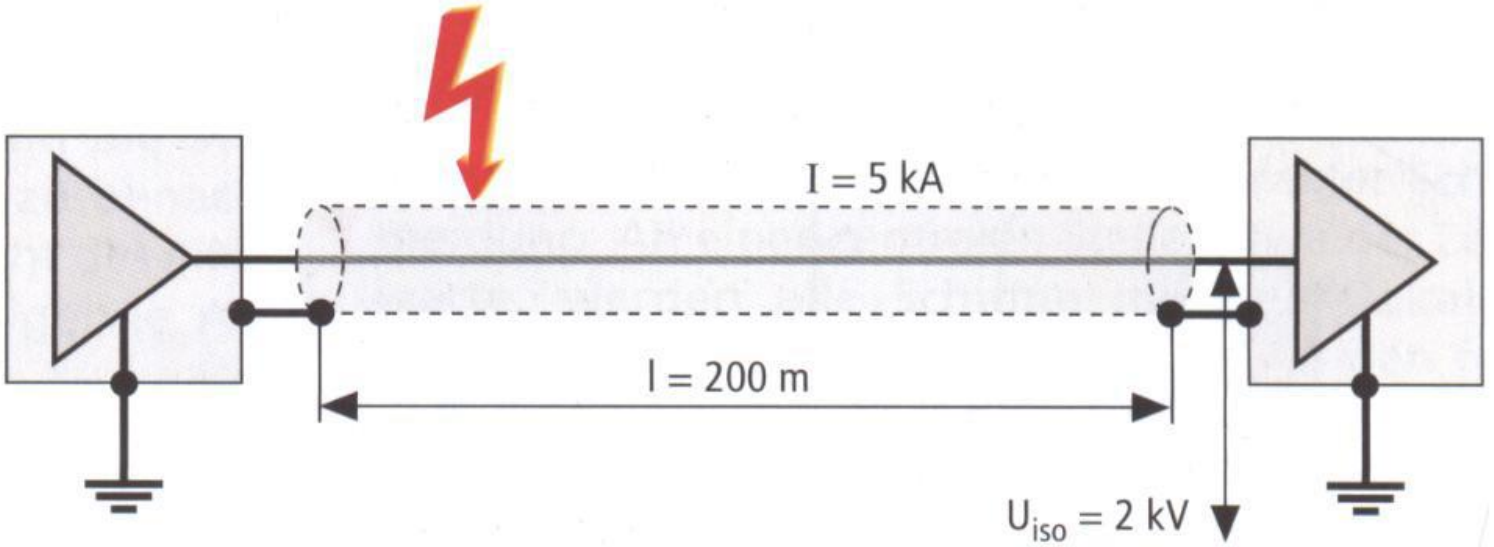
$$A_{\min} = \frac{I_f \cdot \rho_C \cdot l_C \cdot 10^6}{U_C} \qquad (31)$$

I_f – جزء تيار الصاعقة الذي يسري في الغلاف المعدني.

ρ_C – المقاومة النوعية لمادة الغلاف المعدني.

U_C – المتانة الكهربائية للمادة العازلة المستخدمة في الكابل.

l_C – مسافة تتعلق بحالة تأريض الغلاف المعدني.



المطلوب اختيار نوعية الكابل عن طريق حساب R_K

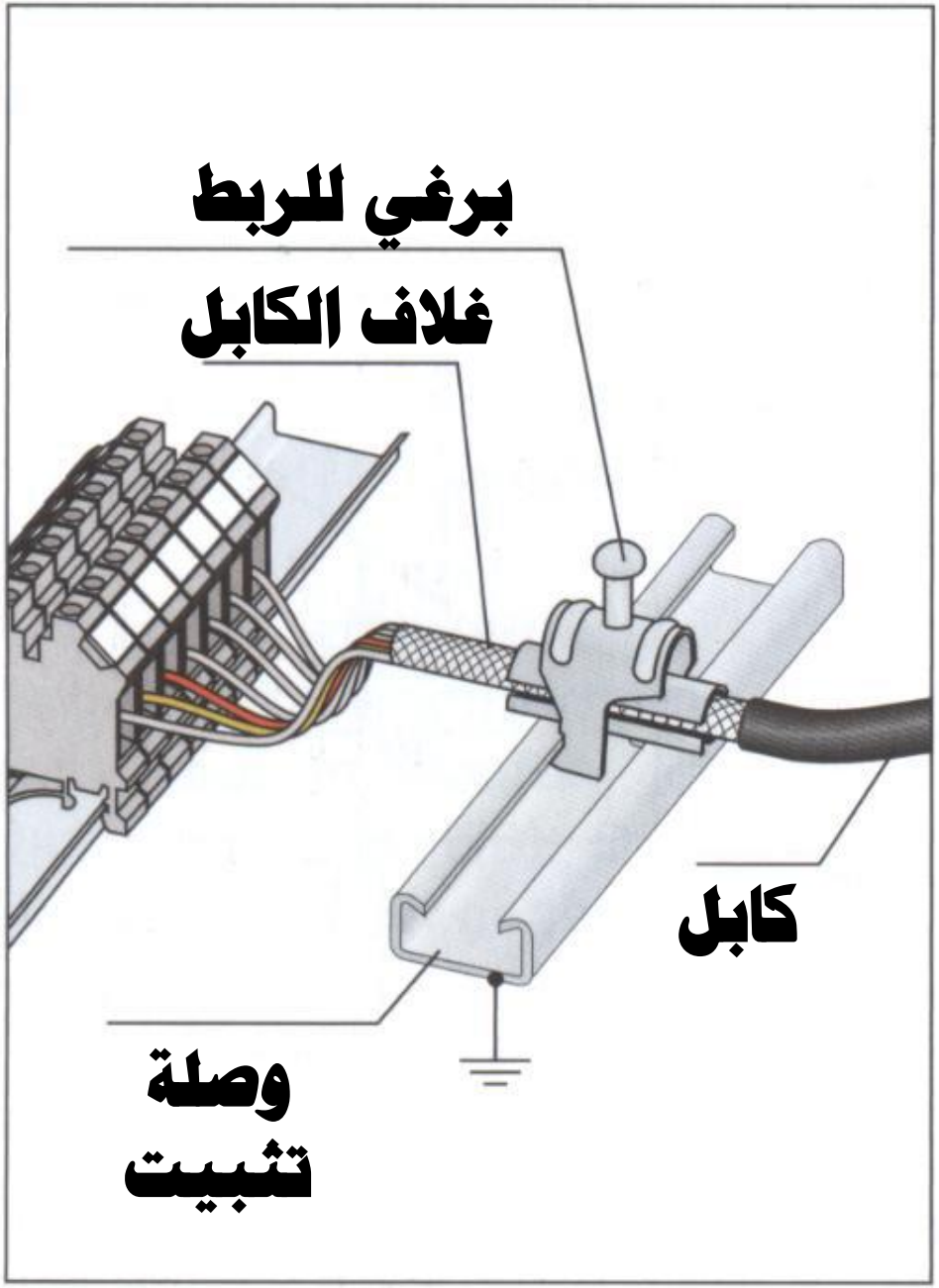
$$R_K = \frac{U_{iso}}{I} = \frac{2000\ V}{5000\ A} = 0{,}4\ \Omega$$

$$l = 200\ m: \rightarrow R_K = \frac{0{,}4\ \Omega}{200\ m} = 2\frac{10^{-3}\ \Omega}{m}$$

U_{iso}– المتانة الكهربائية للمادة العازلة المستخدمة في الكابل.

I– تيار الصاعقة الذي يسري في الغلاف المعدني.

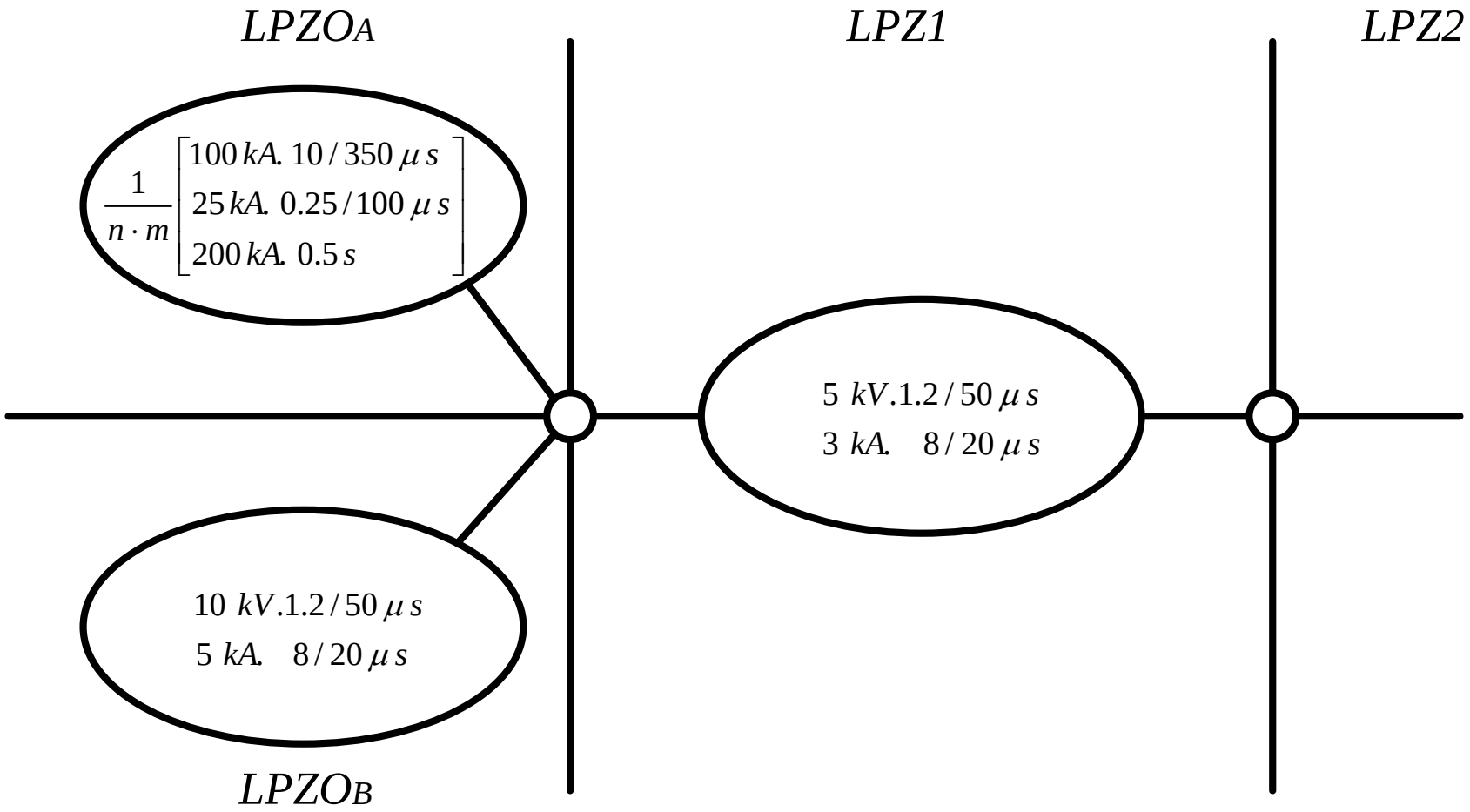
تنفيذ نظام الحماية الداخلي:



تأريض الغلاف المعدني
للكابلات بشكل صحيح

تنفيذ نظام الحماية الداخلي:

تركيب مفرغات التوتر والتيار على حدود مناطق الحماية

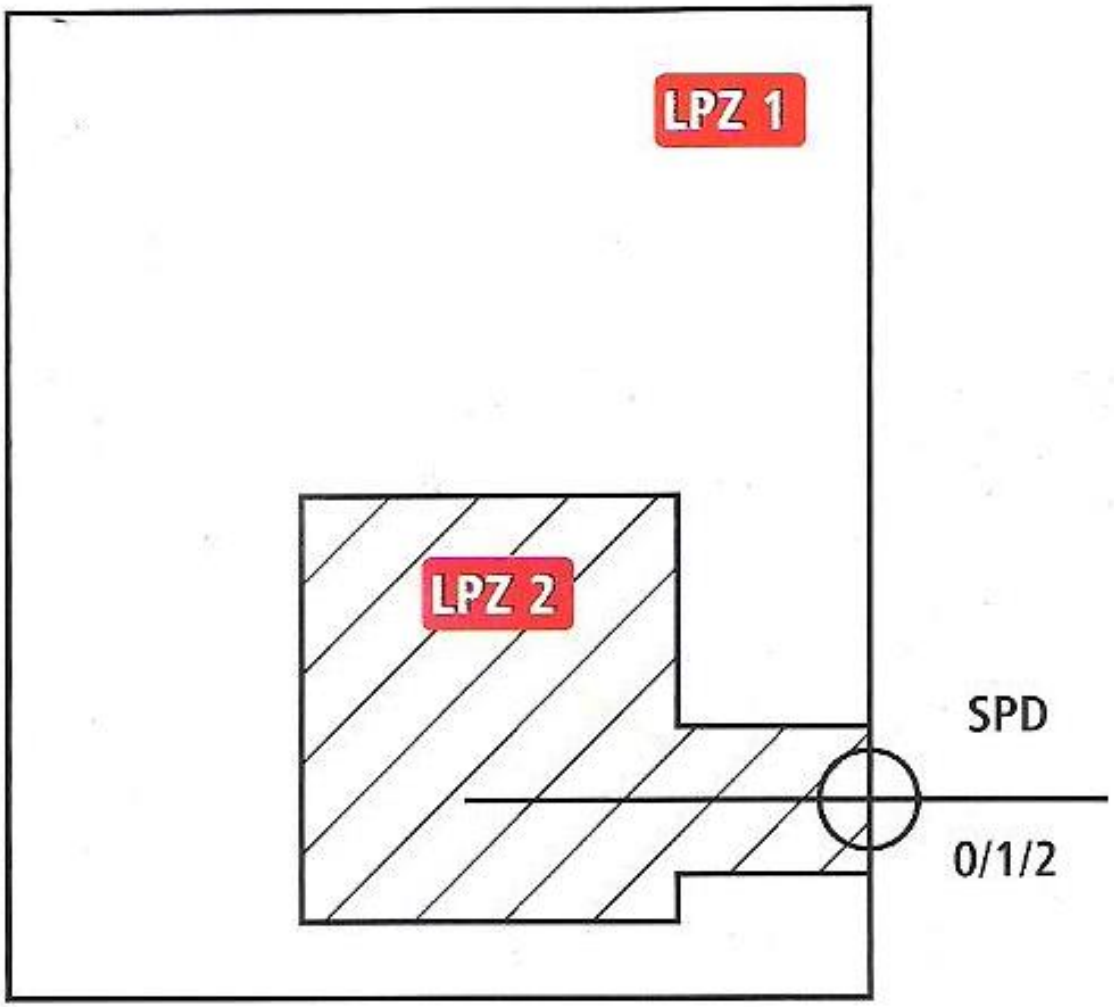


نوع وشكل التشويش المتحرّض في النواقل المعدنية في مناطق الحماية O_A و O_B و 1.

n – عدد النواقل ، m – عدد النواقل في كل كابل.

عند عدم إمكانية تركيب المفرغات على الحدود الفاصلة بين مناطق الحماية نستطيع نقل الحدود إلى داخل أو خارج مناطق الحماية.

يبين الشكل كيفية نقل منطقة الحماية 2 إلى حدود منطقة الحماية 0 بتمديد الناقل داخل تحجيب معدني



مفرغات التيار والتوتر (SPD):

يجب ألا يسبب تيار الصاعقة المتوقع سريانه في هذه المفرغات أي ضرر عليها.

يجب اختيار نوع المفرغ وفق المواصفات الكهروتقنية الدولية IEC الخاصة بذلك، وفي هذه الحالة تؤخذ بالحسبان القيم الاسمية التالية لتيار الصاعقة:

- $I_n > 10\ kA$ من أجل تيار نبضي $8 / 20\ \mu s$ في المفرغ الذي يستخدم لحماية التجهيزات الكهربائية والإلكترونية الداخلية.

لا تكون المفرغات ضرورية في الكابلات المحجبة (المغطاة) والتي لا يزيد طولها عن $80\ m$ ومقطع غلافها المعدني أكبر من $10\ mm^2$ وذلك عندما تربط هذه الكابلات من كلا الطرفين مع التجهيزات الكهربائية، ويربط غلافها المعدني مع نواقل تساوي الكمون (الجهد).

- التيار الاسمي للمفرغات التي ستركّب على النواقل (الموصلات) الإلكترونية (نواقل إشارة، تحكم، معلومات، ألخ) الداخلة إلى المبنى، يعطى بالعلاقة:

$$I_n \geq \frac{I_f}{n}$$

حيث:

I_f – جزء تيار الصاعقة الذي يسري في الكابل.

n – عدد النواقل (الموصلات) في الكابل.

لا يكون المفرغ ضرورياً في الكابلات المحجبة (المغطاة) والتي يربط غلافها المعدني مع نظام الحماية من الصواعق (*LPS*) عندما لا يقل مقطع الغلاف المعدني للكابل عن المقطع المحسوب في شريحة سابقة.

يجب الأخذ بالحسبان عدم تجاوز درجة الحرارة المسموحة للمادة العازلة للكابل عندما يسري جزء تيار الصاعقة في الغلاف. وتعطى القيمة المسموحة للتيار الذي يسري في أغلفة الكابلات بالعلاقات التالية:

للنواقل المحجبة (المغطاة) $I_f = 8 \cdot a \quad [A]$

للنواقل غير المحجبة (غير المغطاة) $I_f = 8 \cdot n' \cdot a' \quad [A]$

حيث :

If – التيار الذي يسري في الغلاف المعدني للكابل بـ *kA* (انظر الفقرة 4-8-2).

n' – عدد النواقل (الموصلات) في الكابل .

a – مقطع الغلاف المعدني للكابل (مقطع التحجيب (التغطية)) بـ mm^2 .

a' – مقطع كل ناقل (موصل) داخل الكابل بـ mm^2 .

وهذه العلاقات صحيحة من أجل غلاف نحاسي وارتفاع مسموح لدرجة الحرارة $80\ ^oK$.

❖ يجب على مفرغ التوتر أن يتحمل التيار المحسوب بدون أي ضرر، بالإضافة إلى ذلك يجب أن يتحمل المفرغ التوتر المتبقي الناتج عن تفريغ تيار الصاعقة، وعند استخدام المفرغ على أطوار الشبكة الكهربائية يجب أن يكون قادراً على إطفاء تيار الشبكة اللاحق.

❖ توتر التفريغ للمفرغ المركب على مدخل البناء المحمي يحدد حسب توتر العزل للتجهيزات المحمية.

❖ يجب على المفرغ المركب على مدخل البناء المحمي أن يُبقي الجزء الأكبر من القدرة النوعية للصاعقة بعيداً عن التجهيزات الموجودة داخل البناء.

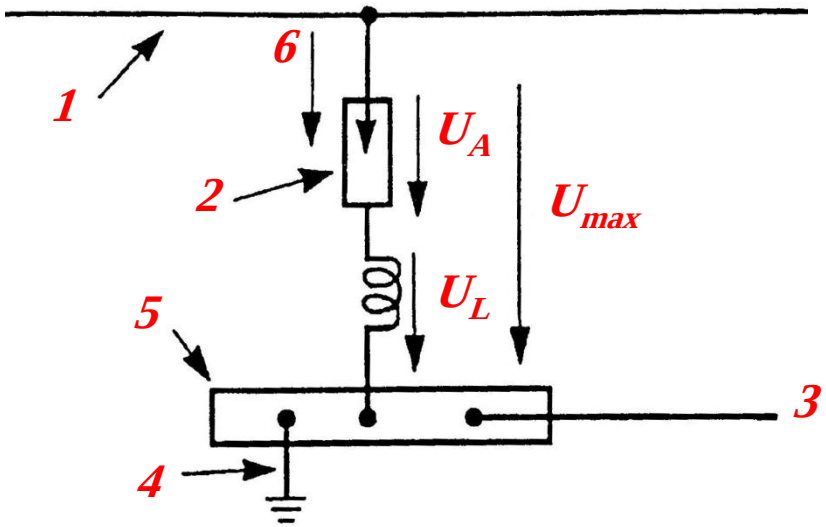
❖ يجب أن يركّب المفرغ ذي التوتر المتبقي المنخفض على مدخل الأبنية المحمية، وفي حال عدم إمكانية تركيب هذا المفرغ على المدخل يستخدم مرشح تمرير منخفض مناسب بين المفرغ المركب على المدخل، والمفرغ المركّب قرب الجهاز المراد حمايته.

❖ يجب تركيب تحريضية (*Inductance*) طولانية أو مقاومة بين المفرغ المركّب على المدخل، والمفرغ المركب بالقرب من الجهاز المحمي، ويمكن أن تكون هذه التحريضية (*Inductance*) هي تحريضية النواقل (**الموصلات**) الواصلة بين المفرغين. لكي تعمل المفرغات المربوطة على التتابع (**الحماية على مراحل**) المركبة على الخطوط الهاتفية بشكل صحيح.

❖ تُركّب مفرغات الجهد على النواقل (الموصلات) المعدنية عندما لا يمكن تخفيض قيمة التوترات المتحرضة فيها بالطرق الأخرى، أو عندما توجد صعوبة في تنفيذ الطرق الأخرى (الكلفة مثلاً الكبيرة عند مراقبة نظام الحماية، أو عند خفض الأخطار الناتجة عن التوترات الزائدة على نظام المعلومات).

❖ يجب ربط مفرغ التوتر مع حلقات تساوي الجهد على أقصر طريق.

❖ يتكون هبوط التوتر الذي يحدث على المفرغ والوصلات المستخدمة بينه وبين الناقل، أو بينه وبين الأرض من مركبتين: هبوط التوتر على المفرغ U_A وهبوط التوتر على النواقل (الموصلات) U_L. والقيمة العظمى لهاتين المركبتين لا تحدث في نفس اللحظة الزمنية ومحصلة المركبتين يجب أن تكون أقل من القيمة العظمى لنبضة التوتر U_{max} المسموحة بين نواقل الطاقة ونواقل تساوي الكمون (الجهد).



1 ناقل التوتر.
2 مفرغ *SPD*.
3 ناقل الحماية (*PE*) في التوتر المنخفض.
4 نظام التأريض.
5 حلقة تساوي الجهد.
6 جزء تيار الصاعقة.

مركبات التوتر النبضي بين ناقل الطاقة ووصلة تساوي الجهد عند تركيب مفرغ توتر (مثلاً في نقطة دخول الناقل إلى البناء).

تنفيذ نظام الحماية الداخلي:

تركب المفرغات حسب نوع الشبكة

تركيب المفرغات في نظام شبكة *TN-C-S*

T - النقطة النجمية لمنبع التيار مؤرضة مباشرة.

N - غلاف التجهيزات الكهربائية مربوط مع تأريض النقطة النجمية

C - الخط الأرضي والحيادي واحد.

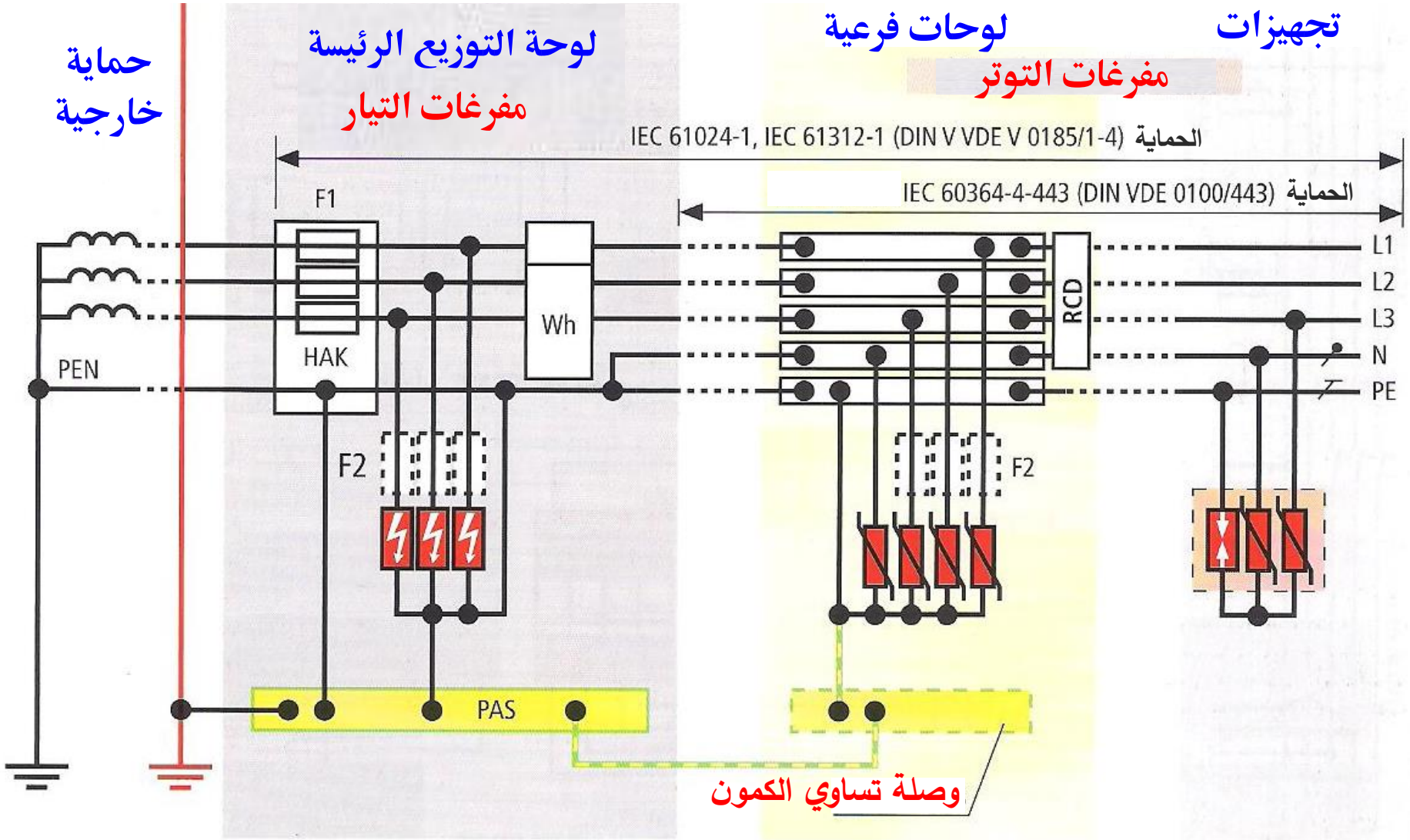
S - الخط الأرضي والحيادي مفصولين.

تحديد مكان تركيب المفرغات :

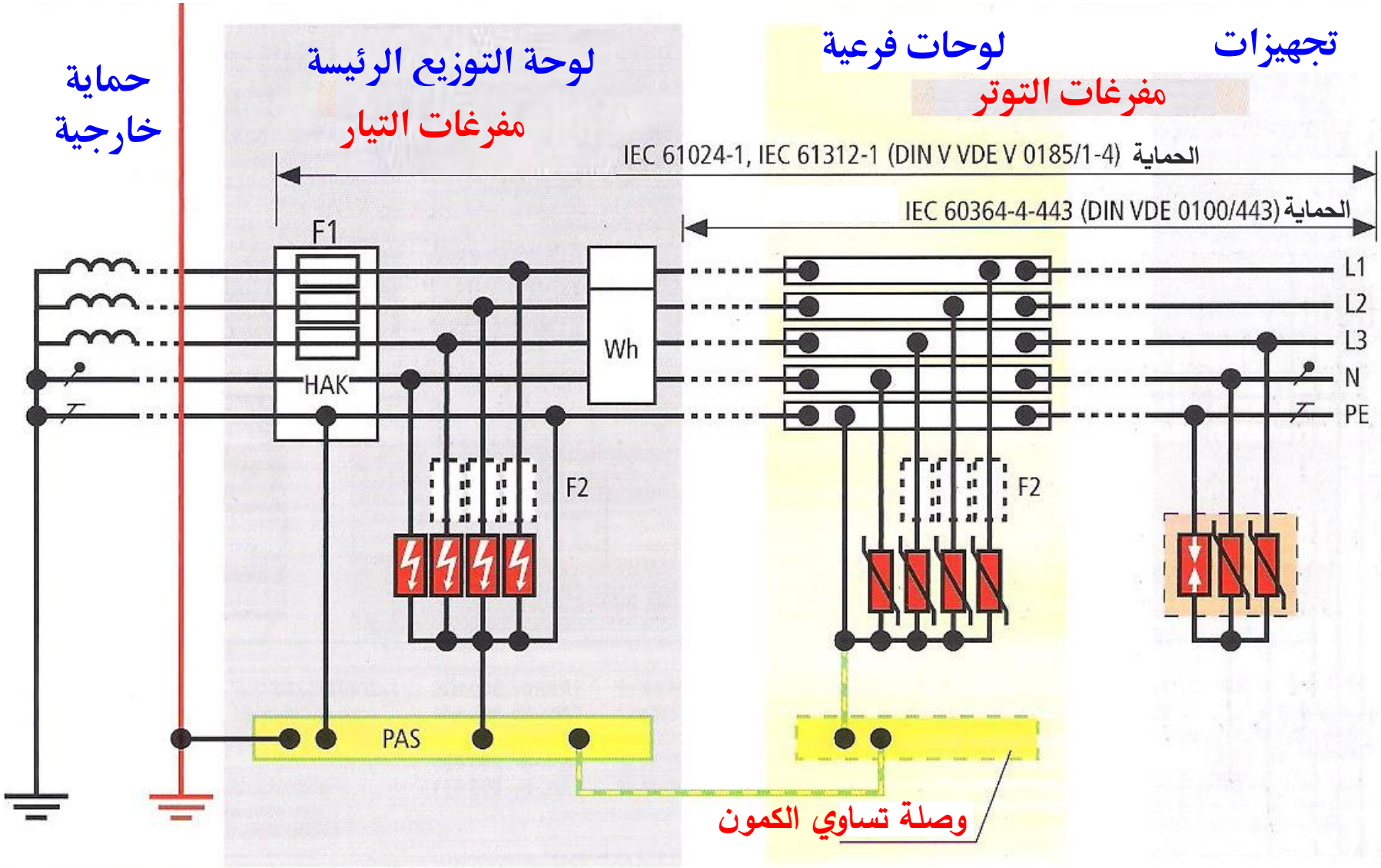
تحدد المواصفة *VDE0100-534* مكان تركيب مفرغ التيار بالقرب من نقطة تغذية المنشأة (قبل عداد القدرة).

في شبكات *TN* تركب مفرغات التيار قبل القاطع التفاضلي لحماية الاشخاص في حال فشل المفرغ. إذا تم تركيب المفرغ بعد القاطع التفاضلي سوف يسبب جزء تيار الصاعقة المفرغ إلى *PE* إلى عمل القاطع التفاضلي (*RCD*) الذي يفسر هذا التيار على أنه تيار عطل ويقوم بفصل الدارة أيضاً يمكن أن يسبب السلوك الديناميكي لتيار الصاعقة إلى إحداث ضرر ميكانيكي في قاطع *RCD*، أما مفرغات التوتر فتركب بعد القاطع التفاضلي حيث يقوم المفرغ بالحماية من التوترات الزائدة العرضانية بين *L* و *N* وعن طريق تخفيض قيمة هذه التوترات يتم الحيلولة دون مرور جزء تيار الصاعقة إلى *PE*، وبذلك يتم تلافي الفصل الخاطئ للقاطع التفاضلي.

تركيب المفرغات في نظام شبكة *TN-C-S*



تركيب المفرغات في نظام شبكة *TN-S*



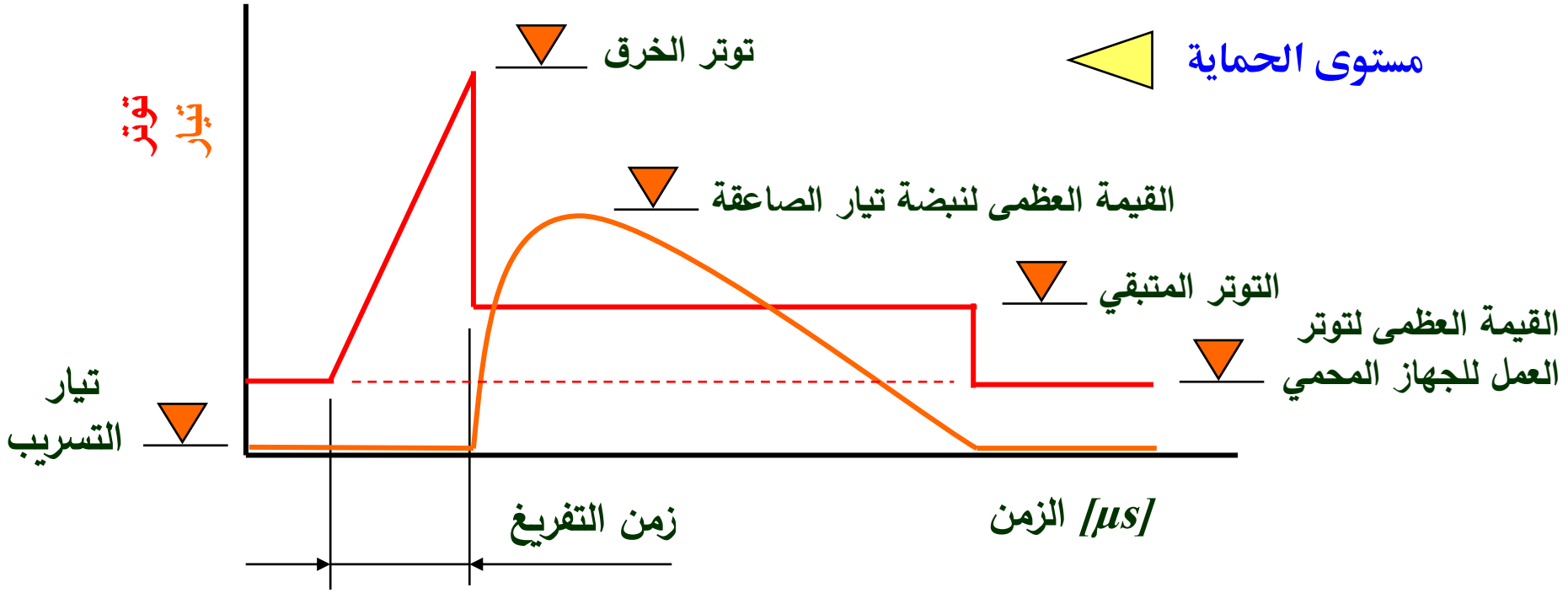
التجهيزات المستخدمة للحماية من التوترات الزائدة

عبارة عن عناصر تركب بمفردها أو على شكل دارة حماية تحد من التوترات الزائدة المطبقة على الأجهزة إلى قيمة غير خطرة عليها، وتقسم إلى ثلاثة أنواع أساسية:

- ثغرات حماية هوائية ، غازية (غالباً أرغون)، ثغرات ذات انفراغات انزلاقية.
- مقاومات متغيرة (فارستور) مصنوعة من اكاسيد التوتياء أو أكاسيد السيليسيوم.
- ديودات.

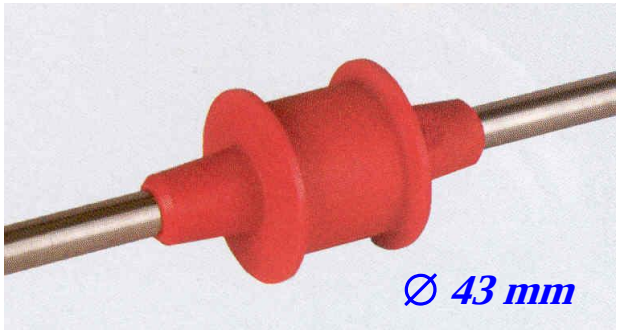
مبدأ عمل مفرغات التوتر

الحد من التوترات الزائدة، وتفريغ تيار الصاعقة الواردة إلى التجهيزات الكهربائية.

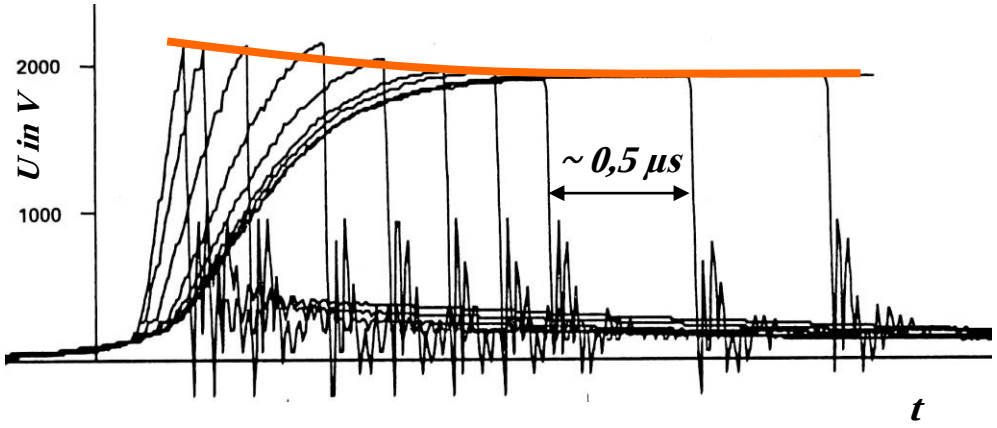


منحني التوتر والتيار لجهاز حماية عند حدوث توترات زائدة

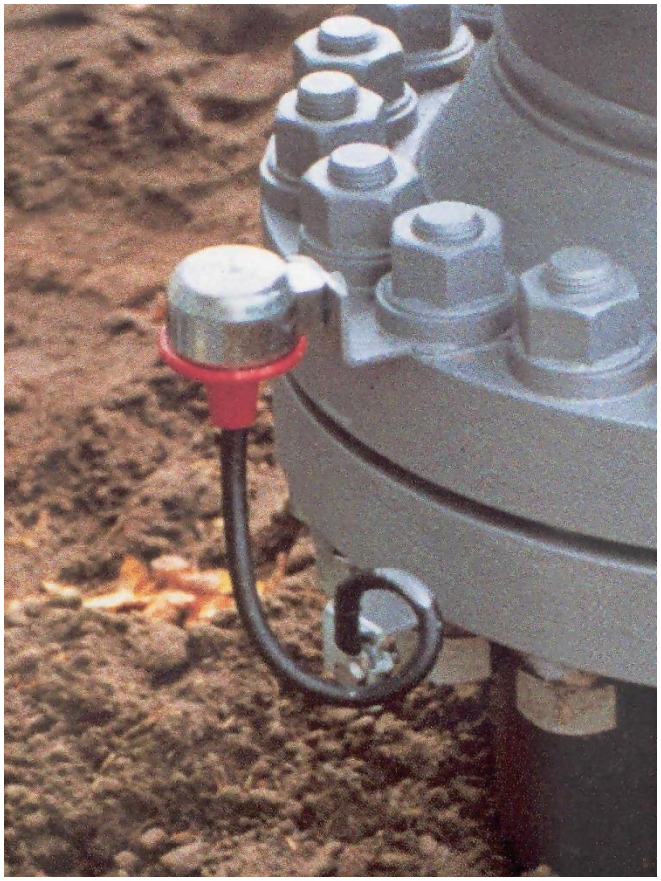
ثغرة الحماية الهوائية



ثغرة هوائية 100 kA 10/350 µs



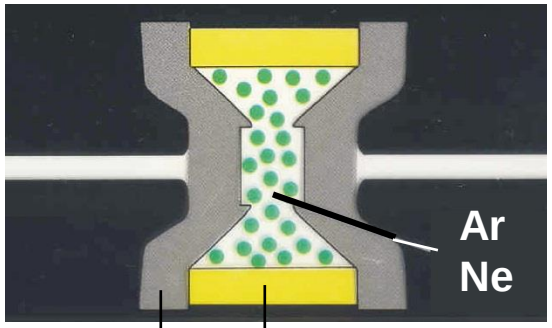
المنحني المميز النبضي للثغرة

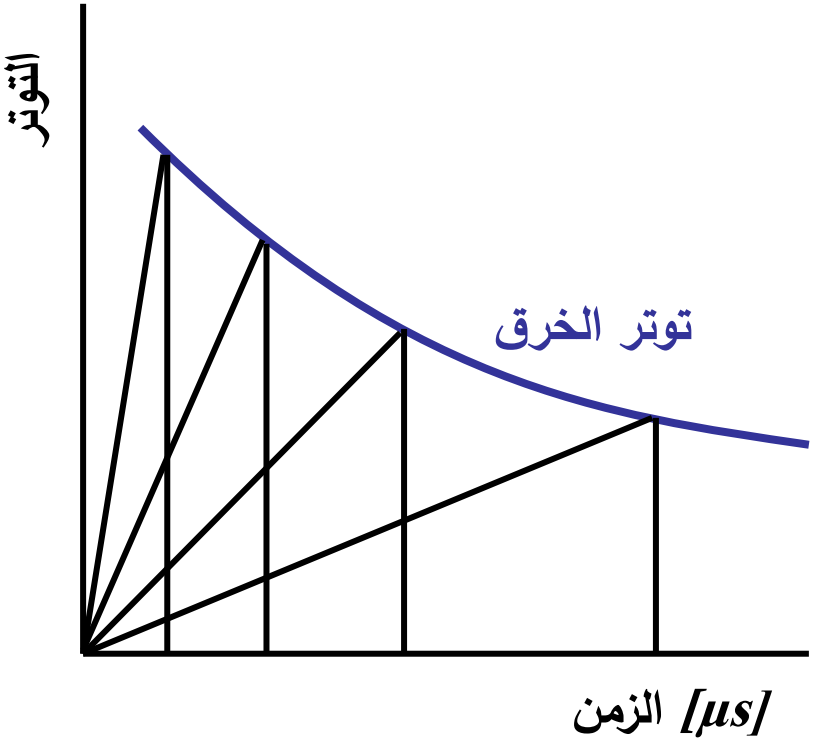


ثغرة حماية مركبة
على وصلة عازلة

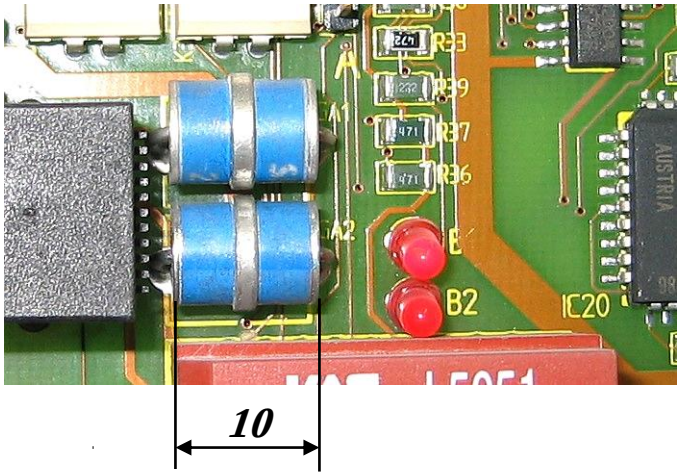
ثغرة الحماية الغازية
(غاز الأرغون)

مبدأ عمل ثغرة حماية من غاز الأرغون





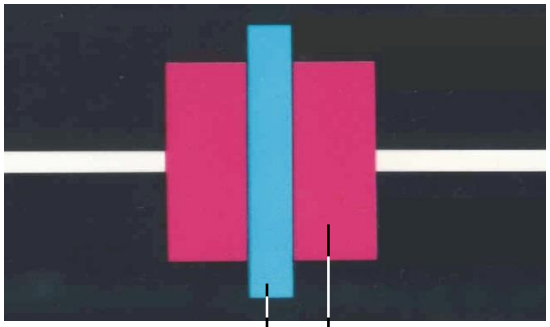
المنحني المميز النبضي للثغرة

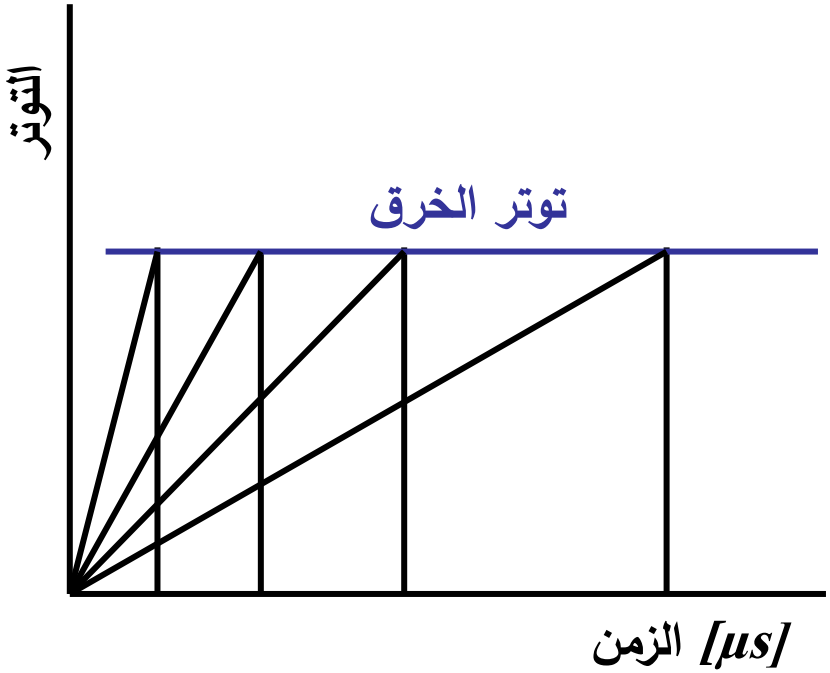


حماية مقسم هاتف بواسطة ثلاث ثغرات حماية

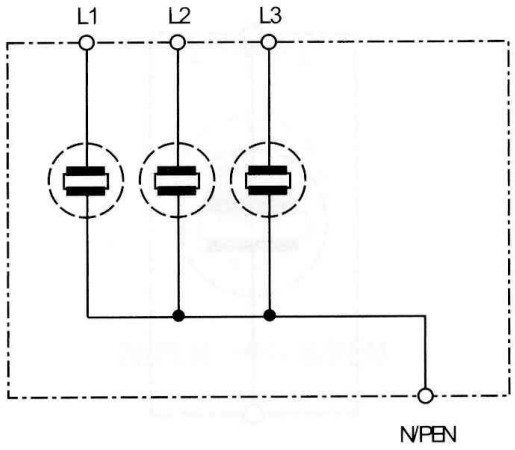
ثغرة الحماية ذات الانفراغات الانزلاقية

مبدأ عمل الثغرات ذات الانفراغات الانزلاقية



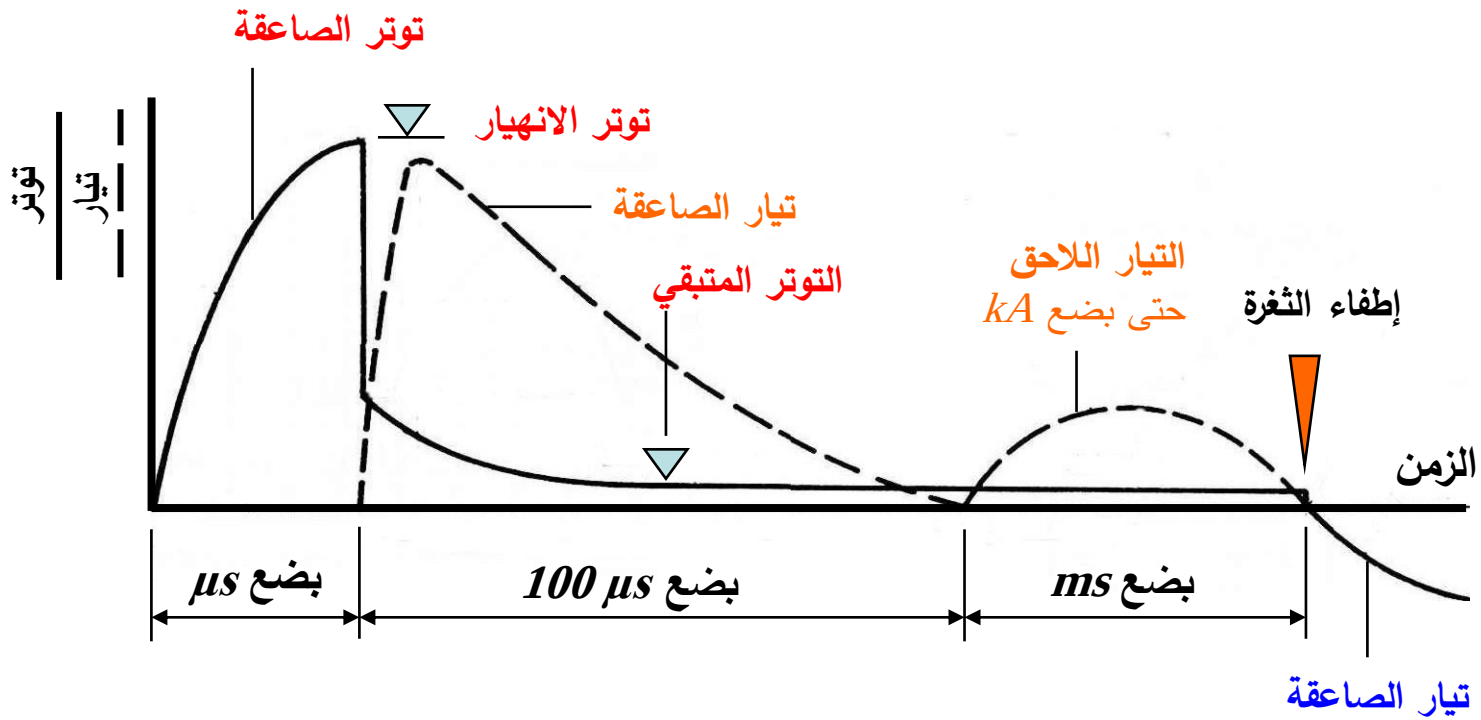


المنحني المميز النبضي للثغرة



مفرغ تيار ثلاثي مغلق
ذو انفراغات انزلاقية
(تيار التفريغ 10/350 µs 50 kA)

مفرغ توتر – ثغرة ذات انفراغات انزلاقية

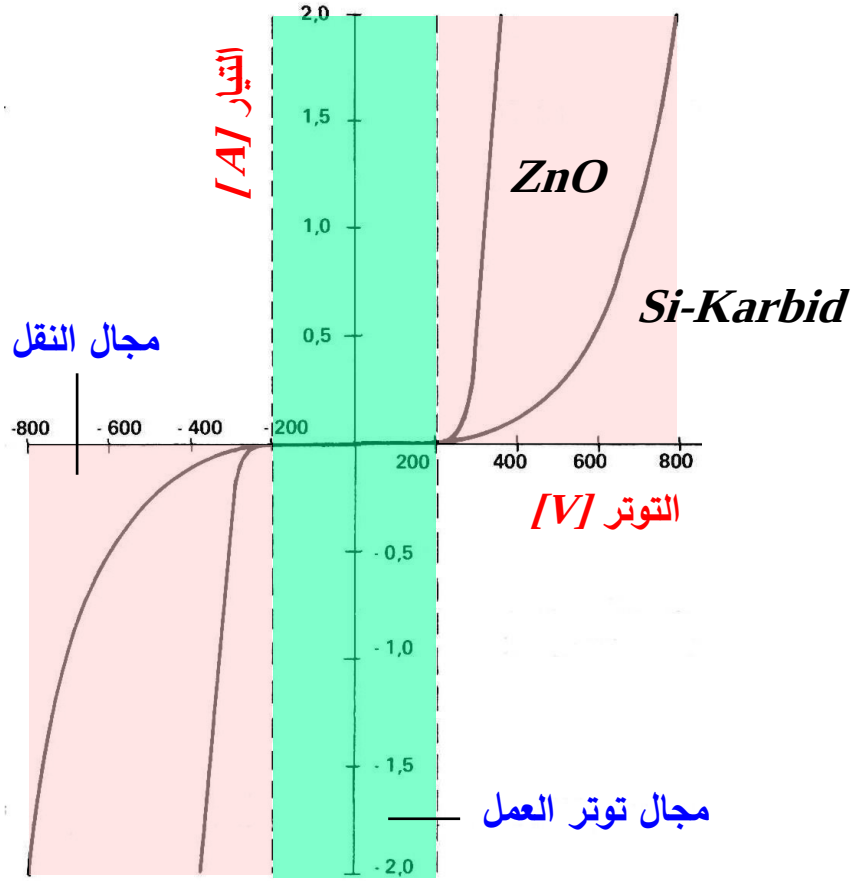


منحني التوتر والتيار لثغرة ذات انفراغات انزلاقية

مفرغ توتر – فارستور

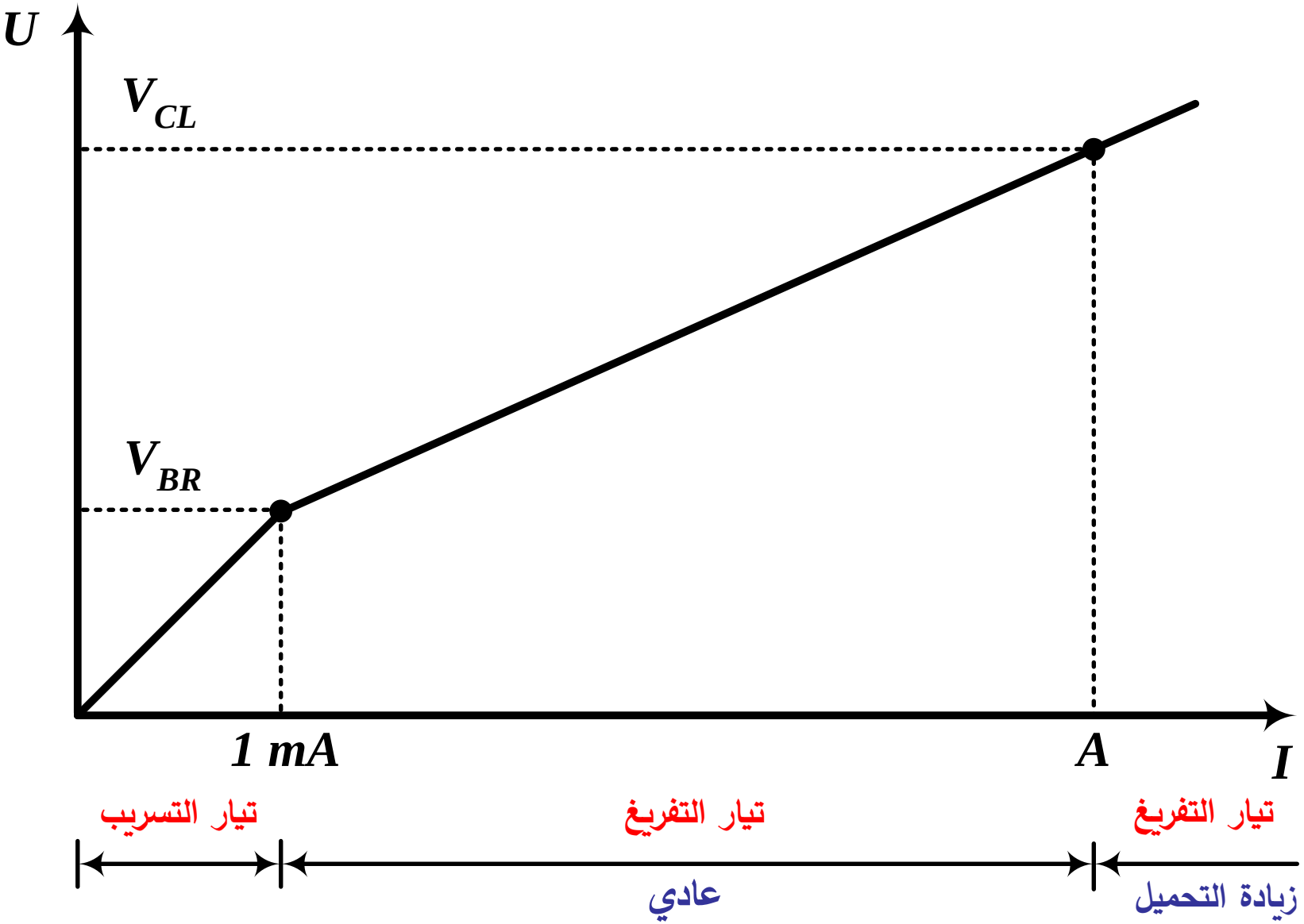
مقاومة متغيرة مصنوعة من أكاسيد التوتر أو كربيدات السيليسيوم ذات منحني (توتر–تيار) غير خطي (تنقل قيمة المقاومة كلما زاد التوتر).

شكل الفارستور

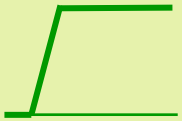


منحني التوتر التيار للفارستور

الديودات


U
V_{CL}
V_{BR}
1 mA
A
I
تيار التسريب
تيار التفريغ
تيار التفريغ
عادي
زيادة التحميل

القيم المميزة لعناصر الحماية من التوترات الزائدة

نوع العنصر	ثغرة هوائية	ثغرة غازية	ثغرة ذات انفراغات انزلاقية	فارستور	السوبر ديود
النوع					
زمن التفريغ	≈ 500 ns	≥ 100 ns	≥ 100 ns	< 25 ns	< 10 ps
توتر الانهيار	100 V...10 kV	> 100 V	> 100 V	20 ... 1000 V	< 200 V
التوتر المتبقي	≈ 0 V	> 10 V	> 10 V	20 ... 1000 V	= توتر الانهيار
تتار التفريغ النبضي	≤ 100 kA	~ 10 kA	~ 75 kA	≤ 5 kA	≤ 10 kA
الاستخدام	ثغرة فاصلة	لحماية العناصر الالكترونية	لتفريغ تيار الصاعقة (مفرغ تيار)	مفرغ توتر	مفرغ توتر

شكراً لحسن استماعكم