

Evaluation du champ magnétique dans les structures

L'évaluation de la capacité d'une structure, ou d'une zone à l'intérieur de la structure, à réduire le champ magnétique de la foudre est importante pour de nombreuses activités telles que les dépôts de munitions ou d'explosifs, les data centers, les installations nucléaires et surtout celles constituant la dernière barrière en cas de stress extrême.

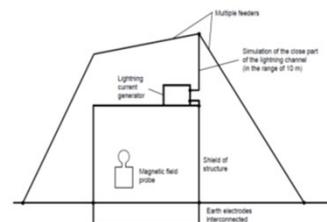
Cela peut avoir une influence directe sur la tenue des équipements ou sur le câblage connecté à un équipement. En effet, la norme IEC 62305-4 traite du calcul de la tension induite dans une boucle du fait de ce champ magnétique, et cette tension appelée U_i s'ajoute au niveau de protection effectif du parafoudre U_p/f en diminuant ainsi son efficacité.

Cette tension U_i s'applique sur la boucle d'un seul circuit ou entre deux circuits..

Jusqu'à présent, il y avait plusieurs façons d'obtenir ce champ magnétique de foudre à l'intérieur de la structure et de calculer la tension générée sur le câblage.

- Modélisation 2D ou 3D à l'aide de logiciels: cela peut se faire grâce à des logiciels industriels ou à des outils universitaires mais le temps à consacrer à la réalisation du modèle et des simulations ainsi qu'à la validation du logiciel présente des limites.
- Utilisation des méthodes analytiques proposées par la IEC 62305-4: il y a aussi des limitations car cela ne s'applique qu'à quelques cas et en plus, près du mur le calcul n'a plus de sens alors que dans la plupart des cas, le câblage est situé sur le mur.
- Effectuer une mesure directe du champ magnétique à l'intérieur de la structure comme proposé par la IEC 62305-4: les champs magnétiques à l'intérieur des structures blindées peuvent également être déterminés expérimentalement à l'aide d'un générateur de courant de foudre de niveau de courant inférieur mais avec la même forme d'onde représentative de la décharge de foudre réelle.

Cependant, rien n'est dit sur les exigences relatives à la chaîne de mesure et sur la manière de conduire le test dans la pratique.



Arrangement d'essais selon la IEC 62305-4



Chaîne de mesure

1. Processus de mesure

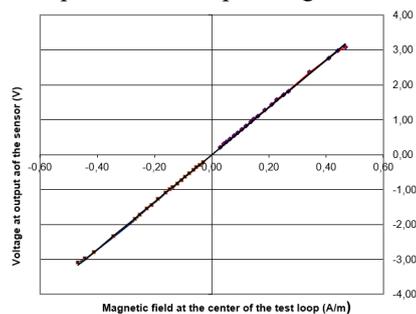
Le courant de choc d'un générateur (en forme d'onde 8/20 μ s) est injecté soit directement dans le circuit du SPD ou des composants naturels (ferrailage béton, structure métallique...) soit à distance de la paroi grâce à un fil (ou une boucle) vertical. Il permet de traiter à la fois des situations de foudre directe et de choc de foudre à distance. Ce qui est important, c'est le front de l'onde et une onde 8/20 μ s est alors similaire à une 10/350 μ s. L'utilisation d'un courant injecté de faible intensité est importante pour la sécurité. Pour garder la possibilité d'injecter du courant entre deux points de la structure situés à une distance de quelques mètres voire plus de dix mètres tout en conservant une valeur de courant acceptable, il a été nécessaire de développer en interne un câble à faible inductance. Le générateur de choc a besoin d'une source d'alimentation monophasé+Terre qui peut provenir de la structure, d'un tableau de chantier ou même d'un groupe électrogène portable. Le système de mesure est complètement autonome et utilise des batteries embarquées qui durent 2 jours, permettant une charge tous les soirs si nécessaire.

2. Spécification de la chaîne de mesure

Comme la plupart des besoins concernent les bâtiments spécifiquement conçus pour une atténuation de champ élevée, et en raison du courant injecté relativement faible, il a été nécessaire de développer une chaîne de mesure très sensible comprenant un capteur 3D et un circuit d'amplification connecté à un oscilloscope portable. Le capteur a été développé pour atteindre une sensibilité de 0,05 A / m mais sa sensibilité réelle est bien inférieure, grâce à un circuit spécial sans bruit et blindé. Le capteur comprend 3 boucles de mesure orthogonales pour obtenir le champ H dans trois directions sans avoir à orienter le capteur dans une direction différente pour chaque test. Le capteur est situé sur un trépied pour fixer sa hauteur (si nécessaire pour un test particulier, il est également possible de fixer l'orientation). Le circuit d'amplification comprend également un circuit de déclenchement de l'oscilloscope.



Operateur installant le capteur sur son trépied



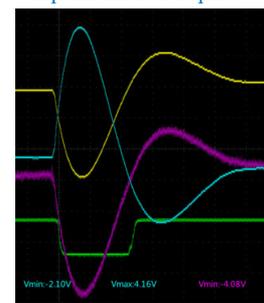
Essais de linéarité sur un des axes

3. Validation de la chaîne de mesure

Des tests en laboratoire ont été réalisés pour évaluer la linéarité, la précision et la réponse en fréquence de la chaîne.

- Résolution: 0,005 A / m
- Plage de mesure du champ magnétique: 0,005 à 0,6 A / m,
- Erreur de linéarité: <7%

D'autres tests ont été effectués sur le terrain pour comparer les valeurs mesurées aux valeurs calculées.



Enregistrement typique du champ magnétique sur 3 axes

Magnetic field evaluation in structures

Evaluating the ability of a structure, or a zone inside the structure, to reduce the lightning magnetic field is important for many activities such as ammunition or explosive depot, data center, nuclear installations and especially those providing the last barrier in case of extreme stress.

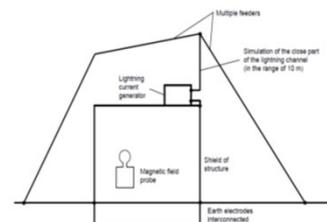
This can have an influence directly on equipment withstand or on the cabling connected to an equipment. Indeed, standard IEC 62305-4 addresses the need to calculate the voltage induced in a loop due to this magnetic field, and this voltage called U_i is added to the effective protective level of the SPD $U_{p/f}$, that reduces the SPD efficiency.

This voltage U_i applies on the loop form by a single circuit or between two circuits.

So far there were a few ways to obtain this lightning magnetic field inside structure and calculate the voltage generated on cabling.

- 2D or 3D modelling using software: this may be done thanks to industrial software or university tools but in both cases, the time to spend to make the model and simulations and as well as the validation of the software may bring limitations.
- Using analytical methods proposed by IEC 62305-4: there are also limitations because this only apply to a few cases and in addition, there is a safety limit near the wall where the calculation has no more meaning. In most of the cases, the cabling is located on the wall, exactly where calculation is no more possible.
- Perform a direct measurement of the magnetic field generated inside the structure as proposed by IEC 62305-4: the magnetic fields inside shielded structures can also be determined by taking experimental measurements using a lightning current generator of lower current level but with the same representative waveshape as the actual lightning discharge.

However, nothing is said about the requirements for the measuring chain and how to conduct the test in practice.



Test arrangement according to IEC 62305-4



Measuring chain

1. Measuring process

The surge current from a generator (8/20 μ s waveshape) is injected either directly in the LPS circuit or natural components (rebars, metal structure ...) or at a distance from the wall thanks to a vertical wire (or loop). It allows to address both direct lightning and remote lightning situations.

What is important is the front of the waveshape and a 8/20 μ s is then similar to a 10/350 μ s or even a little more severe. Using a low magnitude injected current is also important for safety.

To keep the possibility to inject current between two points of the structure located at a distance of a few meters or even more than ten meters and still keep an acceptable magnitude of current, it has also been necessary to develop an in-house low inductive cable.

The impulse generator needs a P+N+PE power source that may come from the structure, an auxiliary power cabinet used generally for the building construction stage or even a portable power generator.

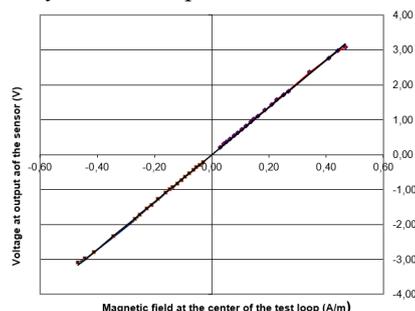
The measuring system is completely autonomous and used embedded batteries that last for 2 days and the charging system, allowing a charging every night if necessary.

2. Specification of the measuring chain

Due to the fact that most of the need for such magnetic field evaluation is for buildings that are specifically designed for high field attenuation, and due to the relatively low current injected, it was necessary to develop a very sensitive measuring chain that includes a 3D sensor and an amplification circuit connected to a portable oscilloscope. The sensor was developed to reach a sensitivity of 0.05 A/m but at the end the real sensitivity was much lower than that, thanks to a special shielded noise free circuit. The sensor incorporates 3 orthogonal measuring loops to obtain the H field in three direction without the burden of orienting the sensor in a different direction for each test. The sensor is located on a tripod to fix its height (if needed for a particular test, it is also possible to fix the orientation). For an easy use, the amplification circuit includes also a triggering circuit for the oscilloscope.



Operator installing the sensor on its tripod



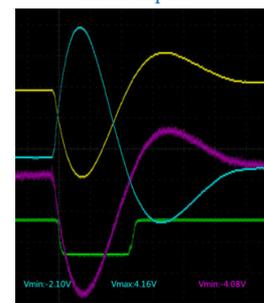
Linearity test on one axis

3. Validation of the measuring chain

Laboratory tests have been performed to evaluate the linearity, the accuracy and the frequency response of the chain.

- Resolution: 0,005 A / m
- Range of magnetic field measurement: 0,005 to 0,6 A/m,
- Linearity error: < 7%

Other tests have been made in field to compare measured values to calculated values.



Typical recording of 3 axis magnetic field