

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 57 (1979)

Heft: 9

Artikel: Surtensions dues aux décharges atmosphériques dans les équipements électriques établis dans des construction en béton armé : recommandations pour une protection optimale

Autor: Montandon, Eric

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-875569>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Surtensions dues aux décharges atmosphériques dans les équipements électriques établis dans des constructions en béton armé. Recommandations pour une protection optimale¹

Eric MONTANDON, Berne

621.316.93:621.316.99:621.317.326:624.97

Blitzbedingte Überspannungen an elektrischen Einrichtungen in Stahlbetonbauten mit und ohne leitende Metallverkleidung

Zusammenfassung. Räumlich ausgedehnte elektronische Einrichtungen sind auch im Innern eines Gebäudes Überbeanspruchungen infolge Spannungsdifferenzen zwischen verschiedenen Punkten des Gebäudeerdungssystems (Armierung usw.) ausgesetzt. Besonders gefährdet sind Anlagen, die an mehreren Punkten an «Erde» gelegt sind. Mit einer aufgrund eingehender Modellversuche in der Abteilung Forschung und Entwicklung der Schweizerischen PTT-Verwaltung erarbeiteten Messmethode ist es nun gelungen, sowohl den gebäudeinternen Spannungsabfall als auch die Grösse seiner Beeinflussung durch eine metallische Gebäudeverkleidung messtechnisch zu erfassen. Umfangreiche Messungen wurden an einem neuerstellten Mehrzweck-Sendegebäude der PTT durchgeführt.

Résumé. A l'intérieur d'un bâtiment, les équipements électroniques de grandes dimensions sont parfois exposés à des surintensités, en raison des différences de potentiel entre les divers points de mise à terre de la construction (fers d'armature, etc.). Les installations mises à la «terre» en plusieurs points sont particulièrement exposées au danger. Grâce à une méthode de mesure élaborée à la suite d'essais prolongés sur un modèle, à la Division des recherches et du développement de l'Entreprise des PTT suisses, on est parvenu à mesurer aussi bien la chute de tension à l'intérieur du bâtiment que la grandeur de l'influence qu'exerce sur elle le revêtement métallique. Des mesures très poussées ont été effectuées sur un nouveau bâtiment d'émetteurs à usages multiples des PTT.

Sovratensione dovuta a scariche atmosferiche negli impianti elettrici ubicati in costruzioni di cemento armato con o senza rivestimento metallico

Riassunto. All'interno di uno stabile anche impianti elettronici di grandi dimensioni sono molte volte esposti a sovratensione, a cagione di differenze di potenziale tra i diversi punti di messa a terra della costruzione (ferri d'armatura, ecc.). Gli impianti «messi a terra» in diversi punti sono specialmente esposti a questo pericolo. Grazie a un metodo di misurazione sviluppato durante estese prove con un modello alla Divisione ricerche e sviluppo dell'Azienda svizzera delle PTT, si può ora misurare sia la caduta di tensione all'interno dell'edificio, sia il grado di influsso esercitato sulla caduta di tensione da parte di un rivestimento metallico. Vaste misurazioni sono state effettuate sul nuovo edificio d'emissione a scopi multipli delle PTT.

1 Introduction

Depuis l'introduction d'une technique des télécommunications plus sophistiquée, les PTT doivent accorder plus d'importance à la protection contre les surtensions, s'ils veulent éviter les dommages et les interruptions de service indésirables. Ainsi, pour exploiter sûrement des installations émettrices et réceptrices aux emplacements exposés à la foudre, il faut non seulement planifier exactement le système de mise à terre mais aussi être à même d'en mesurer l'efficacité.

2 Méthode de mesure

Lorsqu'une décharge atmosphérique tombe sur une maison-tour, elle engendre un courant qui parcourt les conducteurs destinés à l'amener à la terre (armature du béton, façade métallique, etc.). Or, ce courant produit également une chute de tension sur les conducteurs installés à l'intérieur du bâtiment, qui ne sont pas parcourus par le courant dû à la foudre.

La qualité de l'effet d'écran propre aux structures de dérivation du courant dû à la foudre exerce une influence sur le couplage avec les conducteurs intérieurs. Pour mesurer ce couplage, on peut appliquer au bâtiment un courant à fréquence variable qu'on prélève à une source de courant *extérieure* au bâtiment et mesurer la chute de tension qui se produit à l'intérieur de celui-ci. Des expériences pratiques faites sur des installations des PTT en service en Suisse ont montré que le circuit de mesure à haute résistance est extrêmement sen-

sible aux tensions perturbatrices engendrées par des installations établies à l'intérieur du bâtiment, même lorsqu'on procède à des mesures très sélectives.

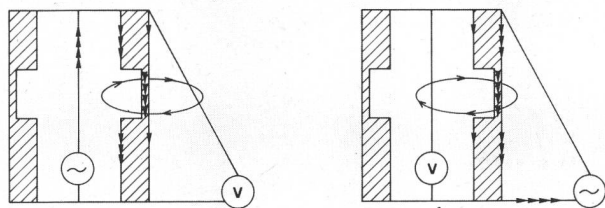
On peut parer à cet inconvénient en appliquant la loi de réciprocité (valable pour les réseaux linéaires passifs), c'est-à-dire en intervertissant le circuit de mesure et le circuit d'alimentation. De nombreux essais sur des modèles ont montré que cette loi était utilisable en pratique à des fins de mesure [1].

Lorsque les objets mesurés aux PTT sont des constructions en béton armé quasi cylindriques revêtues d'une carapace de tôles métalliques plus ou moins bien reliées entre elles, on peut assimiler le revêtement à un grand tube. En ce cas, les discontinuités du «tube» dues aux fenêtres et les ponts constitués par les fils de raccordement, les connexions vissées, les points de soudure, etc. ont une influence prépondérante sur les résultats de mesure, qui est cependant la même dans les deux méthodes (fig. 1).

3 Mesures effectuées en pratique sur une nouvelle installation à usages multiples des PTT

On désirait essayer la méthode de mesure sur un bâtiment réel et déterminer en même temps par des mesures l'influence du revêtement métallique sur l'impédance de couplage, ainsi que la valeur absolue de cette dernière. Pour cela, des dispositions furent prises au stade du projet de la construction d'un nouveau bâtiment, afin qu'il soit possible de réaliser les essais pendant la phase de construction dans des conditions parfaitement définies.

¹ Traduction de l'exposé présenté en anglais au 3^e Symposium de la Compatibilité électromagnétique, Rotterdam 1979



Mesure à l'extérieur
Circuit d'alimentation à l'intérieur

Mesure à l'intérieur
Circuit d'alimentation à l'extérieur

Fig. 1
Interaction électromagnétique entre les conducteurs d'un bâtiment

Fig. 3 ►
Vue sur le toit du bâtiment (environ 25 m au-dessus du sol). Le premier élément du pylône est monté. Les rubans sur la balustrade connectent les fers du béton armé avec la grille sur le toit

La *figure 2* montre la partie ressemblant à une tour du bâtiment considéré, au stade du gros œuvre, c'est-à-dire sans revêtement métallique et peu avant la première série de mesures. Pour assurer une répartition aussi uniforme que possible du courant, on a monté, dès le début des essais, le premier élément du mât d'acier dominant l'ensemble et on l'a relié définitivement avec l'armature du bâtiment au moyen de rubans soudés (*fig. 2 et 3*).

Une autre mesure visant à obtenir une bonne répartition du courant consista à monter également les tôles de la balustrade avant la réalisation de la première série des mesures. On souda ensuite ces tôles avec le grillage des fers d'armature du toit et avec le premier élément du mât (*fig. 4*). Dès la première série de mesures terminée, la façade fut habillée de tôles Cor-Ten qui furent soudées entre elles et avec l'armature du bâtiment, selon les plans de détail (*fig. 5*).

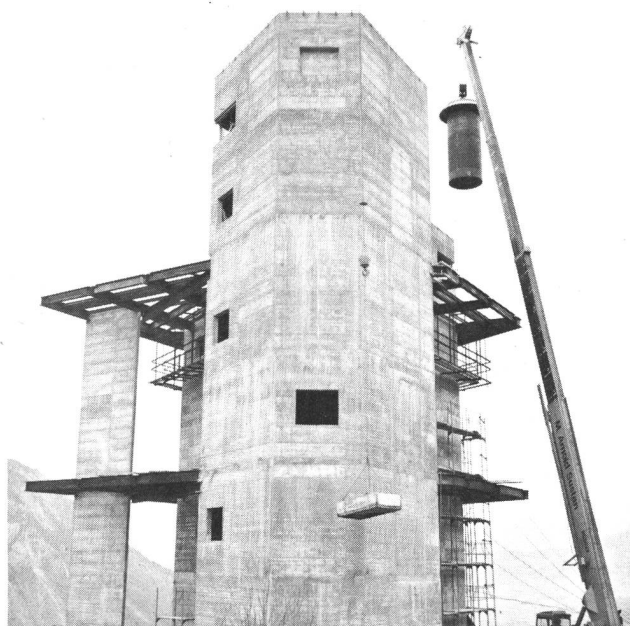
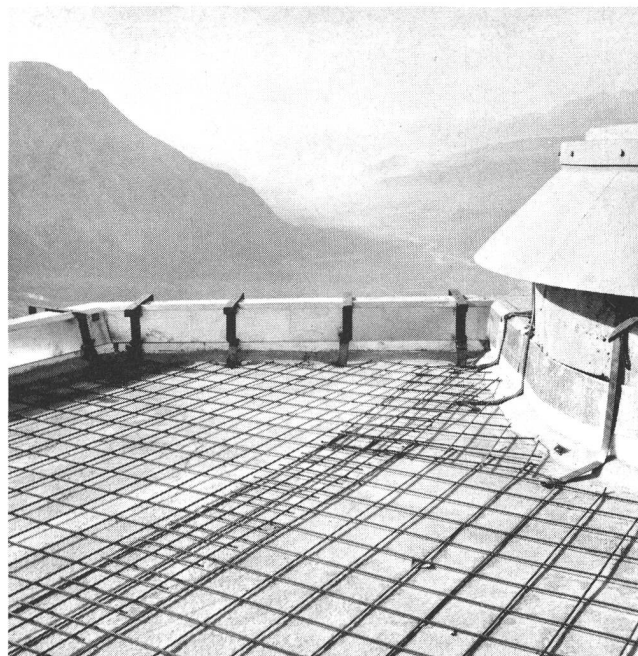


Fig. 2
Montage du premier élément du pylône



Lors de la deuxième série de mesures, la répartition du courant ne fut, de ce fait, influencée que par le revêtement de tôles supplémentaire, ce qui signifie que les résultats de la deuxième série de mesure comparés à ceux de la première montrent l'influence manifeste du revêtement métallique sur l'impédance du bâtiment.

Pour analyser l'influence perturbatrice due à des conducteurs posés et mis à la terre différemment, on a effectué plusieurs séries de mesures en branchant le générateur de courant HF directement ou par l'intermédiaire d'un transformateur de séparation et en examinant également les effets dus à la ligne téléphonique qui, du point de vue de la mise à terre, est « isolée » (*fig. 6 et 7*).

Toutes ces mesures ont été réalisées à l'aide de la voiture de mesure, isolée par rapport à la terre et stationnée à 20 m du bâtiment.

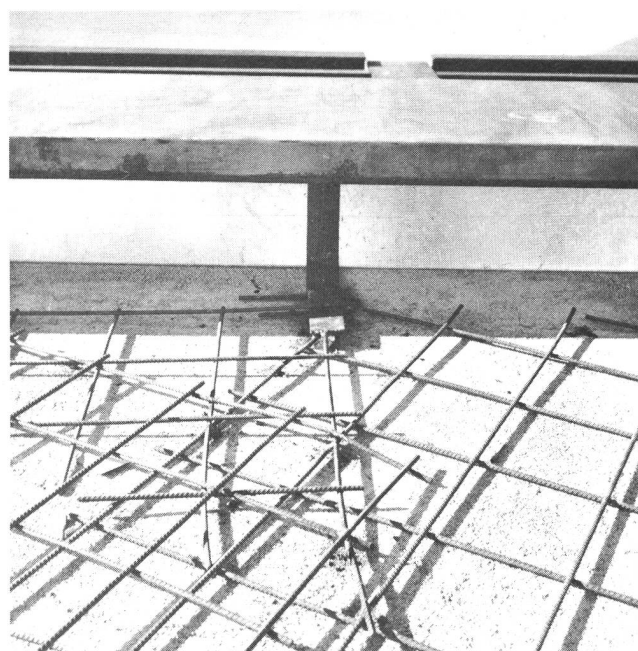


Fig. 4
Détail de la balustrade après le montage du revêtement

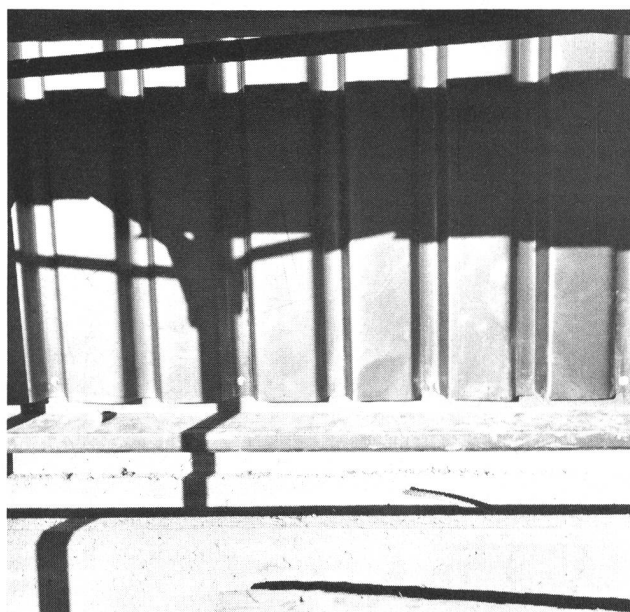


Fig. 5
Détail de la façade revêtue de tôles

4 Réalisation pratique des mesures

La figure 6 montre le dispositif de mesure utilisé pour la méthode dite du «circuit d'alimentation à l'intérieur et circuit de mesure à l'extérieur». Le courant d'alimentation sinusoïdal circulait uniquement à l'intérieur du bâtiment. Le conducteur d'alimentation était relié à la partie

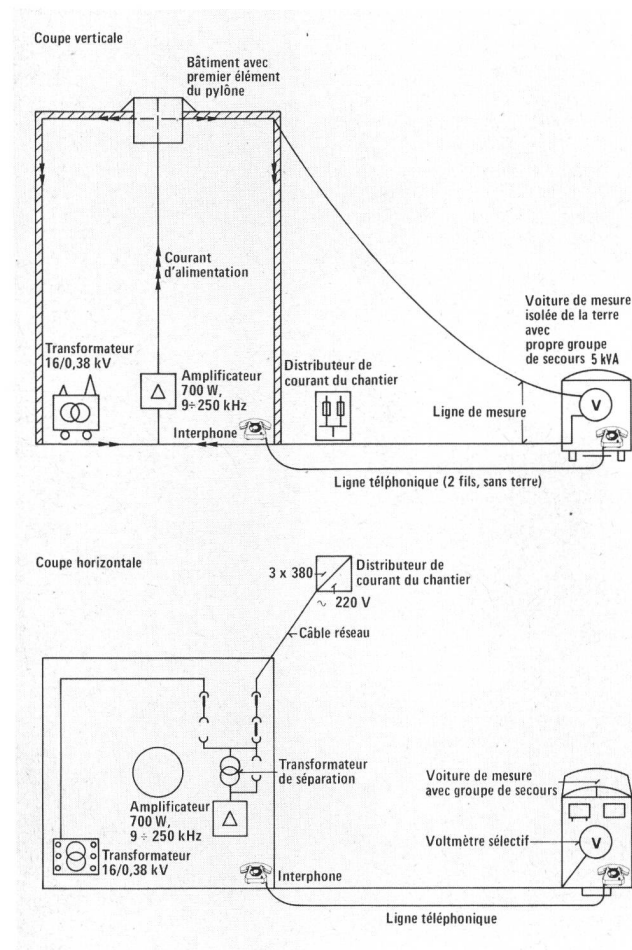


Fig. 6
Principe de la méthode du circuit d'alimentation à l'intérieur et du circuit de mesure à l'extérieur

supérieure et à l'intérieur du premier élément de mât de la tour d'antennes. La voie de retour du courant passait par l'impédance du bâtiment (armature avec ou sans revêtement métallique) et par une plaque de terre en acier soudée à l'armature, au centre de laquelle était relié le conducteur de retour du générateur de courant haute fréquence.

Pour comparer les résultats de la méthode «circuit d'alimentation à l'intérieur et circuit de mesure à l'extérieur» à ceux de la méthode «circuit de mesure à l'intérieur et circuit d'alimentation à l'extérieur», on se borna à intervertir les appareils sans rien changer à la disposition des conducteurs. Le circuit d'alimentation devint ainsi le circuit de mesure et vice versa (fig. 7).

41 Grandeurs du courant d'alimentation et de la tension de mesure, limites des mesures

L'intensité du courant d'alimentation sinusoïdal était d'environ 10...15 A pour les fréquences allant jusqu'à 30 kHz et de 5 A pour les fréquences supérieures à 30 kHz. Ces valeurs permettaient d'engendrer encore une tension d'environ 0,3 mV sur toute la hauteur du bâtiment, même à l'endroit où son impédance était la plus basse. La limite de mesure inférieure du voltmètre était située vers 0,1 mV pour une largeur de bande de 200 Hz. Pour contrôler les instruments de mesure utilisés et les résultats correspondants en régime sinusoïdal, on réalisa des mesures avec un *courant de choc* et un courant continu selon le dispositif représenté à la figure 6.

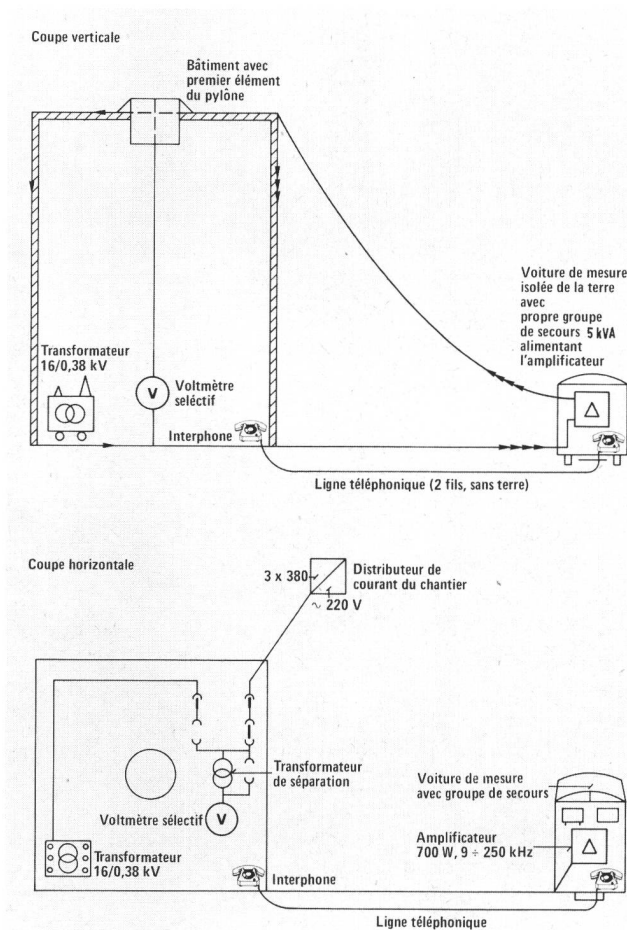


Fig. 7
Principe de la méthode du circuit d'alimentation à l'extérieur et du circuit de mesure à l'extérieur

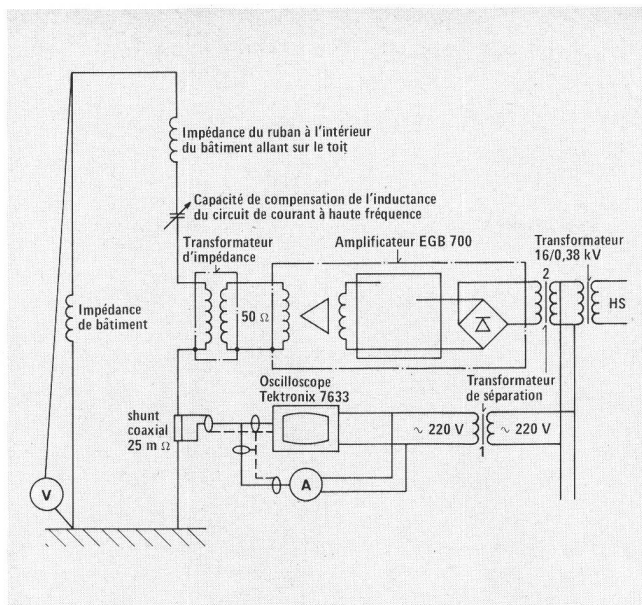


Fig. 8
Schéma du circuit de courant à haute fréquence avec dispositif d'alimentation de l'amplificateur

42 Schéma du circuit d'alimentation

La figure 8 montre le schéma du circuit d'alimentation, y compris l'alimentation du générateur de courant haute fréquence et des appareils de mesure enregistrant l'amplitude et l'allure de la courbe du courant haute fréquence.

Le choix de la terre de référence pour les appareils revêt une importance prépondérante. Il faut veiller à ce que le raccordement des instruments de mesure ne modifie ni l'amplitude, ni l'allure du courant. Il est de ce fait nécessaire que tous les boîtiers des appareils soient au même potentiel à tout instant. Ce potentiel doit être si faible par rapport à l'alimentation réseau et à la personne effectuant la mesure que, si celle-ci touche les instruments de mesure, les résultats ne soient pas influencés. Ces conditions sont remplies lorsque les appareils sont groupés en étoile et mis à la terre au shunt de mesure à basse résistance. En plus de cela, le générateur de courant haute fréquence et les ampèremètres haute fréquence doivent être séparés à la fois entre eux et du réseau à 220 V par des transformateurs de séparation (fig. 8). Le potentiel du boîtier par rapport au potentiel de la plaque de terre n'augmente que du montant de la chute de tension aux bornes du shunt, l'influence capacitive à travers les transformateurs de séparation et l'influence ohmique par la personne qui dessert les instruments étant les plus faibles.

43 Schéma du circuit de mesure (fig. 9)

Ici également, le genre de la mise à terre du circuit de mesure joue le rôle le plus important. Seul le potentiel de la plaque de mise à terre est considéré comme terre de référence.

Les lignes de mesure ont été reliées au sommet et au bas du bâtiment à l'extérieur. La flèche de la ligne de mesure par rapport au toit n'avait pratiquement aucune influence sur la tension mesurée. On avait établi la place de mesure dans un véhicule spécial, entièrement isolé du sol, qui contenait son propre générateur de courant

de secours. Durant les mesures, la personne qui desservait les instruments se trouvait dans la voiture; elle était, de ce fait, placée au même potentiel que les instruments. La capacité de 80 pF suffisait à supprimer les influences perturbatrices de champs éloignés, dont l'effet sur le signal utile était négligeable.

44 Influence exercée par les conducteurs quittant l'intérieur du bâtiment sans blindage

Le couplage entre le circuit de mesure et le circuit d'alimentation ne dépend pas seulement de l'effet d'écran du bâtiment proprement dit, mais aussi des conducteurs qui y sont introduits. Vu que la grandeur du couplage par de tels conducteurs résulte de leur géométrie et de leur mode de raccordement (galvanique, inductif, capacitif), on en est réduit à déterminer le rapport de leur influence sur le couplage du bâtiment non revêtu au couplage du bâtiment revêtu. Pour cela, il faut bien entendu utiliser les mêmes conducteurs en tant que «conducteurs perturbateurs» pour les deux séries de mesures. Il s'agissait en l'occurrence de:

- la ligne téléphonique à deux fils sans terre, posée parallèlement à la ligne de mesure
- la ligne d'amenée du réseau partant du distributeur de courant de chantier (câble à 5 conducteurs, conducteur du neutre mis à la terre dans le distributeur), qui alimentait au choix le générateur de courant haute fréquence, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un transformateur de séparation (fig. 6 et 7).

Pour ce qui est de l'état «sans conducteur perturbateur», on utilisa la station de transformation à l'intérieur du bâtiment en tant que source d'énergie. Le câble d'amenée de la haute tension (câble sous gaine de plomb) est posé dans une canalisation de fer fermée, soudée au revêtement du bâtiment.

La ligne téléphonique à deux fils a été remplacée par une liaison radio.

5 Résultats des mesures

Pour plus de clarté, les principaux résultats des examens sont représentés à la figure 10.

Les valeurs d'impédance obtenues par les mesures ont été transposées par calcul en valeurs de tension par

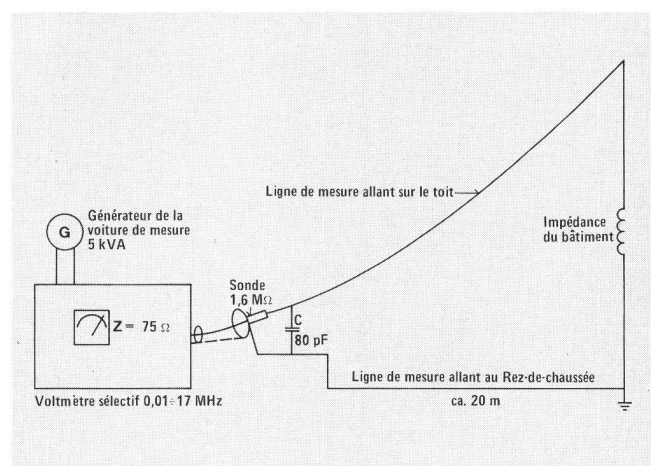


Fig. 9
Schéma du circuit de mesure

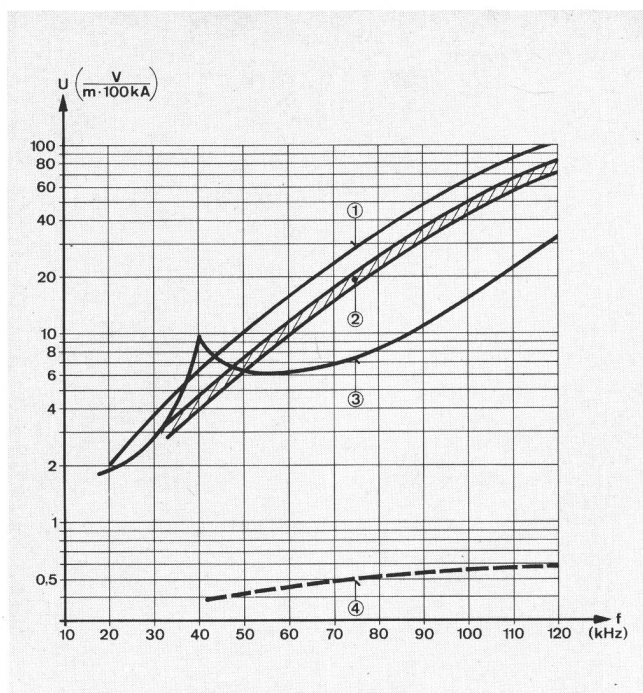


Fig. 10
Chute de tension en volt par mètre de hauteur du bâtiment, en fonction de la fréquence, pour un courant d'une valeur de crête de 100 kA

mètre de hauteur du bâtiment, en fonction de la fréquence, pour un courant de crête de 100 kA. Les courbes de la figure 10 montrent les chutes de tension à l'intérieur du bâtiment dans les conditions suivantes :

Courbe 1: bâtiment non revêtu, alimentation réseau prélevée au distributeur de courant de chantier sans blindage, avec ligne téléphonique

Remarque: la sortie de l'amplificateur est galvaniquement séparée du réseau (fig. 8)

Courbe 2: bâtiment non revêtu, alimentation réseau par l'intermédiaire d'un câble blindé

Remarque: même résultat avec ou sans ligne téléphonique

Courbe 3: bâtiment revêtu, alimentation réseau prélevée au distributeur de courant de chantier sans blindage, avec ligne téléphonique

Courbe 4: bâtiment revêtu, alimentation réseau par l'intermédiaire d'un câble blindé (station de transformation interne en service), sans ligne téléphonique

51 Discussion des résultats

Vu que la valeur de crête du courant d'un éclair ayant une raideur de front de 50 kA/μs « Golde (1977) » se situe entre 80 et 100 kA, il est possible de calculer la fréquence équivalente d'un courant d'éclair selon la formule

$$f \cong \frac{di}{dt} \cdot \frac{1}{2\pi I} \approx 120 \dots 80 \text{ kHz}$$

Si l'on compare les courbes 1 à 4 pour une fréquence de 120 kHz, on s'aperçoit que, pour les introductions de conducteurs non blindées (courbes 1 et 3), l'efficacité du revêtement de tôle n'équivaut qu'à un facteur 4. L'influence du blindage des conducteurs est faible pour le bâtiment non revêtu. Elle s'élève au maximum à 50 %.

En revanche, lorsque le bâtiment est revêtu, l'influence d'une introduction de lignes blindée est considérable (facteur 16 entre les courbes 3 et 4).

La courbe 4 montre donc la plus faible chute de tension possible rencontrée en pratique à l'intérieur d'un bâtiment (des résultats analogues ont du reste été mentionnés par Habinger [3]. Il faut cependant remarquer que cette courbe présente un accroissement de la tension linéaire en fonction de la fréquence, c'est-à-dire que l'inductance de couplage est constante ($10 \cdot 10^{-12}$ H/m).

Il est extrêmement significatif de relever que la courbe 4 pour une alimentation à l'intérieur et une mesure à l'extérieur a pratiquement la même allure que celle relevée avec une alimentation à l'extérieur et une mesure à l'intérieur.

Avec la procédure de mesure inverse (mesure à l'extérieur/alimentation à l'intérieur), la courbe s'est déplacée d'un facteur 1,5 vers le bas.

La mesure de choc avec une oscillation périodiquement amortie (environ 1,3 kHz) et un courant d'une valeur de crête de 24 kA conduisit, après transposition par calcul pour 100 kA, à une valeur de chute de tension de 0,13 V/m, lorsque le bâtiment est revêtu, et d'environ 3,2 V/m, quand le bâtiment n'est pas revêtu.

La résistance en courant continu mesurée dans le cas du bâtiment revêtu s'éleva à $1,5 \cdot 10^{-6} \Omega/\text{m}$, ce qui correspond à une tension de 0,15 V/m pour 100 kA.

La comparaison des mesures en courant continu à celles avec courant de choc et aux mesures sinusoïdales dans la plage des fréquences inférieures, montre que l'origine des courbes sinusoïdales est correcte et que les valeurs sinusoïdales peuvent être considérées comme des valeurs absolues.

6 Recommandations

En se fondant sur les valeurs de la figure 10, on a établi le tableau I à l'usage du praticien.

En fixant la valeur limite de la surtension admissible à 600 V (tension asymétrique) pour les systèmes électroniques mis à la terre en plusieurs points et à 1500 V (tension symétrique) pour les systèmes mis à la terre en un seul point, on a cherché à optimiser l'importance des différentes mesures à prendre, tant au point de vue de la construction, qu'à ceux des installations inférieures et des appareils. De ce fait, les équipements électroniques reliés à de longues lignes à l'intérieur du bâtiment devraient supporter sans dommage les tests de tension suivants :

Système mis à la terre en plusieurs points

– Essai de choc

Valeur de crête de la tension en marche à vide

800 V | 500 V

Forme du choc

1,2/50 μs | 10/700 μs

Succession des chocs

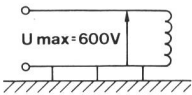
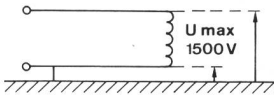
5 chocs positifs et 5 chocs négatifs à un intervalle de 15 s

Systèmes mis à la terre en un seul point

– Essai avec tension alternative :

1 kV_{eff}, 50 Hz pendant une minute contre terre. (Les échantillons seront isolés de la terre pendant l'essai)

Tableau I. Bâtiment abritant des installations électroniques

	Hauteur admissible du bâtiment ou longueur maximale des conducteurs verticaux, compte tenu d'une décharge atmosphérique d'une raideur de front de 50 et 100 kA/μs			
Surtension maximale résultante suivant le genre de système	Système avec mise à terre multiple 		Système avec mise à terre en un point 	
Genre de bâtiment	<i>Colonne 1</i> 50—100 kA/μs [m]	<i>Colonne 2</i> 25—50 kA/μs [m]	<i>Colonne 3</i> 50—100 kA/μs [m]	<i>Colonne 4</i> 25—50 kA/μs [m]
① Béton armé ② Béton armé avec canaux d'ascension revêtus ③ Béton armé avec façade extérieure conductrice et aménagement rationnel des conducteurs à l'intérieur	10 40 600	20 80 1200	25 100 1500	50 200 3000
Remarques	Stations de points hauts Eventuellement centres très importants du Plateau Système usuel jusqu'ici		Système utilisé isolément Genre de bâtiment ③ à peine encore nécessaire	

- Essai de choc pour équipements reliés à des conducteurs toronnés par paires
 Valeur de crête 100 V
 Forme du choc: 1,2/50 μs, succession de chocs: 5 chocs positifs et 5 chocs négatifs à un intervalle de 15 s
- Essai de choc pour équipements reliés à des conducteurs toronnés par paires et protégés par des parasurtensions mis à la terre ou pour les équipements qui *ne* sont *pas* reliés à des conducteurs toronnés par paires
 Comme pour les systèmes mis à la terre en plusieurs points

(Les essais doivent être réalisés avec les impédances intrinsèques possibles en état d'exploitation.)

7 Conclusions

Les essais entrepris ont montré qu'il était aussi possible de protéger efficacement les équipements électro-

niques contre la foudre lorsque la conception de l'installation protectrice est étudiée soigneusement au stade de la planification déjà. Il s'agit alors de coordonner les mesures nécessaires sur le plan de la construction, des installations intérieures et des appareils. En cas d'absence ou d'inoobservation d'une telle conception, il faut toujours s'attendre, lors de la mise en service d'une installation, à des difficultés auxquelles on ne peut alors parer que par des solutions partielles peu satisfaisantes. Dans certains cas, il peut même être nécessaire d'assainir entièrement l'installation de protection défectueuse, ce qui est toujours lié à des frais considérables.

Bibliographie

- [1] Montandon E. und Utz W. Messmethode zur Ermittlung des internen Spannungsabfalls. Bern, Generaldirektion PTT, Abt. Forschung und Entwicklung, Bericht VL 25.089, 1976.
- [2] Montandon E. Blitzbedingte Ueberspannungen in Stahlbetonbauten. Bern, Generaldirektion PTT, Abt. Forschung und Entwicklung, Bericht VD 24.079, 1978.
- [3] Habinger A. Blitzschutz von Gebäuden mit elektronischen Einrichtungen. Gdansk, 14. Internationale Blitzschutzkonferenz R-3.02.
- [4] Golde R. H. Lightning. London, Academic Press (1977) Vol. 1.

Die nächste Nummer bringt unter anderem

Vous pourrez lire dans le prochain numéro

10/79

K. Bernath	Grundrichtungen der Entwicklung in der Fernsehtechnik
E. Reidy	Neues Betriebskonzept für die automatische Stadtröhrepost Basel mit Nennweite 100 mm
H. Fischer	Solarzellen für Raumfahrt und terrestrischen Einsatz Cellules solaires au silicium pour application spatiale et terrestre
K. Fischer	Sprech- und Datenfunkprobleme im Bahneinsatz Systèmes de radiotransmission de parole et de données pour les chemins de fer
A. Brunold	English part: Corrosion of Lead Sheathed Cables in Plastics Multiway Ducts (End)