



This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

(ITU) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجراه الضوئي بالمسح تصوير نتاج (PDF) الإلكترونية النسخة هذه والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلًا.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

CCITT

COMITÉ CONSULTATIF
INTERNATIONAL
TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE

LIVRE JAUNE

TOME IX

PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS

AVIS DE LA SÉRIE K

**PROTECTION DES ENVELOPPES DE CÂBLE
ET DES POTEAUX**

AVIS DE LA SÉRIE L



VII^e ASSEMBLÉE PLÉNIÈRE
GENÈVE, 10-21 NOVEMBRE 1980

Genève 1981



UNION INTERNATIONALE DES TÉLÉCOMMUNICATIONS

CCITT

COMITÉ CONSULTATIF
INTERNATIONAL
TÉLÉGRAPHIQUE ET TÉLÉPHONIQUE



LIVRE JAUNE

TOME IX

PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS

AVIS DE LA SÉRIE K

PROTECTION DES ENVELOPPES DE CÂBLE ET DES POTEAUX

AVIS DE LA SÉRIE L



VII^e ASSEMBLÉE PLÉNIÈRE
GENÈVE, 10-21 NOVEMBRE 1980

Genève 1981

ISBN 92-61-01182-9

**CONTENU DU LIVRE DU CCITT
EN VIGUEUR APRÈS LA SEPTIÈME ASSEMBLÉE PLÉNIÈRE (1980)**

LIVRE JAUNE

- Tome I**
- Procès-verbaux et rapports de l'Assemblée plénière.
Vœux et résolutions.
Avis sur:
 - l'organisation du travail du CCITT (série A);
 - les moyens d'expression (série B);
 - les statistiques générales des télécommunications (série C).Liste des Commissions d'études et les Questions mises à l'étude.
- Tome II**
- FASCICULE II.1 - Principes généraux de tarification - Taxation et comptabilité dans les services internationaux de télécommunications. Avis de la série D (Commission III).
 - FASCICULE II.2 - Service téléphonique international - Exploitation. Avis E.100 à E.323 (Commission II).
 - FASCICULE II.3 - Service téléphonique international - Gestion du réseau - Ingénierie du trafic. Avis E.401 à E.543 (Commission II).
 - FASCICULE II.4 - Exploitation et tarification des services de télégraphie et de «télématique».¹⁾ Avis de la série F (Commission I).
- Tome III**
- FASCICULE III.1 - Caractéristiques générales des communications et des circuits téléphoniques internationaux. Avis G.101 à G.171 (Commissions XV, XVI, CMBD).
 - FASCICULE III.2 - Systèmes internationaux analogiques à courants porteurs - Caractéristiques des moyens de transmission. Avis G.211 à G.651 (Commissions XV, CMBD).
 - FASCICULE III.3 - Réseaux numériques - Systèmes de transmission et équipement de multiplexage. Avis G.701 à G.941 (Commission XVIII).
 - FASCICULE III.4 - Utilisation des lignes pour la transmission des signaux autres que téléphoniques - Transmissions radiophoniques et télévisuelles. Avis des séries H et J (Commission XV).
- Tome IV**
- FASCICULE IV.1 - Maintenance; principes généraux, systèmes internationaux à courants porteurs, circuits téléphoniques internationaux. Avis M.10 à M.761 (Commission IV).
 - FASCICULE IV.2 - Maintenance des circuits internationaux pour la transmission de télégraphie harmonique ou de fac-similé - Maintenance des circuits internationaux loués. Avis M.800 à M.1235 (Commission IV).
 - FASCICULE IV.3 - Maintenance des circuits radiophoniques internationaux et transmissions télévisuelles internationales. Avis de la série N (Commission IV).
 - FASCICULE IV.4 - Spécifications des appareils de mesure. Avis de la série O (Commission IV).

¹⁾ Le terme «service de télématique» est provisoire.

Tome V – Qualité de la transmission téléphonique. Avis de la série P (Commission XII).

Tome VI

- FASCICULE VI.1 – Avis généraux sur la commutation et la signalisation téléphoniques – Interface avec le service maritime. Avis Q.1 à Q.118 *bis* (Commission XI).
- FASCICULE VI.2 – Spécifications des systèmes de signalisation N^{os} 4 et 5. Avis Q.120 à Q.180 (Commission XI).
- FASCICULE VI.3 – Spécifications du système de signalisation N^o 6. Avis Q.251 à Q.300 (Commission XI).
- FASCICULE VI.4 – Spécifications des systèmes de signalisation R1 et R2. Avis Q.310 à Q.480 (Commission XI).
- FASCICULE VI.5 – Centraux numériques de transit pour applications nationales et internationales – Interfonctionnement des systèmes de signalisation. Avis Q.501 à Q.685 (Commission XI).
- FASCICULE VI.6 – Spécifications du système de signalisation N^o 7. Avis Q.701 à Q.741 (Commission XI).
- FASCICULE VI.7 – Langage de spécification et de description fonctionnelles (LDS) – Langage homme-machine (LHM). Avis Z.101 à Z.104 et Z.311 à Z.341 (Commission XI).
- FASCICULE VI.8 – Langage évolué du CCITT (CHILL). Avis Z.200 (Commission XI).

Tome VII

- FASCICULE VII.1 – Transmission et commutation télégraphiques. Avis des séries R et U (Commission IX).
- FASCICULE VII.2 – Equipements terminaux pour les services de télégraphie et de «télématique».¹⁾ Avis des séries S et T (Commission VIII).

Tome VIII

- FASCICULE VIII.1 – Communication de données sur le réseau téléphonique. Avis de la série V (Commission XVII).
- FASCICULE VIII.2 – Réseaux de communications de données; services et facilités, équipements terminaux et interfaces. Avis X.1 à X.29 (Commission VII).
- FASCICULE VIII.3 – Réseaux de communications de données; transmission, signalisation et commutation, réseau, maintenance, dispositions administratives. Avis X.40 à X.180 (Commission VII).

Tome IX – Protection contre les perturbations. Avis de la série K (Commission V). Protection des enveloppes de câble et des poteaux. Avis de la série L (Commission VI).

Tome X

- FASCICULE X.1 – Termes et définitions.
- FASCICULE X.2 – Index du Livre jaune.

¹⁾ Le terme «service de télématique» est provisoire.

TABLE DES MATIÈRES DU TOME IX DU LIVRE JAUNE

Partie I – Avis de la série K

Protection contre les perturbations

N° de l'Avis		Page
K.1	Mise à la terre d'un circuit téléphonique à fréquences vocales en câble	3
K.2	Protection des systèmes de téléalimentation des répéteurs contre les perturbations dues aux lignes électriques voisines	4
K.3	Troubles provoqués par des signaux à fréquences vocales injectés dans un réseau de distribution d'énergie	4
K.4	Perturbations causées à la signalisation	4
K.5	Emploi conjoint de poteaux pour les télécommunications et pour la distribution d'électricité	5
K.6	Précautions à prendre aux croisements	5
K.7	Dispositifs de protection contre les chocs acoustiques	7
K.8	Séparation, dans le sol, des installations de télécommunications et des installations de transport d'énergie	8
K.9	Protection du personnel et des installations de télécommunications contre un gradient de potentiel élevé dans le sol, dû à une ligne de traction électrique voisine	10
K.10	Dissymétrie des installations de télécommunications	11
K.11	Protection contre les surtensions	11
K.12	Spécifications concernant les conditions auxquelles doivent satisfaire les parafoudres comportant des électrodes dans une atmosphère gazeuse et destinés à la protection des installations de télécommunications	15
K.13	Tensions induites dans les câbles à conducteurs isolés au moyen de matière plastique	28
K.14	Emploi d'un écran métallique sur les câbles à revêtement en matière plastique	29
K.15	Protection des installations de téléalimentation et des répéteurs de ligne contre les coups de foudre et les perturbations dues aux lignes électriques voisines	30
K.16	Méthodes simplifiées de calcul pour évaluer les effets d'induction magnétique des lignes électriques sur les répéteurs téléalimentés des systèmes de télécommunications sur paires coaxiales	33
K.17	Essais à exécuter sur des répéteurs téléalimentés à composants à état solide pour vérifier l'efficacité des mesures de protection contre les perturbations extérieures	55
K.18	Méthode de calcul des tensions induites par les émissions radioélectriques et méthode de réduction des perturbations	62
K.19	Utilisation de tranchées, canalisations communes aux câbles de télécommunications et aux câbles électriques	77

Partie II – Avis de la série L

Protection des enveloppes de câble et de poteaux

L.1	Protection contre la corrosion	81
L.2	Imprégnation des poteaux en bois	81
L.3	Armure des câbles	81

N° de l'Avis		Page
L.4	Enveloppes de câble en aluminium	84
L.5	Réalisation d'enveloppes de câble en métaux autres que le plomb ou l'aluminium	86
L.6	Méthodes de maintien des câbles sous pression gazeuse	87
L.7	Application de la protection cathodique commune	87
L.8	Corrosion provoquée par des courants alternatifs	89

REMARQUE

Les questions confiées à chaque Commission d'études pour la période 1981-1984 figurent dans la contribution N° 1 de la Commission correspondante.

NOTE DU CCITT

Dans ce tome, l'expression «Administration» est utilisée pour désigner de façon abrégée aussi bien une administration de télécommunications qu'une exploitation privée reconnue de télécommunications.

PARTIE I

Avis de la série K

PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS

(Dans cette série d'Avis, il est souvent fait mention des
*Directives concernant la protection des lignes de télécommunication
contre les actions nuisibles des lignes électriques* qui ont été publiées
sous forme de feuilles amovibles en 1963, puis modifiées en 1965, 1974 et 1978

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS *

Avis K.1 (New Delhi, 1960)

MISE À LA TERRE D'UN CIRCUIT TÉLÉPHONIQUE À FRÉQUENCES VOCALES EN CÂBLE

Introduction

En l'état actuel de la technique, on est arrivé à construire les câbles de telle façon que les capacités des divers circuits à fréquences vocales par rapport à l'enveloppe soient très exactement équilibrées.

Cet équilibrage des capacités suffit lorsqu'il s'agit de circuits dépourvus de toute mise dissymétrique à la terre.

En revanche, chaque mise à la terre, même avec une symétrie apparente, risque de faire entrer en jeu les dissymétries d'inductance et de résistance de chacun des circuits sur lesquels on effectue cette mise à la terre.

La résistance à la rupture diélectrique entre les conducteurs d'un câble est notablement plus petite que celle qui existe entre ces conducteurs et l'enveloppe, et, par suite, la mise à la terre de certains de ces conducteurs créerait un danger de rupture du diélectrique séparant les conducteurs quand le câble est soumis à une induction importante.

Lorsqu'un câble chargé est soumis à une force électromotrice induite élevée, la présence de mises à la terre permettrait le passage de courants dont l'intensité pourrait dépasser dans certains cas la limite admissible pour la bonne conservation des qualités magnétiques des bobines de charge.

Pour ces motifs, le CCITT émet, à l'unanimité, l'avis suivant :

Il est recommandable de n'effectuer sur un circuit à fréquences vocales aucune mise à la terre en un point quelconque, sauf si tous les enroulements de ligne des transformateurs sont reliés en permanence à l'enveloppe par des connexions de faible résistance à l'une des extrémités du câble ou à ses deux extrémités.

En règle générale, il est recommandable de n'effectuer aucune mise à la terre en un point quelconque d'une installation (téléphonique ou télégraphique) reliée métalliquement à une ligne à grande distance en câble. Si toutefois, pour des raisons spéciales, on est amené à effectuer la mise à la terre d'une installation directement reliée à des circuits à fréquences vocales, il y a lieu de prendre les précautions suivantes :

- a) La mise à la terre doit être faite de manière à ne pas troubler la symétrie du circuit par rapport à la terre et par rapport aux circuits voisins.
- b) La tension de claquage de l'ensemble de tous les autres conducteurs du câble, par rapport aux conducteurs du circuit relié à la terre, doit être notablement supérieure à la tension la plus forte qui, par suite de l'induction des lignes d'énergie voisines, pourrait exister entre ces conducteurs et ceux du circuit relié à la terre.
- c) Lorsque l'installation reliée au câble est une installation télégraphique, il y a lieu, en outre, de se conformer aux recommandations du CCITT au sujet des conditions de coexistence de la téléphonie et de la télégraphie (Avis de la série H).

* Voir également le manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques*, UIT, Genève, 1963, 1965, 1974, 1978. Dans cette série d'Avis, l'expression «Directives» est utilisée pour désigner de façon abrégée le manuel précité. Lorsqu'un passage précis de cet ouvrage est cité, il est utilisé un numéro de référence entre crochets.

PROTECTION DES SYSTÈMES DE TÉLÉALIMENTATION DES RÉPÉTEURS CONTRE LES PERTURBATIONS DUES AUX LIGNES ÉLECTRIQUES VOISINES

Afin d'éviter que le fonctionnement de la téléalimentation des répéteurs ne soit perturbé soit par l'induction magnétique d'une ligne électrique voisine, soit par suite d'un couplage galvanique avec une ligne électrique voisine, le CCITT recommande que, chaque fois que cela est possible, le système de téléalimentation des répéteurs soit établi de sorte que le circuit dans lequel circulent les courants de téléalimentation, compte tenu des organes qui lui sont connectés, reste symétrique par rapport à l'enveloppe et à la terre.

TROUBLES PROVOQUÉS PAR DES SIGNAUX À FRÉQUENCES VOCALES INJECTÉS DANS UN RÉSEAU DE DISTRIBUTION D'ÉNERGIE

Dans le cas où les services de distribution d'énergie électrique ont recours à l'injection de signaux à fréquences vocales dans le réseau de distribution d'énergie pour l'exploitation de systèmes de télécommande, ces signaux peuvent provoquer des troubles sur des lignes de télécommunications voisines.

Le calcul de ces troubles peut s'effectuer par application des formules des *Directives*, en déterminant la valeur des tensions perturbatrices équivalentes et des courants perturbateurs équivalents de ces signaux à fréquences vocales.

PERTURBATIONS CAUSÉES À LA SIGNALISATION

Pour diminuer les perturbations causées à la signalisation à courant continu ou à courant alternatif de fréquence industrielle sur des lignes de télécommunications en fils aériens, en câbles aériens ou souterrains ou sur des lignes mixtes, par suite du voisinage de lignes électriques à courant continu ou à courant alternatif, il convient d'examiner la possibilité d'adopter l'une ou plusieurs des méthodes suivantes dans tous les cas où il apparaît que des perturbations de ce genre sont susceptibles de se produire ou dans tous les cas où elles ont déjà été observées:

- étude et application de systèmes:
 - a) où en toutes circonstances on conserve la symétrie du circuit de signalisation par rapport à la terre, même pendant les opérations de commutation (voir [1]);
 - b) qui, tout en étant symétriques, ne sont pas sensibles aux perturbations dues aux courants longitudinaux favorisés par les mises à la terre, directes ou non;
- choix de l'emplacement des prises de terre des centraux téléphoniques de façon à les éloigner, en particulier du voisinage des lignes de traction électriques, ainsi que des électrodes de mise à la terre d'énergie électrique;
- adoption de dispositions réduisant les courants induits (emploi de câbles téléphoniques à faible facteur réducteur, de transformateurs-suceurs sur les lignes à traction monophasée, etc.) qui facilitent l'utilisation des systèmes de signalisation existants;
- emploi de transformateurs-neutralisateurs ou de systèmes de réduction actifs pour compenser sur les circuits de télécommunications les courants produits par les tensions induites;
- emploi de circuits accordés pour assurer une impédance élevée aux fréquences du courant perturbateur.

Remarque – Les *Directives* mentionnent une limite de 60 V pour la tension induite dans les lignes de télécommunications. Cette limite concerne exclusivement la sécurité du personnel et ne doit pas être considérée comme ayant pour but de garantir qu'il ne se produira aucune perturbation dans les systèmes de signalisation. Dans le cas de systèmes de signalisation dissymétriques par rapport à la terre, de telles perturbations peuvent être provoquées par des tensions beaucoup plus faibles, ainsi qu'il est indiqué en [2].

Références

- [1] Manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques*, chapitre XVI, UIT, Genève, 1963, 1965, 1974, 1978.
- [2] *Ibid.*, chapitre V, section 3.

Avis K.5 (Genève, 1964)

EMPLOI CONJOINT DE POTEAUX POUR LES TÉLÉCOMMUNICATIONS ET POUR LA DISTRIBUTION D'ÉLECTRICITÉ

Les Administrations des télécommunications désirant adopter l'utilisation conjointe des mêmes supports pour les lignes de télécommunications en fils aériens ou en câbles et pour les lignes électriques sont invitées, lorsque les lois et règlements nationaux permettent de telles dispositions, à tenir compte des considérations générales suivantes:

- 1) L'emploi conjoint de poteaux par les Administrations des télécommunications et les autorités de l'électricité peut assurer des avantages d'ordre économique et esthétique.
- 2) En cas d'application de méthodes de construction conjointes appropriées, il existe cependant un risque accru de danger par rapport aux méthodes de construction ordinaires, tant pour le personnel appelé à travailler sur les lignes de télécommunications que pour les installations de télécommunications. Il est hautement désirable de donner au personnel appelé à travailler sur ces lignes une formation spéciale, notamment si les lignes électriques sont des lignes à haute tension.
- 3) Il est recommandé que les dispositions des *Directives* concernant le danger, le trouble, la sécurité du personnel, soient respectées [1].
- 4) Il est désirable que des accords spéciaux soient conclus entre l'Administration des télécommunications et les autorités de l'électricité intéressées à l'utilisation conjointe des mêmes poteaux, afin de définir leurs responsabilités respectives.
- 5) Dans le cas de coexistence sur de courtes sections (par exemple, de l'ordre de 1 km), il peut le plus souvent suffire de prendre quelques précautions simples pour que les perturbations provoquées par l'induction magnétique ou l'influence électrique soient tolérables.

Référence

- [1] Manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques*, chapitres IV, V et XX, UIT, Genève, 1963, 1965, 1974, 1978.

Avis K.6 (Genève, 1964)

PRÉCAUTIONS À PRENDRE AUX CROISEMENTS

Introduction

Les croisements entre les lignes de télécommunications aériennes et les lignes électriques présentent des dangers pour les personnes et pour le matériel.

Un certain nombre de dispositions sont prises par les organismes responsables dans différents pays et donnent lieu à des règles sur le plan national. Ces règles sont parfois assez diverses et l'efficacité des dispositions prises est plus ou moins bonne.

Etant donné l'état actuel de la technique et l'expérience acquise dans les différents pays, il semble maintenant possible au CCITT d'émettre un Avis en recommandant les dispositions qui semblent les meilleures. Les différents pays pourront éventuellement s'inspirer de ces recommandations pour mettre au point ou pour réviser leurs réglementations nationales.

Il est donc recommandé, lorsqu'une ligne aérienne de télécommunications doit croiser une ligne électrique, d'employer une des deux méthodes suivantes: soit mettre la ligne de télécommunications en câble souterrain à l'endroit du croisement, soit la laisser en aérien.

1 La ligne est mise en souterrain

Cette méthode n'est pas toujours à recommander car, en cas de rupture du conducteur électrique, le câble souterrain peut se trouver dans une zone où le potentiel du sol peut atteindre une valeur élevée. Cette situation est dangereuse si le câble est muni d'une enveloppe métallique nue, et le danger est d'autant plus grand que la tension de la ligne électrique est plus haute, la section en câble plus courte et la résistivité du sol plus élevée. Cette situation dangereuse apparaît également chaque fois qu'un défaut à la terre se produit sur les pylônes voisins du câble.

Si des circonstances exigent le passage en câble de la ligne aérienne, des précautions spéciales devront être prises à l'endroit du croisement, par exemple:

- utilisation d'un revêtement isolant autour de l'enveloppe métallique du câble aux croisements;
- utilisation d'un câble dont l'enveloppe est entièrement en matière plastique.

2 La ligne est maintenue en aérien

La méthode consistant à interposer entre la ligne électrique et la ligne de télécommunications un fil de garde ou un filet ne peut être recommandée d'une façon générale.

De toute façon, et quelles que soient les circonstances, une distance verticale minimale est à respecter entre la ligne de télécommunications et la ligne électrique, conformément aux règles nationales.

Par ailleurs, un certain nombre de dispositions peuvent être mises en œuvre pour diminuer les risques de danger:

2.1 *Utilisation d'appuis communs* au point de croisement, sous réserve que les isolateurs de la ligne de télécommunications présentent une plus grande résistance au claquage.

2.2 *Isolation des conducteurs*, de préférence ceux de télécommunications, sous réserve que cette isolation soit réellement adaptée aux conditions existantes.

2.3 *Renforcement de la construction* de la ligne électrique dans la partie de croisement de façon à minimiser les risques de rupture.

3 Circonstances dans lesquelles ces différentes dispositions (§ 2.1, 2.2, 2.3) peuvent être appliquées

L'application de ces méthodes dépend essentiellement de la tension de la ligne électrique. Les échelons de tension à prendre en considération ne sont pas liés à la normalisation de la Commission électrotechnique internationale (CEI), compte tenu des exigences particulières du problème posé.

3.1 Réseaux fonctionnant à des tensions inférieures ou égales à 600 V

Dispositions à prendre: § 2.1 ou 2.2, ou les deux dispositions combinées.

3.2 Réseaux fonctionnant à des tensions supérieures ou égales à 60 kV

(En particulier, les réseaux dits «à grande sécurité de service» d'après [1]).

Dispositions à prendre: § 2.3, si c'est nécessaire.

3.3 Réseaux à des tensions intermédiaires

Etant donné la diversité des tensions, des caractéristiques mécaniques des lignes et des modes d'exploitation dans la gamme comprise entre 600 V et 60 kV, il n'est pas possible de donner des recommandations précises.

Toutefois, une ou plusieurs des dispositions décrites ci-dessus pourront être appliquées, certains cas particuliers exigeant un examen approfondi en collaboration étroite entre les services intéressés.

Référence

- [1] Manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques*, chapitre préliminaire, § 3.2.3, UIT, Genève, 1963, 1965, 1974, 1978.

DISPOSITIFS DE PROTECTION CONTRE LES CHOCS ACOUSTIQUES

Il peut, dans des circonstances défavorables, se présenter aux bornes du récepteur d'un appareil téléphonique de hautes crêtes de tension de courte durée qui causent, à la capsule réceptrice, des pressions acoustiques si fortes que l'état de fonctionnement de l'oreille humaine et du système nerveux qui lui est relié est exposé à des dangers. De telles crêtes de tension peuvent principalement se produire lorsque les parafoudres, insérés dans les deux conducteurs d'une ligne téléphonique, ne fonctionnent pas simultanément et que, de ce fait, un courant de compensation parcourt l'appareil téléphonique. Pour cette raison, le CCITT a recommandé l'emploi de dispositifs de protection contre les chocs acoustiques, particulièrement dans le cas de lignes équipées de parafoudres à gaz raréfié, pour la protection contre des tensions induites trop élevées (voir [1]).

Le montage du dispositif, comprenant par exemple deux redresseurs connectés en parallèle, dont les sens de passage sont opposés, ou d'autres éléments semi-conducteurs, s'est manifesté comme moyen efficace et économique pour supprimer des chocs de tension de courte durée au récepteur de l'appareil téléphonique et ainsi le danger pour l'oreille humaine. Les deux redresseurs sont, dans ce cas, connectés directement en parallèle sur le récepteur téléphonique.

Pour répondre aux conditions de construction du reste de l'équipement, permettre un contrôle rapide de la capacité de fonctionnement des dispositifs de protection contre les chocs acoustiques et ne pas porter dans une mesure inadmissible préjudice à la qualité de la transmission téléphonique, il est recommandé que ces dispositifs aient les caractéristiques suivantes:

- 1) Il y a intérêt que les dimensions du dispositif de protection contre les chocs acoustiques soient telles qu'il n'occupe qu'un volume restreint (et, par exemple, puisse être placé dans le boîtier d'un récepteur téléphonique de poste d'opératrice ou de poste d'abonné).
- 2) Ce dispositif doit être solidement réalisé. Ses caractéristiques électriques doivent demeurer inaltérées dans les conditions de température et d'humidité qui peuvent se présenter à l'endroit de son utilisation.
- 3) Le dispositif doit être établi en fonction des caractéristiques des récepteurs téléphoniques auxquels il doit être le plus souvent associé de sorte qu'il ne subisse aucun échauffement excessif par suite de son fonctionnement.
- 4) Le dispositif doit être établi de façon telle que, pendant le fonctionnement du dispositif de protection contre les surtensions sur les lignes (par exemple, l'amorçage et le fonctionnement des parafoudres à gaz raréfié), l'amplitude de pression produite par le diaphragme du récepteur téléphonique ne puisse pas dépasser environ 120 dB au-dessus de $2 \cdot 10^{-4}$ microbar à 1000 Hz.

Remarque — Les essais ont montré que le dispositif de protection du type mentionné ci-dessus possède des propriétés qui permettent de réaliser sans difficulté cette condition lorsqu'on se trouve en présence d'impulsions de surtension et non d'une surcharge continue de tension.

- 5) Le tableau 1/K.7 indique, pour certains dispositifs de protection utilisés en liaison avec un poste téléphonique déterminé, les limites d'affaiblissement (mesuré avec un signal sinusoïdal de 800 Hz) qu'il convient de respecter pour un certain nombre de niveaux de la tension appliquée aux bornes de ce poste. On admet que l'impédance de ligne est égale à 600 ohms. Aux fins de ces mesures, le récepteur est remplacé par une résistance pure de valeur correspondant au module de l'impédance du récepteur à 800 Hz et l'affaiblissement est exprimé sous la forme du rapport des tensions (exprimées en unités de transmission) aux bornes de cette résistance en présence et en l'absence du dispositif de protection.

Les mesures doivent être faites au moyen d'un instrument indiquant les valeurs efficaces (ou, éventuellement, des valeurs moyennes rectifiées).

Lors de l'examen d'un type nouveau de dispositif, il peut être utile d'effectuer quelques mesures analogues pour s'assurer qu'aux fréquences comprises entre 200 Hz et 4000 Hz les valeurs moyennes des affaiblissements d'insertion sont du même ordre.

TABLEAU 1/K.7

Niveau de tension aux bornes (Niveau de référence 0,775 V)	Affaiblissement
Décibels	Décibels
- 17,4	< 0,43
- 8,7	< 0,43
0	≤ 1,7
+ 8,7	> 5,2
+ 17,4	> 10,4
+ 26,1	> 15,6

- 6) Les Administrations qui le désireraient peuvent déterminer les limites à spécifier pour les essais de réception d'un dispositif de protection qu'elles estiment approprié à leurs postes téléphoniques et qui répond aux conditions de l'alinéa 5), en mesurant directement l'affaiblissement d'insertion d'un échantillon de ce dispositif entre les résistances représentant le récepteur et le circuit associé de leurs combinés téléphoniques et en donnant les résultats de ces mesures comme valeurs limites de l'affaiblissement d'insertion mesuré entre les valeurs de résistance utilisées.
- 7) Il convient d'observer que les harmoniques produits par la non-linéarité de la caractéristique du dispositif, pendant le fonctionnement du dispositif comme indiqué à l'alinéa 4), peuvent contribuer à l'amplitude de pression. Cependant, des effets nuisibles provoqués par les harmoniques ne se manifestent pas lorsque les conditions de l'alinéa 5) sont remplies.

Référence

- [1] Manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques*, chapitre I/6, p. 16, UIT, Genève, 1963, 1965, 1974, 1978.

Avis K.8 (Mar del Plata, 1968)

SÉPARATION, DANS LE SOL, DES INSTALLATIONS DE TÉLÉCOMMUNICATIONS ET DES INSTALLATIONS DE TRANSPORT D'ÉNERGIE

La valeur possible des tensions dans le sol au voisinage des câbles de télécommunications dépend d'un certain nombre de facteurs, tels que la tension du réseau électrique, l'intensité du courant de défaut, la résistivité du sol, la disposition du réseau électrique et des installations de télécommunications, enfin diverses autres particularités locales. Il n'est donc pas possible de proposer des règles générales concernant la séparation minimale à recommander. En principe, l'influence du réseau d'énergie électrique sur l'installation de télécommunications devrait être vérifiée par des essais, chaque fois que les conditions laissent supposer la possibilité de tensions excessives. Cependant, de tels essais donneraient bien souvent lieu à des travaux prohibitifs. L'expérience a montré qu'il ne se produit aucune difficulté si l'on admet une distance d'au moins 10 mètres entre l'installation de téléphonie et le socle d'un pylône, à condition que la résistivité du sol ne soit pas exagérée (quelques centaines d'ohm-mètres) et qu'aucune circonstance, connue ou soupçonnée, ne soit de nature à rendre cette séparation insuffisante. Il arrive en effet que certaines circonstances connues ou soupçonnées obligent à accroître la séparation; c'est ainsi qu'en Suède on a dû la porter à 50 mètres dans certains cas où les paramètres du sol avaient des valeurs extrêmes.

Il peut d'un autre côté arriver qu'une séparation de 10 mètres ne soit pas nécessaire, et, dans certains pays, on a constaté que, dans des cas bien déterminés, une séparation de 2 mètres ou moins était suffisante (voir l'annexe A).

Si des conditions locales interdisent de respecter la séparation requise, on peut munir le câble de télécommunications d'une isolation appropriée pendant son passage dans la zone où la tension dans le sol risque d'être excessive (par exemple, en le plaçant dans une conduite ou en le munissant d'un revêtement isolant).

Information fournie par la CIGRE (1964-1968)

La figure A-1/K.8 représente un exemple de réalisation dans la région parisienne où un câble de télécommunications est posé dans la même tranchée qu'un câble haute tension à 225 kV sur une longueur de 4911 m. Les trois câbles d'énergie monophasés sont dans un tube d'acier mis soigneusement à la terre à ses extrémités et le câble de télécommunications (7 quartes sous plomb) est placé dans un caniveau préfabriqué en béton légèrement armé.

Des mesures d'induction effectuées pour plusieurs valeurs du courant de court-circuit ont fait apparaître sur la totalité du circuit de télécommunications (4911 m) les forces électromotrices induites suivantes:

Courant de court-circuit (en ampères)	100	200	400
F.é.m. induite (en volts par ampère)	0,055	0,046	0,036

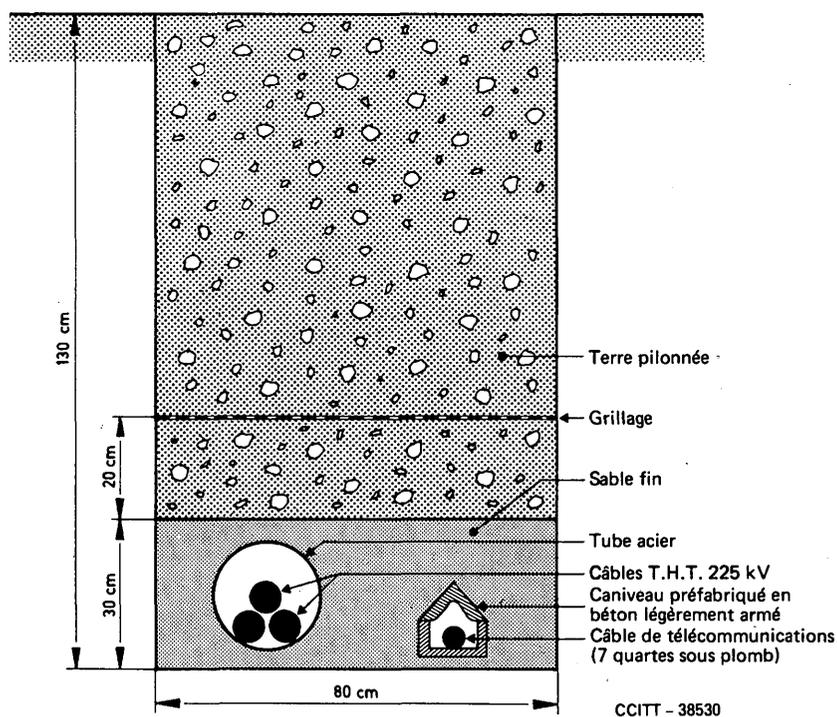


FIGURE A-1/K.8

Tranchée commune pour un câble d'énergie et un câble de télécommunications

**PROTECTION DU PERSONNEL ET DES INSTALLATIONS
DE TÉLÉCOMMUNICATIONS CONTRE UN GRADIENT DE POTENTIEL ÉLEVÉ
DANS LE SOL, DÙ À UNE LIGNE DE TRACTION ÉLECTRIQUE VOISINE**

1 Considérations générales

Du point de vue technique, les dispositions mises en œuvre sur les chemins de fer électrifiés, en vue de la protection du personnel et des installations, peuvent différer en fonction d'un certain nombre de particularités, qui sont essentiellement les suivantes:

- valeur de la résistivité du sol;
- équipement électrique de la voie (circuits de voie) pouvant s'opposer à la mise au rail systématique des structures métalliques voisines du chemin de fer, cet équipement étant exigé par les installations de sécurité ferroviaire;
- dans le cas des électrifications à courant alternatif, la présence ou l'absence de transformateurs-suceurs modifie dans une certaine mesure les caractéristiques des dispositifs de protection à mettre en œuvre;
- le niveau d'isolement des lignes de contact qui peut également jouer dans la nature de ces dispositifs, tout particulièrement dans le cas des lignes électrifiées à une tension relativement basse, comme les lignes à 1500 volts à courant continu;
- la méthode à recommander pour connecter au rail une structure métallique en cas de surtension sans réaliser de liaison permanente (un moyen consiste à utiliser un éclateur).

2 Lignes électrifiées à courant alternatif

Dans le cas où il n'existe pas d'installation de sécurité interdisant de connecter au rail des structures métalliques voisines de la voie, il est recommandé de réaliser systématiquement la mise au rail de ces structures, par exemple pour celles qui sont situées en deçà d'une distance donnée par rapport à la voie.

Dans le cas où il n'est pas possible de réaliser la mise au rail de ces structures, il est recommandé de les mettre à la terre à l'aide d'une électrode présentant une résistance suffisamment faible.

3 Lignes électrifiées à courant continu

Les mesures de protection doivent aussi, le cas échéant, tenir compte de la nécessité d'éviter les risques de corrosion électrolytique. Ces mesures peuvent consister à ne mettre au rail que des structures métalliques suffisamment isolées du sol, ou à les mettre au rail par l'intermédiaire d'éclateurs, ou enfin à ne mettre ni au rail ni au sol les structures métalliques supportant des lignes de contact suffisamment isolées et pour une tension de service suffisamment basse.

4 Câbles de télécommunications

Il est recommandé, dans les installations nouvelles, de poser des câbles sous revêtement en matière plastique, éventuellement à haute rigidité diélectrique aux abords des rails, à l'entrée des sous-stations ou au passage de ponts métalliques lorsqu'il faut éviter tout contact entre les câbles et ces structures.

Toutefois, au moins dans les grandes gares, dans les cas de câbles à enveloppes métalliques existants, la connexion des enveloppes de câble au rail peut constituer une bonne solution.

5 Conditions à remplir par les installations de l'Administration des PTT se trouvant au voisinage de lignes électrifiées

Les principales dispositions mises en œuvre pour leur protection sont les suivantes:

- déplacement des installations à l'extérieur de la zone de danger;
- établissement d'un écran protecteur;
- remplacement des éléments métalliques par des éléments isolants, notamment pour les gaines ou enveloppes des câbles, ainsi que pour la confection des armoires et des boîtes de répartiteurs.

Remarque — Les recommandations ci-dessus se réfèrent uniquement à des considérations techniques qui sont à examiner soigneusement dans chaque cas. Il est bien entendu que chaque Administration doit se conformer à la législation et à la réglementation en vigueur dans son propre pays.

DISSYMMÉTRIE DES INSTALLATIONS DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

Pour maintenir une symétrie satisfaisante des installations de télécommunications et des lignes qui leur sont connectées, il est recommandé que les valeurs minimales admissibles concernant la symétrie soient de 40 dB (de 300 à 600 Hz) et de 46 dB (de 600 à 3400 Hz). Cette recommandation, de caractère général, n'exclut nullement la possibilité de citer, dans d'autres Avis du CCITT¹⁾, des valeurs minimales plus élevées appropriées à des besoins particuliers.

Le circuit d'essai de la figure 1/K.10 devrait être utilisé pour mesurer la dissymétrie des équipements de télécommunications.

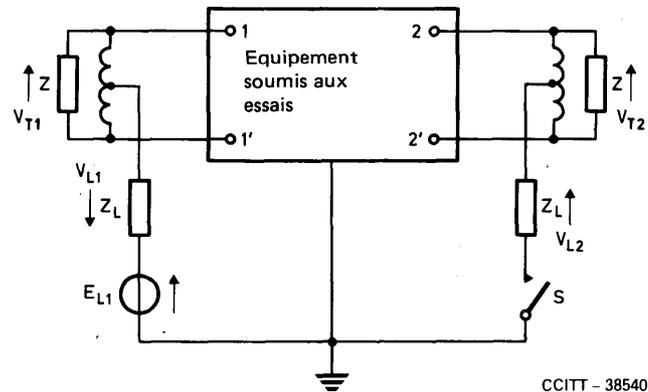


FIGURE 1/K.10
Circuit d'essai

Dans la gamme des fréquences vocales, on devrait avoir $Z_L = Z/4$ (voir l'Avis Q.45 [1]).

Références

- [1] Avis du CCITT *Caractéristiques de transmission d'un centre international*, tome VI, fascicule VI.1, Avis Q.45.
- [2] CCITT – Question 13/V, contribution COM V-N° 1 de la période d'études 1981-1984, Genève, 1981.

Avis K.11

PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS

Le présent Avis traite de la façon dont les surtensions peuvent apparaître sur les lignes de télécommunications, des méthodes qui permettent d'éviter ou de réduire ces surtensions et les dispositifs de protection que l'on peut utiliser pour protéger les lignes et leur équipement terminal. De plus amples renseignements sont donnés dans le manuel cité en [1] et dans les *Directives*.

1 Origine des surtensions

Les surtensions qui apparaissent sur les lignes peuvent avoir les causes suivantes:

1.1 Décharges de foudre directes

Ces décharges peuvent donner naissance, dans les fils ou les câbles, à des courants de plusieurs milliers d'ampères pendant quelques microsecondes. Il peut en résulter des dommages, et des surtensions de plusieurs kilovolts peuvent exercer des contraintes sur les diélectriques des installations de ligne et de l'équipement terminal.

¹⁾ Voir, en particulier, l'Avis Q.45 [1], et également la suite de l'étude de la Question 13/V [2].

1.2 *Décharges de foudre au voisinage*

Au moment d'un coup de foudre, les courants de décharge circulant des nuages vers la terre ou entre les nuages engendrent des surtensions dans les lignes aériennes ou souterraines situées à proximité. La zone intéressée peut être vaste dans les régions où la résistivité du sol est élevée.

1.3 *Induction produite par les courants de défaut affectant les lignes électriques, y compris les systèmes de traction électrique*

Les défauts à la terre dans les réseaux d'énergie électrique donnent naissance à des courants dissymétriques de forte intensité qui parcourent les lignes électriques en induisant des surtensions dans les lignes de télécommunications voisines en rapprochement parallèle. Ces surtensions peuvent s'élever à plusieurs kilovolts et durer de 200 à 2000 millisecondes (et même parfois plus longtemps), selon le système utilisé sur la ligne électrique pour remédier au défaut.

1.4 *Contacts avec des lignes électriques*

Des contacts peuvent se produire entre les lignes électriques et les lignes de télécommunications lorsque des catastrophes locales, par exemple des tempêtes ou des incendies endommagent ces deux types d'installations ou lorsque les normes de sécurité en matière de séparation et d'isolation ne sont pas respectées. Les surtensions dépassent rarement $240 V_{\text{eff}}$ en alternatif, par rapport au potentiel de terre, dans les pays où cette tension est la tension normale de distribution, mais peuvent se prolonger pendant un temps indéterminé jusqu'à ce qu'elles soient décelées. Lorsqu'on utilise une tension de distribution plus élevée, par exemple 2 kV, les systèmes de protection des lignes électriques assurent généralement l'élimination rapide (dans un délai de 1 s au plus) de la tension engendrée par un défaut. La surtension peut donner naissance à des courants d'intensité excessive le long de la ligne jusqu'au dispositif de mise à la terre du central, endommageant l'équipement et mettant en danger le personnel.

1.5 *Elévation du potentiel dans le sol*

Quand un défaut de mise à la terre affecte un réseau d'énergie électrique, il y a circulation dans le sol de courants qui élèvent le potentiel au voisinage du défaut et de la prise de terre de la source d'énergie (voir aussi l'Avis K.9). Ces gradients de potentiel dans le sol peuvent avoir un double effet sur les installations de télécommunications:

- a) Les systèmes de signalisation risquent de mal fonctionner si la terre de signalisation est obtenue par une électrode implantée dans un sol dont le potentiel s'élève, ne serait-ce que de 5 V, par rapport au potentiel de terre normal. Une tension de cet ordre peut être causée par des défauts mineurs du système d'alimentation qui risquent de passer inaperçus pendant une longue période.
- b) Une élévation plus forte du potentiel de terre peut mettre en danger le personnel qui travaille dans la zone concernée ou, dans des cas extrêmes, être suffisante pour provoquer la rupture de l'isolation des câbles de télécommunications et causer des dommages importants.

2 **Moyens permettant d'éviter les surtensions**

2.1 Les lignes de télécommunications peuvent, dans une certaine mesure, être protégées contre la foudre par des structures métalliques voisines mises à la terre (par exemple, un réseau d'énergie électrique ou un réseau ferroviaire électrifié) qui font écran. Les câbles à haute rigidité diélectrique risquent moins d'être endommagés par la foudre mais ils peuvent transmettre des ondes de choc à des parties plus vulnérables du réseau. Des écrans métalliques efficaces, par exemple une enveloppe de câble, une conduite de câble où des fils-écrans de protection contre la foudre, réduisent les effets des surtensions produites par la foudre ou de l'induction provoquée par les lignes électriques. Dans les zones très exposées à la foudre, on utilise souvent des câbles spéciaux avec écrans multiples et isolément à rigidité diélectrique élevée. La mise à la masse de toutes les structures métalliques est utile comme moyen de protection.

2.2 Il est possible de réduire au minimum l'induction produite par les lignes électriques en coordonnant les méthodes de construction des lignes électriques et des lignes de télécommunications. On peut diminuer le niveau d'induction à la source en installant des fils de terre et des limiteurs de courant dans le réseau électrique.

2.3 On diminue le risque de contacts entre les lignes électriques et les lignes de télécommunications si l'on applique des normes agréées de construction, de séparation et d'isolation. Des considérations économiques entrent certes en jeu, mais il est souvent possible de tirer parti de l'utilisation conjointe de tranchées, poteaux et conduites, sous réserve d'adopter des méthodes de sécurité appropriées (voir les Avis K.5 et K.6). Il importe particulièrement d'éviter les contacts avec des lignes électriques à haute tension par une construction de qualité élevée, car ces contacts risquent d'avoir de graves conséquences très difficiles à éviter.

3 Nécessité d'une protection

Malgré les mesures préventives décrites ci-dessus, il peut encore se produire des surtensions du fait de conditions locales particulières.

3.1 Les lignes installées dans des endroits exposés ou dans des zones où le sol a une forte résistivité sont plus vulnérables aux décharges de foudre, et les surtensions intenses peuvent être fréquentes si le niveau kéraunique local est élevé.

3.2 Les surtensions induites par les défauts des lignes électriques ou de traction peuvent encore dépasser les niveaux admis par les *Directives*, même quand toutes les mesures préventives possibles sont mises en œuvre.

3.3 Les surtensions, outre qu'elles imposent des surcharges aux conducteurs ou aux isolants sur la ligne, peuvent aussi endommager les parties sensibles des équipements terminaux de ligne. Il y a risque d'incendie lorsque l'effet inductif exercé par les lignes électriques se prolonge. Il peut être nécessaire de protéger le personnel des télécommunications et les abonnés contre les chocs électriques.

3.4 Dans le choix du type de protection, il faut établir un équilibre convenable entre deux considérations: la probabilité des surtensions et la gravité de leurs effets estimés. Il convient de tenir compte de la norme de service minimale acceptable ainsi que de tous les avantages obtenus sur le plan des compensations par l'adoption de telle ou telle méthode de protection.

4 Types de dispositif de protection

4.1 Dans certaines conditions, une ligne de télécommunications assure une certaine protection à l'équipement, par exemple si

- un conducteur fond et coupe un courant excessif,
- l'isolant d'un conducteur claque et réduit une surtension,
- il y a amorçage au niveau de dispositifs de connexion, d'où réduction de la surtension.

Cette protection complète celle qui est assurée par les organes expressément prévus à cette fin et, si les risques de surtension sont très faibles, elle peut suffire à elle seule.

4.2 *Parafoudres à électrodes de carbone ou électrodes métalliques séparés par de l'air*

Généralement montés entre chaque fil d'une ligne et la terre pour assurer une protection dans l'intervalle de 800 à 1600 V, ils sont peu coûteux mais leur maintenance peut s'imposer s'ils fonctionnent fréquemment.

4.3 *Parafoudres à atmosphère gazeuse*

Généralement montés entre chaque fil d'une ligne et la terre ou sous forme d'un dispositif à trois électrodes, entre une paire et la terre, leurs limites de fonctionnement peuvent être spécifiées avec précision pour répondre à certaines exigences du réseau. Les tensions de fonctionnement sont variables, à partir de 90 V au moins. Ces parafoudres sont compacts et n'exigent souvent aucune maintenance.

Une description complète et une spécification des parafoudres à atmosphère gazeuse figurent dans l'Avis K.12.

4.4 *Dispositifs de protection à semi-conducteurs*

Utilisés d'une manière semblable aux parafoudres à électrodes de carbone et aux parafoudres à atmosphère gazeuse, ils protègent l'équipement contre des surtensions pouvant descendre à 1 V seulement. Ils sont précis et rapides, mais peuvent être endommagés par des courants trop intenses.

4.5 *Fusibles*

Ils sont montés en série avec chaque fil d'une ligne pour couper le courant lorsque celui-ci est excessif. Les fusibles simples sont équipés d'un fil homogène qui fond sous l'effet de la chaleur dégagée. Les fusibles à action lente comportent à la fois un fil homogène qui fond rapidement lorsqu'il est parcouru par un courant intense et un élément fusible à ressort qui fond progressivement jusqu'à couper le courant lorsqu'un courant de faible intensité le parcourt pendant une période prolongée. Les valeurs de fonctionnement typiques sont de 2 A pour les courants intenses et 250 mA pour les courants prolongés. Après fonctionnement les fusibles ne doivent pas entretenir un arc. Ces fusibles n'assurent pas une protection contre les décharges de foudre, de sorte que dans les zones où ces décharges sont courantes, des fusibles à valeur nominale élevée (20 A au maximum) peuvent être nécessaires pour éviter les dérangements dus à des défaillances de fusibles. La protection ainsi assurée en cas de contacts avec les lignes électriques est parfois insuffisante. Les fusibles peuvent aussi être une source de bruit et provoquer des coupures intempestives.

4.6 *Bobines thermiques*

Montées en série sur chaque fil d'une ligne, les bobines thermiques déconnectent la ligne, la mettent à la terre ou effectuent ces deux opérations à la fois, la terre étant prolongée jusqu'à la ligne. Les bobines thermiques comportent un élément fusible et fonctionnent lorsqu'elles sont parcourues pendant environ 200 secondes par un courant d'une intensité de l'ordre de 500 mA.

5 **Emplacement des dispositifs de protection**

5.1 Lorsqu'il est nécessaire d'assurer la protection de câbles souterrains et d'installations d'abonnés contre les surtensions dues à la foudre, on installe généralement les dispositifs de protection à chaque extrémité des tronçons de lignes aériennes. Il peut également être indiqué d'installer des parafoudres aux points de jonction d'installations de rigidité diélectrique élevée et d'installations de rigidité diélectrique faible. Les connexions avec les dispositifs de protection contre les surtensions provoquées par la foudre doivent être aussi courtes que possible.

5.2 Pour protéger l'isolement des conducteurs, il est utile de réunir tous les écrans, enveloppes métalliques, etc. et de monter des dispositifs de protection contre les surtensions entre les conducteurs et la masse électrique ainsi constituée. Cette technique est particulièrement utile dans les zones où la résistivité du sol est élevée car elle évite d'avoir recours à des systèmes à électrodes coûteux pour la mise à la terre des dispositifs de protection.

5.3 Quand on emploie des dispositifs de protection pour réduire les tensions induites élevées engendrées dans les lignes de télécommunications par les courants de défaut des lignes électriques, ces dispositifs doivent être connectés à tous les fils aux deux extrémités du tronçon de ligne intéressé ou le plus près possible de ces extrémités.

5.4 Les dispositifs utilisés pour protéger l'équipement des centraux contre les surtensions doivent être montés sur le répartiteur principal. Les équipements électroniques modernes sont sensibles aux ondes de choc même quand leur amplitude est relativement faible, de sorte qu'une protection supplémentaire peut devoir être installée dans l'équipement lui-même. Il importe que les divers éléments de protection d'une ligne soient coordonnés de façon à fournir un résultat satisfaisant et que leurs caractéristiques de fonctionnement soient adaptées à la résistance aux surtensions de l'équipement et de la ligne considérés.

5.5 Pour les lignes de télécommunications qui risquent d'entrer en contact avec des lignes électriques, la meilleure méthode pour assurer la sécurité du personnel consiste parfois à laisser ces lignes connectées (par exemple, en évitant d'installer des fusibles en série avec la ligne) et à se fier au système de terre de l'installation de télécommunications pour réduire la tension au répartiteur principal. Lorsqu'on utilise des fusibles ou des bobines thermiques, ou les deux à la fois, on les monte généralement sur le répartiteur principal. Lorsqu'on emploie ces deux dispositifs de protection simultanément, il faut monter le fusible du côté «ligne» de la bobine thermique.

6 **Effets résiduels**

Lorsqu'on se sert d'un dispositif de protection, on doit envisager les conséquences possibles indiquées ci-après:

6.1 *Surtensions résiduelles*

Il convient de tenir compte:

- a) des tensions qui n'actionnent pas le dispositif de protection parce qu'elles se situent en dessous de son niveau de fonctionnement,
- b) des tensions transitoires qui se produisent avant que le dispositif fonctionne,
- c) des tensions résiduelles qui se maintiennent après que le dispositif a fonctionné,
- d) des tensions transitoires produites par le fonctionnement du dispositif.

6.2 *Tensions transversales*

Les dispositifs de protection montés sur les deux fils d'une paire peuvent ne pas fonctionner simultanément, d'où apparition d'une impulsion transversale. Dans certaines conditions, en particulier si l'équipement à protéger a une impédance faible, le fonctionnement d'un dispositif de protection peut empêcher le fonctionnement de l'autre et une tension transversale subsiste alors aussi longtemps que les tensions longitudinales s'exercent sur la ligne.

6.3 *Difficultés de coordination*

Il est parfois nécessaire, pour la protection d'un équipement particulièrement sensible, d'utiliser plusieurs dispositifs de protection, par exemple un dispositif à faible courant de coupure et à action rapide, tel qu'un semi-conducteur, et un dispositif à courant de coupure élevé et à action lente, tel qu'un tube à décharge. En pareil cas, il faut prendre des mesures pour que, dans l'éventualité d'une surtension prolongée, le dispositif à faible courant de coupure ne bloque pas le fonctionnement du dispositif à courant de coupure élevé; si cela se produisait, le dispositif à faible courant pourrait être endommagé.

6.4 *Effet sur le fonctionnement normal du circuit*

Une marge suffisante doit être laissée entre la tension de fonctionnement des dispositifs de protection et la tension la plus élevée qui risque d'apparaître sur la ligne pendant le fonctionnement normal.

6.5 *Effets de modification*

Un dispositif de protection peut assurer la sécurité d'une partie de ligne aux dépens d'une autre; par exemple, si le fusible d'un répartiteur principal fonctionne par suite d'un contact avec une ligne électrique, la tension sur la ligne de télécommunications peut atteindre la valeur maximale de la tension sur la ligne électrique lorsque le fusible coupe la mise à la terre de la première.

6.6 *Disponibilité du circuit*

Le circuit protégé peut être mis hors service temporairement ou durablement en cas de fonctionnement d'un dispositif de protection.

6.7 *Risques de dérangement*

L'utilisation de dispositifs de protection peut poser des problèmes de maintenance si ces dispositifs ne sont pas suffisamment fiables. Elle peut également empêcher l'application de certaines procédures d'essai des lignes et de l'équipement.

Référence

- [1] Manuel du CCITT *Protection des lignes et installations de télécommunication contre la foudre*, UIT, Genève, 1974, 1978.

Avis K.12 (Genève, 1972)

SPÉCIFICATIONS CONCERNANT LES CONDITIONS AUXQUELLES DOIVENT SATISFAIRE LES PARAFODRES COMPORTANT DES ÉLECTRODES DANS UNE ATMOSPHÈRE GAZEUSE ET DESTINÉS À LA PROTECTION DES INSTALLATIONS DE TÉLÉCOMMUNICATIONS

Préambule

Il devient de plus en plus important de protéger les lignes de télécommunications contre les perturbations extérieures (décharges atmosphériques, exposition aux effets de lignes et d'installations électriques). En effet, d'une part la sensibilité des installations de télécommunications a augmenté avec l'introduction des semi-conducteurs, d'autre part les risques que présentent les installations à courant fort augmentent avec le développement inévitable de celles-ci.

Il est donc nécessaire que les Administrations téléphoniques et les autres usagers des réseaux de télécommunications puissent disposer de matériels de protection de haute qualité, extrêmement fiables et en lesquels ils peuvent avoir une confiance absolue.

Parmi les dispositifs de protection, les parafoudres sont certainement ceux qui sont les plus utilisés.

Le présent document indique les conditions essentielles auxquelles doivent satisfaire les parafoudres comportant des électrodes dans une atmosphère gazeuse qui sont destinés à protéger les installations de télécommunications.

Il traite aussi bien des performances des parafoudres que de leur fiabilité.

Les performances exigées peuvent varier selon les applications recherchées et les tolérances pourront être plus ou moins larges, mais c'est la fiabilité qui constitue la qualité fondamentale. Quel que soit le type de parafoudre à atmosphère gazeuse utilisé, sa fiabilité doit être extrêmement élevée.

1 Considérations générales

1.1 Les parafoudres comportant des électrodes dans une atmosphère gazeuse sont utilisés dans les lignes de télécommunications aériennes et souterraines pour limiter les surtensions qui peuvent se présenter sous l'action de décharges atmosphériques ou d'installations à courant fort (induction magnétique, contact entre lignes électriques de distribution et lignes de télécommunications) afin d'éviter la mise en danger:

- a) des lignes de télécommunications et des appareils qui leur sont raccordés;
- b) des personnes en contact avec les lignes ou les éléments de l'installation de télécommunications.

Dans ce qui suit, le terme *parafoudres* désigne des parafoudres comportant des électrodes dans une atmosphère gazeuse.

1.2 Ces parafoudres limitent le niveau des surtensions par une décharge dans un milieu gazeux fermé; ils établissent, de ce fait, une liaison conductrice entre les éléments de l'installation entre lesquels la surtension se présente, ou entre l'installation et le système de prise de terre, assurant ainsi une égalisation de potentiel dans les limites de la tension résiduelle du parafoudre.

La limitation est efficace lorsque, la surtension dépassant la tension d'amorçage du parafoudre, le courant de décharge conduit à une décharge en régime d'arc avec une tension résiduelle faible.

1.3 La robustesse des parafoudres est caractérisée par la valeur du courant de décharge et le temps de passage de ce courant. (La valeur de ce courant doit rester au-dessous de la limite qui provoque la destruction du parafoudre.)

1.4 Les caractéristiques électriques du parafoudre doivent rester dans les limites de tolérance spécifiées lorsqu'il est soumis à des décharges successives correspondant à son courant nominal de décharge.

2 Domaine d'application

2.1 Les conditions posées s'entendent pour des parafoudres comportant un ensemble d'électrodes situées dans un milieu gazeux fermé, utilisés comme limiteurs de tension dans des installations de télécommunications.

2.2 Ces conditions ne s'appliquent pas aux parafoudres montés en série avec des résistances dont les valeurs dépendent de la tension appliquée et qui limitent les courants de suite dans les réseaux d'énergie électrique.

2.3 Les dispositions générales des présentes spécifications s'appliquent à tous les parafoudres utilisés dans les réseaux de télécommunications, mais il est reconnu que certaines des valeurs indiquées ci-dessous doivent être modifiées lorsqu'il s'agit de parafoudres associés à des impédances destinées à réduire le courant de décharge; les valeurs à appliquer en pareil cas doivent être fixées séparément par l'utilisateur.

3 Définitions

3.1 amorçage d'un parafoudre

L'amorçage d'un parafoudre est la disruption (ou le claquage) de l'espace entre électrodes.

3.2 tension continue d'amorçage d'un parafoudre

Valeur de la tension à laquelle le parafoudre fonctionne quand on lui applique une tension continue croissant lentement. Cette grandeur sert à indiquer que le parafoudre est capable de remplir son office. On l'applique lors des mesures de contrôle périodiques.

3.3 tension continue nominale d'amorçage d'un parafoudre

Valeur spécifiée par le fabricant pour désigner le parafoudre (pour le classement des types). Elle sert à indiquer la gamme d'applications du parafoudre par rapport aux conditions de service de l'installation à protéger. Les tolérances sur la tension continue d'amorçage sont aussi rapportées à cette valeur nominale.

3.4 tension alternative d'amorçage d'un parafoudre

Valeur efficace de la tension à laquelle le parafoudre fonctionne quand on lui applique une tension alternative croissant lentement et ayant une fréquence comprise entre 15 Hz et 62 Hz.

Elle est essentiellement utilisée pour indiquer la gamme d'application lorsque les parafoudres sont prévus comme protecteurs en cas de rapprochements et croisements de lignes de télécommunications avec des lignes électriques.

3.5 tension d'amorçage au choc d'un parafoudre

Tension la plus élevée qui apparaît aux bornes du parafoudre, au moment où le courant de décharge apparaît, lorsqu'on lui applique une onde de choc de forme donnée.

3.6 courbe de tension d'amorçage au choc en fonction du temps d'un parafoudre

Courbe qui représente la tension d'amorçage au choc en fonction du temps jusqu'à l'amorçage.

3.7 courant alternatif de décharge

Valeur efficace d'un courant alternatif à peu près sinusoïdal passant par le parafoudre.

3.8 courant alternatif de décharge nominal

Le courant alternatif de décharge nominal pour une fréquence de 15 à 62 Hz est le courant alternatif de décharge pour lequel le parafoudre est dimensionné, en tenant compte d'un temps de passage bien défini pour ce courant.

3.9 courant de choc de décharge

Valeur de crête du courant de choc qui parcourt le parafoudre après son amorçage.

3.10 courant nominal de choc de décharge

Valeur de crête du courant de choc pour laquelle le parafoudre est dimensionné, le temps de passage étant bien défini par la forme d'onde du courant.

3.11 caractéristique de destruction

Cette caractéristique indique la relation entre la valeur du courant de décharge et la durée du passage de ce courant au bout de laquelle le parafoudre est détruit mécaniquement (rupture, court-circuit entre électrodes). On la déduit de la moyenne de mesures exécutées sur plusieurs parafoudres.

Pour des durées comprises entre 1 microseconde et quelques millisecondes, il s'agit du courant de choc de décharge, et pour les durées supérieures à 0,1 seconde il s'agit du courant alternatif de décharge.

3.12 tension résiduelle

Valeur instantanée de la tension qui apparaît aux bornes d'un parafoudre pendant le passage d'un courant de décharge.

On distingue la tension résiduelle de décharge en régime d'effluve et la tension résiduelle de décharge en régime d'arc, car cette grandeur dépend du type de décharge.

3.13 courant d'effluve

Valeur instantanée du courant de décharge lorsque les électrodes du parafoudre sont enveloppées d'un effluve.

3.14 courant d'arc

Valeur instantanée du courant de décharge lorsqu'un arc se ferme entre les électrodes du parafoudre.

3.15 courbe de tension en fonction du courant de décharge

La courbe de tension en fonction du courant de décharge pour des courants alternatifs ayant une fréquence de 15 à 62 Hz donne la relation entre la valeur instantanée de la tension et le courant dans le parafoudre pendant le passage du courant de décharge.

3.16 tension transversale

La tension transversale pour un parafoudre comportant plus de deux électrodes est la différence entre les tensions résiduelles aux électrodes du parafoudre associées aux deux conducteurs d'un circuit de télécommunications pendant le passage du courant de décharge.

4 Conditions générales

4.1 Le parafoudre doit être construit et dimensionné de manière à ne présenter aucun danger pour les personnes ou pour son entourage, qu'il fonctionne normalement ou qu'il présente un défaut.

Il convient d'attirer l'attention sur les questions d'échauffement inadmissible, de destruction lors de surcharge et d'absence de rayonnement en cas de préionisation par des substances radioactives.

La construction mécanique d'un parafoudre est de la plus haute importance, notamment pour ce qui est de la partie scellée entre métal et enveloppe. En règle générale, cette partie doit avoir une section transversale suffisamment grande pour qu'une décharge, même intense, ne la brise ni ne la fendille. Cela s'applique particulièrement aux connexions qui la traversent.

Il est également souhaitable que la construction du parafoudre soit telle que les chocs mécaniques n'altèrent pas ses caractéristiques électriques.

4.2 Les tensions d'amorçage des parafoudres doivent être choisies de telle façon:

4.2.1 qu'elles soient adaptées à la rigidité diélectrique de l'isolation de l'installation à protéger;

4.2.2 qu'il soit tenu compte des prescriptions de sécurité en vigueur pour la protection des personnes contre des surtensions de courte durée;

4.2.3 qu'elles soient situées suffisamment au-dessus des tensions maximales de service afin de ne pas perturber les circuits en service.

4.3 La résistance de l'isolement et la capacité des parafoudres doivent être telles que le fonctionnement des circuits de télécommunications ne soit aucunement perturbé.

4.4 Le parafoudre ne doit pas être maintenu en fonctionnement par la tension normale de la ligne après que la surtension a disparu.

5 Termes et valeurs types désignant les parafoudres

Les caractéristiques électriques des différents types de parafoudres sont indiquées par les termes et valeurs suivants:

5.1 *Tensions d'amorçage en fonction du temps à partir du moment de l'application de la tension jusqu'au début du courant de décharge*

Un exemple de la caractéristique $U_a = f(t)$ est donné à l'appendice I.

Les tensions d'amorçage sont:

5.1.1 la tension continue nominale d'amorçage;

5.1.2 la tension de choc d'amorçage en présence d'une tension de choc normalisée selon le § 7.

5.2 *Capacité de décharge en fonction de la durée de la décharge*

Les valeurs indiquant la capacité de décharge sont:

5.2.1 le courant alternatif nominal de décharge, s'écoulant pendant un temps déterminé;

5.2.2 le courant nominal de choc de décharge ayant une forme d'onde normalisée selon le § 7;

5.2.3 la caractéristique de destruction [un exemple de la caractéristique $I_d = f(t)$ est donné à l'appendice II].

5.3 Tensions résiduelles des parafoudres en fonction du courant de décharge [un exemple de la caractéristique $U_r = f(I_d)$ est donné à l'appendice III]

Les tensions résiduelles sont:

5.3.1 la tension résiduelle maximale en cas de décharge en régime d'effluve;

5.3.2 la tension résiduelle en cas de décharge en régime d'arc;

5.3.3 le courant de décharge maximal en régime d'effluve pour lequel la tension résiduelle de décharge en régime d'effluve se transforme en une tension résiduelle de décharge en régime d'arc.

5.4 Caractéristiques utilisées pour désigner les types de parafoudre selon le genre de surtension à limiter

5.4.1 En cas de surtensions aux fréquences industrielles de 15 à 62 Hz, on adopte les valeurs nominales spécifiées aux § 5.1.1, 5.2.1 et 5.3.3 ci-dessus.

Le tableau 1/K.12 indique les caractéristiques des types de parafoudres normalisés.

TABLEAU 1/K.12

Type normalisé n°	Caractéristiques		
	Tension continue nominale d'amorçage (voir le § 5.1.1)	Courant alternatif nominal de décharge (valeur efficace) (voir le § 5.2.1)	Courant de décharge maximal en régime d'effluve (voir le § 5.3.3)
1	Choix de la valeur nominale en tenant compte du § 4.2	5 A	De moins de 0,5 A à 1,5 A
2		20 A	
3		50 A	

5.4.2 En cas de surtensions par suite de décharges atmosphériques, on adopte les valeurs spécifiées aux § 5.1.1 et 5.2.2 ci-dessus.

Le tableau 2/K.12 indique les caractéristiques des types de parafoudres normalisés.

TABLEAU 2/K.12

Type normalisé n°	Caractéristiques		
	Tension continue nominale d'amorçage (voir le § 5.1.1)	Courant nominal de choc de décharge (voir le § 5.2.2)	Tension d'amorçage de choc (voir le § 5.1.2)
4	Choix de la valeur nominale en tenant compte du § 4.2	2,5 kA	Pour les limites supérieures, voir les tableaux 3/K.12 et 4/K.12
5		10 kA	
6		20 kA	

5.4.3 En cas de surtensions produites dans la même installation de télécommunications tant par les influences d'installations à courant fort de fréquence industrielle que par les décharges atmosphériques: une combinaison des valeurs relatives aux types normalisés 1 et 4 (type normalisé 1-4), 2 et 5 (type normalisé 2-5) ou 3 et 6 (type normalisé 3-6).

5.5 Tolérances sur les valeurs nominales

5.5.1 Les valeurs limites supérieures *et* inférieures (tolérance) de la tension continue d'amorçage sont déterminées par la condition posée au § 4.2. Ces limites doivent être respectées même après plusieurs décharges selon les valeurs des tableaux 1/K.12 et 2/K.12.

5.5.2 Pour les autres valeurs, il suffit d'indiquer la valeur limite supérieure *ou* inférieure suivant la caractéristique considérée.

5.5.3 Les valeurs limites incluent les influences du milieu ambiant et de l'emplacement (température ambiante, polarité, lumière).

Remarque – Des indications sur les valeurs limites sont données au § 8 (Essais de type).

6 Considérations générales sur les essais

6.1 Les essais comprennent:

6.1.1 des essais de type selon le § 8, pour le contrôle des caractéristiques électriques et mécaniques d'un type de parafoudre;

6.1.2 des essais de réception selon le § 9, pour le contrôle d'échantillons pris au hasard dans une livraison.

6.2 Le contrôle des caractéristiques électriques doit être exécuté d'après des méthodes statistiques, car les phénomènes physiques de la décharge en milieu gazeux subissent des variations statistiques. Chaque essai doit être effectué sur plusieurs échantillons.

6.3 Pour les parafoudres avec plusieurs espaces de décharge dans la même enceinte, le contrôle des caractéristiques électriques s'effectue séparément pour chaque espace de décharge.

6.4 Le contrôle des caractéristiques mécaniques comprend le contrôle des dimensions et la fiabilité des jonctions des capots ou des plaques de contact fixés au parafoudre. Si les parafoudres doivent être utilisés dans un milieu ambiant dont l'humidité est élevée, une épreuve de résistance à la corrosion peut être utile.

6.5 Les parafoudres peuvent être soumis à des essais de choc thermique si les usagers en font la demande.

7 Tensions et courants d'essai normalisés

7.1 Pour l'épreuve de tension de choc d'amorçage (§ 5.1.2), on utilise une tension de choc ayant une forme d'onde 5/65 et une valeur de crête de 5 kV (définition de la forme d'onde conforme à [1]).

A la place de cette tension de choc, on peut aussi utiliser une tension qui augmente linéairement jusqu'à 5 kV en 5 microsecondes (raideur conventionnelle du front de l'onde de tension = 1 kV/ μ s).

La figure 1/K.12 donne à titre d'exemple le montage de mesure pour une raideur conventionnelle du front de l'onde de tension de 1 kV/ μ s.

Les dispositifs d'essai pour tensions de choc doivent tenir compte des phénomènes transitoires qui se produisent avec les impulsions, comme par exemple de la fréquence limite du dispositif de mesure et de la terminaison sans réflexion de la ligne de mesure.

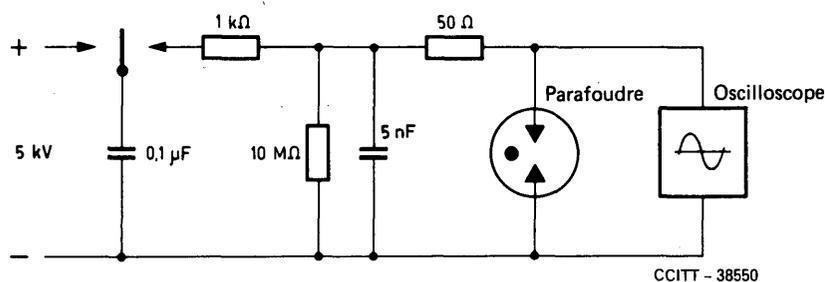


FIGURE 1/K.12

Montage de mesure produisant une raideur conventionnelle du front de l'onde de tension de 1 kV/ μ s

7.2 Pour l'épreuve de charge avec des courants de choc (§ 5.2.2), on utilise un courant de choc ayant une forme d'onde 8/20 et une valeur de crête selon le tableau 2/K.12 (définition de la forme d'onde conforme à [1]).

7.3 La tension utilisée pour l'épreuve de tension continue d'amorçage doit être une tension qui augmente lentement, à une vitesse maximale de 10 kV par seconde.

8 Essais de type

8.1 Tensions d'amorçage

8.1.1 Tension continue d'amorçage

Avant d'exécuter les essais décrits aux § 8.2.1 et 8.2.2, on fait quatre mesures (deux pour chaque polarité) sur tous les spécimens qui seront soumis aux essais. L'évaluation des résultats se fait conformément au tableau 3/K.12.

TABLEAU 3/K.12

Essai décrit au	Tension continue d'amorçage		Pourcentage des valeurs mesurées devant respecter la tolérance (voir le § 6.2)
	Valeurs nominales de la tension continue (voir le § 5.1.1)	Valeurs limites supérieures de la tension de choc à 1 kV/ μ s (voir le § 5.5.1)	
§ 8.1.1	Choix de la valeur nominale en tenant compte du § 4.2	$\pm 20\%$ a)	95% b)
§ 8.2.1			80% b)
§ 8.2.2			

a) Cette tolérance peut être modifiée selon les conditions indiquées dans le § 4.2 de cet Avis.

b) Tout parafoudre d'un lot donné soumis aux essais qui ne satisfait pas aux tolérances doit néanmoins amorcer pendant l'essai.

8.1.2 Tension de choc d'amorçage

En appliquant la tension de choc spécifiée au § 7.1, on mesure dix fois (cinq fois dans chaque sens) la tension de choc d'amorçage de 20 parafoudres qui ont satisfait aux essais décrits au § 8.1.1. L'évaluation des résultats se fait conformément au tableau 4/K.12.

TABLEAU 4/K.12

Essai décrit au	Tension d'amorçage au choc		Pourcentage des valeurs mesurées devant respecter la tolérance (voir le § 6.2)
	Valeurs nominales (voir le § 5.1.1)	Valeurs limites supérieures à 1 kV/ μ s (voir le § 5.5.2)	
§ 8.1.2	< 150 V	< 1 kV	80% a)
	150 à 500 V	Entre 1 et 2 kV	
	500 à 1500 V	Entre 2 et 3 kV	

a) Tout parafoudre d'un lot donné soumis aux essais qui ne satisfait pas aux tolérances doit néanmoins amorcer pendant l'essai.

8.1.3 Si l'enveloppe du parafoudre est transparente à la lumière, les essais ci-dessus se feront dans l'obscurité après que le parafoudre y aura été stocké pendant une durée suffisante. (A déterminer selon le type du parafoudre en question.) Il convient d'observer un intervalle de quelques secondes entre deux mesures successives.

8.2 Courants de décharge

8.2.1 Courant alternatif de décharge

L'essai est effectué avec le courant alternatif de décharge nominal (avec une tolérance de $\pm 10\%$) sur 20 parafoudres qui ont satisfait aux essais décrits au § 8.1.1. L'essai se déroule comme suit: le courant est appliqué à chaque parafoudre dix fois de suite pendant 1 seconde, à intervalles de 3 minutes; après refroidissement, on mesure la tension continue d'amorçage et on évalue les résultats conformément au tableau 3/K.12.

Si l'utilisateur estime la chose nécessaire pour la protection contre les décharges atmosphériques, on procède également aux essais décrits au § 8.1.2 et on évalue les résultats conformément au tableau 4/K.12.

8.2.2 Courant de choc de décharge

L'essai est effectué avec le courant de choc de décharge (avec les tolérances indiquées en [1]) sur 20 autres parafoudres qui ont satisfait aux essais décrits aux § 8.1.1 et 8.1.2. L'essai se déroule comme suit: le courant de choc est appliqué à chaque parafoudre dix fois (cinq essais pour chaque polarité) à intervalles de 3 minutes; après refroidissement, on mesure la tension continue d'amorçage et la tension de choc d'amorçage et on évalue les résultats conformément aux tableaux 3/K.12 et 4/K.12.

8.2.3 Caractéristique de destruction

Cette caractéristique doit être appliquée par le fabricant pour chaque type de parafoudre, avec une indication sur la dispersion des valeurs mesurées. Si l'utilisateur désire que le fabricant procède à une vérification de cette caractéristique, il suffira de faire un essai en un point de la courbe, et cela sur trois parafoudres. Si un parafoudre est détruit au cours de cet essai en courant alternatif, il faut que sa destruction soit provoquée par un court-circuit.

8.3 Caractéristique de la tension en fonction du courant de décharge

Les valeurs indiquées aux § 5.3.1, 5.3.2 et 5.3.3 doivent être mesurées, comme il est indiqué dans le schéma de la figure 2/K.12, sur trois autres parafoudres qui ont satisfait aux essais décrits au § 8.1.1. A cet effet, on applique un courant alternatif de fréquence industrielle pendant 3 secondes. La valeur efficace de la tension appliquée doit être comprise entre le double et le triple de la tension nominale d'amorçage et l'intensité doit être limitée à une valeur d'environ deux fois la valeur de l'intensité du courant de décharge en régime d'effluve donné par le tableau 1/K.12.

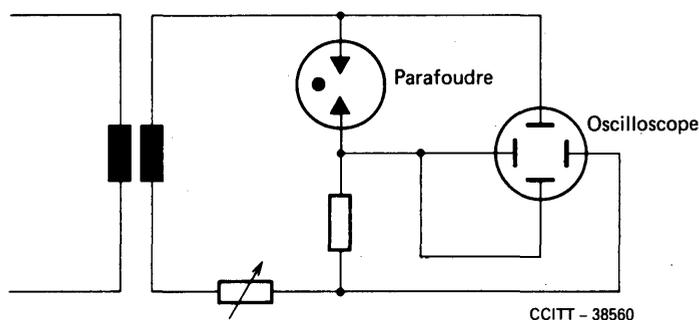


FIGURE 2/K.12

Montage de mesure pour les caractéristiques indiquées aux § 5.3.1, 5.3.2 et 5.3.3

Les résultats seront enregistrés au moyen d'un oscilloscope associé à une caméra dont l'obturateur sera ouvert avant que le courant soit appliqué et restera ouvert pendant toute la durée des 3 secondes.

8.3.1 La tension résiduelle, dans le cas de décharge en régime d'effluve, est en général supérieure à 60 V. Son maximum ne doit pas dépasser 1,3 fois la valeur de la tension continue d'amorçage.

8.3.2 La tension résiduelle, dans le cas de décharge en régime d'arc, doit être inférieure à 25 V.

8.3.3 Le courant de décharge maximal, dans le cas de décharge en régime d'effluve (passage du régime d'effluve au régime d'arc), ne doit pas dépasser la valeur indiquée au tableau 1/K.12.

Les limites supérieures de ces valeurs doivent être déterminées d'après les oscillogrammes (voir aussi l'appendice III).

8.4 Tension transversale des parafoudres comportant trois électrodes ou davantage

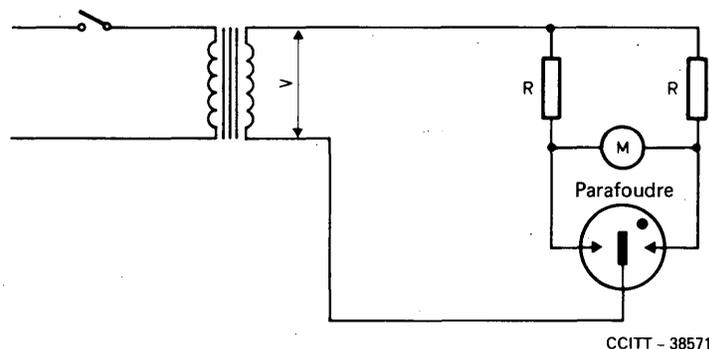
Les mesures suivantes doivent être effectuées entre les couples d'électrodes attribués aux deux conducteurs d'un même circuit et l'électrode de terre commune.

Les mesures doivent être faites sur dix parafoudres qui auront été essayés et approuvés conformément aux dispositions des § 8.1.1 et 8.1.2.

8.4.1 Tension transversale en régime alternatif

La valeur moyenne de la tension transversale doit être mesurée pendant que les deux électrodes de décharge sont parcourues simultanément par un courant de décharge alternatif. Les mesures peuvent être effectuées avec un dispositif comme celui de la figure 3/K.12. La valeur efficace de la tension appliquée doit être le double et le triple de la tension nominale d'amorçage et la valeur des résistances R doit être telle que la valeur de crête du courant soit à peu près le double du courant de décharge maximal en régime d'effluve (passage du régime d'effluve au régime d'arc, voir le § 8.3.3). La durée de la décharge ne doit pas dépasser 3 secondes.

Le maximum de la tension transversale moyenne ne doit pas dépasser 45 V dans neuf des dix parafoudres soumis à la mesure.



Remarque – Le voltmètre M doit avoir une résistance au moins égale à $20\text{ k}\Omega$ et une échelle avec déviation complète de 100 V environ. Ce doit être un appareil à cadre mobile et redresseur, étalonné de manière à permettre la lecture des valeurs moyennes.

Si l'appareil est étalonné en vue de la lecture des valeurs efficaces des tensions sinusoïdales, on multiplie les valeurs lues par 0,9 pour obtenir les moyennes.

FIGURE 3/K.12

Montage de mesure pour les caractéristiques de parafoudres à trois électrodes dont il est question au § 8.4.1 (tension transversale pendant une décharge par courant alternatif)

8.4.2 Tension transversale en régime impulsif

La durée de la tension transversale doit être mesurée pendant qu'une tension de choc, dont le front d'onde a une raideur conventionnelle de $1\text{ kV}/\mu\text{s}$, est appliquée simultanément aux deux électrodes de décharge. Les mesures peuvent être effectuées avec un dispositif comme celui indiqué à la figure 4/K.12. L'intervalle de temps entre l'amorçage de la première électrode et celui de la seconde ne doit pas dépasser 0,2 microseconde dans neuf des dix parafoudres soumis à la mesure.

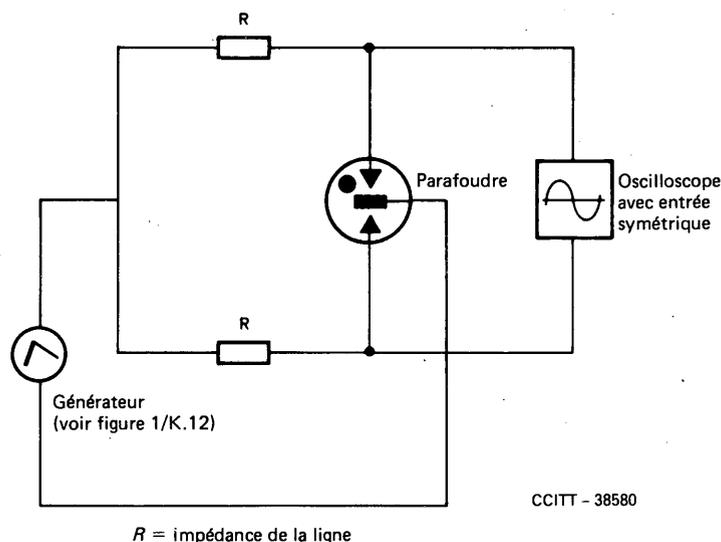


FIGURE 4/K.12

Montage de mesure pour les caractéristiques de parafoudres à trois électrodes dont il est question au § 8.4.2 (tension transversale pendant une décharge de choc)

8.5 Résistance d'isolement

La résistance d'isolement doit être mesurée avec un équipement approprié, sous une tension inférieure à la tension continue d'amorçage des parafoudres, ceux-ci ayant séjourné pendant 24 heures dans une atmosphère humide (à la température ambiante et à une humidité relative de l'ordre de 83%, par exemple dans une atmosphère saturée au-dessus d'une solution saturée de chlorure de potassium). La résistance d'isolement ne doit pas être inférieure à 10^8 ohms, après l'exécution des essais décrits aux § 8.2.1 et 8.2.2. Les mesures de résistance d'isolement doivent porter sur les parafoudres qui ont été soumis aux essais.

8.6 Capacité

La capacité propre doit être mesurée sur trois parafoudres. Elle doit être inférieure à 10 pF.

8.7 Rayonnement

Le rayonnement émanant de toute substance radioactive utilisée pour préioniser l'espace entre électrodes doit se trouver dans les limites indiquées comme admissibles dans les règlements concernant la protection contre les radiations, en vigueur dans le pays du fabricant et dans celui de l'utilisateur. Cela s'entend aussi bien pour les parafoudres individuels que pour un lot de parafoudres (par exemple, en cas d'emballage dans un carton de transport, d'emménagement, etc.).

Un essai de type n'est pas nécessaire si le fabricant a communiqué des données sur la nature et sur la quantité de la substance radioactive, ainsi que sur le rayonnement qui en émane.

8.8 Propriétés mécaniques

Il peut être procédé à un essai des propriétés mécaniques conformément aux indications générales exposées aux § 4.1, 6.4 et 6.5.

9 Essais de réception

On soumet aux essais de réception un nombre de parafoudres qui dépend de l'importance du lot de fabrication considéré.

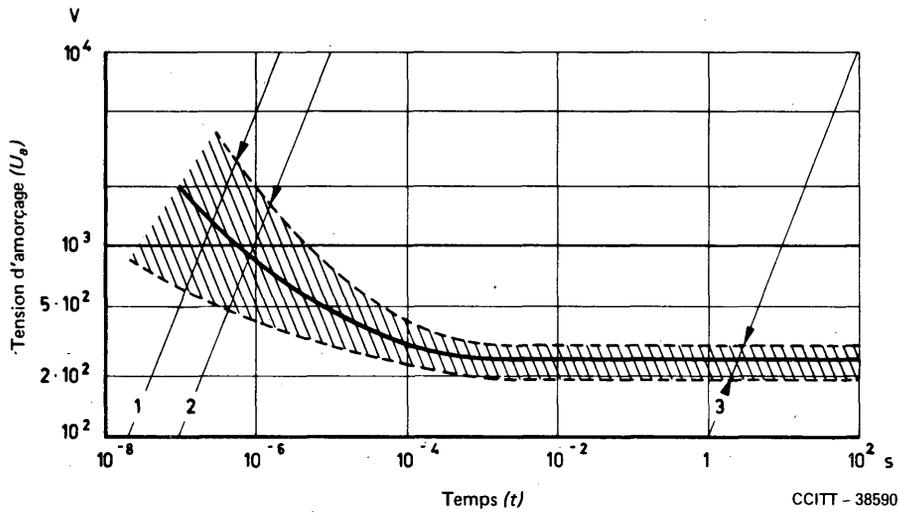
Les valeurs suivantes sont indiquées à titre de guide seulement:

Lot	Essai de réception
Jusqu'à 1 000 parafoudres	au moins 20 parafoudres
Jusqu'à 10 000 parafoudres	au moins 50 parafoudres
Jusqu'à 50 000 parafoudres	au moins 100 parafoudres

Les essais de réception comportent la mesure de la tension continue d'amorçage à raison de deux fois par échantillon. L'évaluation des résultats s'effectue conformément aux indications des tableaux 3/K.12 et 4/K.12.

APPENDICE I

Caractéristique d'amorçage $U_a = f(t)$ indiquée au § 5.1



1. Exemple avec $5 \text{ kV}/\mu\text{s}$

2. Exemple avec $1 \text{ kV}/\mu\text{s}$

3. Exemple avec 100 V/s

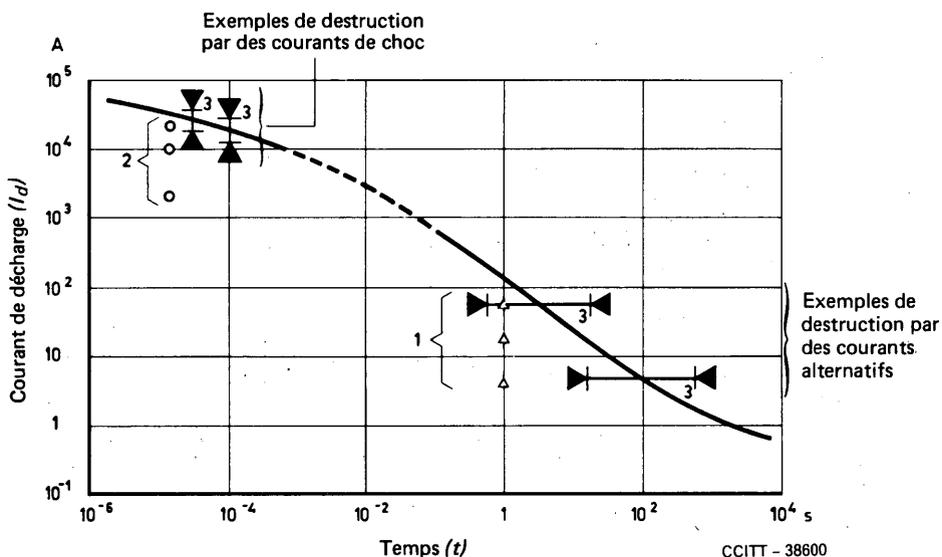
} Essai selon le
§ 8.1.2,
valeur limite
supérieure

Essai selon le
§ 8.1.1,
tolérance

FIGURE I-1/K.12

APPENDICE II

Courants de décharge selon les § 5.2.1, 5.2.2 et caractéristique de destruction $I_d = f(t)$ selon le § 5.2.3



Capacité de décharge

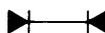
- 1. Essai avec courants alternatifs de décharge selon le § 8.2.1 △
- 2. Essai avec courant de choc de décharge selon le § 8.2.2 ○

Destruction

- 3. Essai de destruction mécanique selon le § 8.2.3



Marge de dispersion en cas de courants de choc

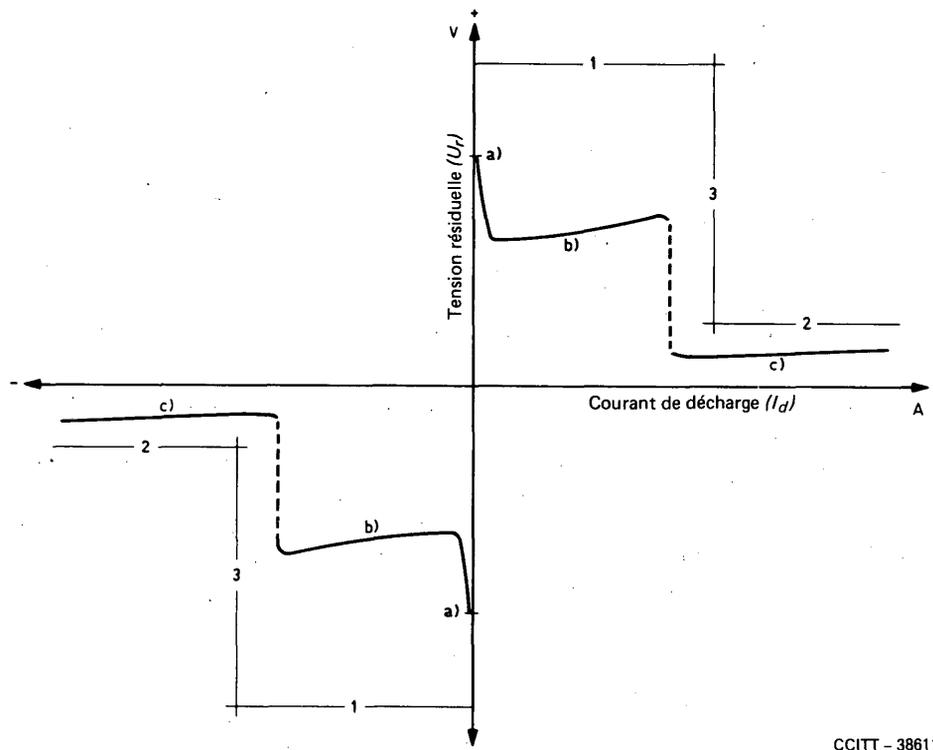


Marge de dispersion en cas de courants alternatifs

FIGURE II-1/K.12

APPENDICE III

Courbe tension-courant de décharge $U_r = f(I_d)$ indiquée au § 5.3



CCITT - 38611

- a) Tension d'amorçage
- b) Tension résiduelle en cas de décharge en régime d'effluve, § 5.3.1
- c) Tension résiduelle en cas de décharge en régime d'arc, § 5.3.2

Valeurs limites supérieures

- 1. Essai selon le § 8.3.1
- 2. Essai selon le § 8.3.2
- 3. Essai selon le § 8.3.3

FIGURE III-1/K.12

Référence

- [1] Publication 60/1962 de la CEI.

TENSIONS INDUITES DANS LES CÂBLES À CONDUCTEURS ISOLÉS AU MOYEN DE MATIÈRE PLASTIQUE

D'après [1], on admet, en cas de défaut sur une ligne électrique voisine d'un câble de télécommunications dont tous les circuits sont terminés sur des translateurs, une force électromotrice longitudinale induite dans les conducteurs de ce câble au plus égale à 60% de la tension utilisée en vue de vérifier la rigidité diélectrique du câble fixée dans ses spécifications, lorsqu'on veut vérifier la résistance au claquage des conducteurs du câble par rapport à l'enveloppe. Cette valeur est en général de $1200 V_{\text{eff}}$ lorsque les conducteurs sont isolés au papier (60% de 2000 V). Les *Directives* ne contiennent aucune indication sur la fréquence de l'apparition de cette tension ni sur la durée admissible pour son existence. Pour que la tension dont il s'agit ne constitue pas un danger pour le personnel chargé de la maintenance des lignes, il faut observer les dispositions concernant la sécurité du personnel, qui figurent en [2].

On peut donner aux câbles à conducteurs isolés au moyen de matière plastique une rigidité diélectrique bien supérieure à celle des câbles isolés au papier. De plus, cette rigidité se conserve après les efforts mécaniques dus à la pose du câble. On ne doit pas avoir à redouter de claquage de l'isolant entre les conducteurs et l'enveloppe métallique en cas de f.é.m. induites lorsque celles-ci restent nettement inférieures à la tension de claquage du câble. On obtiendra une marge de sécurité suffisante en limitant ces tensions induites à une valeur égale à 60% de la tension fixée dans les spécifications et utilisée en vue de vérifier la rigidité diélectrique du câble, cette tension étant évidemment fonction de la tension de claquage.

Moyennant une faible dépense supplémentaire, on peut exécuter des manchons et des joints de telle façon qu'ils résistent à une tension égale à celle utilisée pour vérifier l'isolation entre les conducteurs du câble et son enveloppe métallique. Bien entendu, les translateurs et les dispositifs terminaux devront être protégés lorsque leur rigidité diélectrique ne répondra pas aux conditions exigées.

Si la ligne électrique qui est à l'origine des f.é.m. longitudinales est une ligne électrique à grande sécurité de service selon la définition des *Directives*, il y a une très faible probabilité pour que du personnel soit précisément en contact avec une ligne de télécommunications au moment où une telle tension de courte durée apparaît dans le câble de télécommunications. Le risque de danger pour le personnel est très réduit lorsque l'on considère en outre les dispositions à prendre pour la sécurité du personnel chargé de la maintenance des lignes téléphoniques susceptibles d'être portées à une tension élevée sous l'effet de lignes électriques.

Dans le cas où les circuits d'un câble ne sont pas terminés sur des translateurs, les conditions ci-dessus s'appliquent pourvu que l'on empêche les surtensions d'atteindre les équipements de télécommunications grâce à l'amorçage de parafoudres protecteurs installés aux extrémités des circuits.

Pour ces motifs, le CCITT émet à l'unanimité l'avis suivant :

1 Il est possible de construire des câbles de télécommunications à conducteurs isolés entre eux ainsi que de l'enveloppe métallique par des matières plastiques à haute rigidité diélectrique. Sur de tels câbles, en cas de défaut affectant une ligne d'énergie électrique voisine, on peut admettre une f.é.m. longitudinale induite qui ne dépasse pas 60% de la valeur de la tension d'essai appliquée entre les conducteurs et l'enveloppe métallique du câble pour en vérifier la rigidité diélectrique (cette tension d'essai, fixée dans les spécifications du câble, étant fonction de la tension de claquage) lorsque toutes les conditions suivantes sont remplies:

- a) les circuits de ces câbles sont terminés à leurs extrémités et aux points de dérivation sur des translateurs ou munis de parafoudres;
- b) les équipements, les joints et les têtes de câbles reliés aux conducteurs doivent être réalisés de façon qu'ils résistent à la même tension que celle qui est utilisée pour vérifier l'isolation entre les conducteurs et l'enveloppe métallique du câble, à cela près que les translateurs mentionnés sous a) doivent être protégés par des parafoudres lorsque leur rigidité diélectrique ne répond pas aux conditions exigées;
- c) la ligne électrique inductrice doit être une ligne électrique à grande sécurité de service, selon la définition donnée en [3];
- d) le personnel qui travaille sur des câbles de télécommunications doit observer les dispositions à prendre pour la sécurité du personnel indiquées en [2].

2 Si les circuits d'un tel câble sont reliés aux équipements de télécommunications directement, c'est-à-dire sans insertion de translateurs, s'ils ne sont pas munis de parafoudres et si la condition énoncée à l'alinéa c) du § 1 ci-dessus est respectée, on admet une f.é.m. longitudinale de 650 V.

Références

- [1] Manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques*, section 2 du chapitre IV, UIT, Genève, 1963, 1965, 1974, 1978.
- [2] *Ibid.*, chapitre XX.
- [3] *Ibid.*, chapitre préliminaire, § 3.2.3.

Avis K.14 (Genève, 1972)

EMPLOI D'UN ÉCRAN MÉTALLIQUE SUR LES CÂBLES À REVÊTEMENT EN MATIÈRE PLASTIQUE

Un revêtement métallique procure à un câble un écran électrostatique et, jusqu'à un certain degré, un écran magnétique; un revêtement en matière plastique ne possède aucune de ces propriétés. Certains câbles à revêtement de plastique, par exemple les câbles isolés au papier, comportent un écran métallique d'étanchéité. Un écran métallique de ce genre, généralement réalisé sous forme d'un ruban d'aluminium posé dans le sens de la longueur, offre les mêmes propriétés d'écran qu'une enveloppe de métal non ferreux ayant la même conductivité longitudinale. Cependant, le ruban doit être connecté aux systèmes de prise de terre des centraux téléphoniques, à ses extrémités et/ou à des points de mise à la terre convenablement placés, comme par exemple à des gaines métalliques de câbles, le long de son trajet. Il importe en outre que, aux points de soudure du câble, la continuité du ruban soit assurée par des connexions de très faible résistance. L'effet d'écran procuré par le ruban peut être faible à 50 Hz, mais il peut être notable à des fréquences sur lesquelles se produisent des bruits perturbateurs. La présence d'un écran sur un câble réduit aussi l'induction provenant de composantes haute fréquence de courants transitoires causés par la commutation de lignes de transport d'énergie ou par des décharges orageuses; de telles tensions induites transitoires sont d'autant plus redoutables qu'on emploie davantage de matériel de télécommunications miniaturisé à très faible capacité thermique.

Se fondant sur les considérations ci-dessus et sur l'expérience acquise en matière d'utilisation de câbles à revêtement en matière plastique,

le CCITT émet l'avis suivant :

1 Etant donné que les câbles à revêtement en matière plastique et non pourvus d'écran donnent satisfaction pour le raccordement des abonnés aux centraux, on peut les utiliser dans les endroits où il n'y a pas de chemins de fer électriques fonctionnant en courant alternatif. Il faut cependant toujours tenir compte du risque de perturbation que l'on peut observer au voisinage de chemins de fer électriques et spécialement de ceux dont les locomotives sont équipées de dispositifs commandés par des thyristors. Il faut également tenir compte des éventuelles perturbations par les émetteurs radioélectriques qui travaillent dans la même gamme de fréquences que les circuits acheminés sur le câble à revêtement en matière plastique.

2 Les câbles interurbains et de jonction devraient être munis d'un écran qui puisse avoir la forme d'un ruban d'étanchéité en aluminium. Des câbles munis d'un écran, dont la conductance est de l'ordre de la moitié de celle d'un câble sous plomb dont l'âme a le même diamètre, ont donné complète satisfaction là où il n'y a pas de risques graves d'induction magnétique.

3 Si un câble à revêtement en matière plastique est muni d'un écran de conductance équivalant à celle d'un câble sous plomb classique, on constate que, en présence d'induction, ce câble peut être utilisé exactement dans les mêmes circonstances que le câble sous plomb.

4 Si l'effet produit par l'écran spécifié aux § 2 et 3 n'est pas suffisant pour limiter à des valeurs admissibles l'induction à la fréquence du secteur ou à ses harmoniques, par les lignes électriques ou les voies ferrées électrifiées avoisinantes, on pourra améliorer cet effet réducteur:

4.1 en augmentant, si besoin est, l'inductance du revêtement métallique au moyen d'un enroulement comportant des rubans d'acier;

4.2 en augmentant la conductance de l'écran existant en insérant sous cet écran des rubans ou des fils métalliques supplémentaires.

Il peut être nécessaire aussi d'améliorer l'effet réducteur s'il y a un risque de bruit perturbateur au voisinage de voies ferrées électrifiées équipées de dispositifs commandés par des thyristors.

5 L'écran doit être connecté aux systèmes de prise de terre des centres de télécommunications. En ce qui concerne les câbles d'abonnés, l'extrémité éloignée doit être reliée à une prise de terre adéquate. Il importe en outre que, aux joints du câble, la continuité du ruban soit assurée par des connexions de très faible résistance.

6 Etant donné l'augmentation du nombre des installations électriques et l'intensité des harmoniques du fait des techniques nouvelles, il faut s'attendre à une aggravation des effets d'induction. A cet égard, il peut se révéler extrêmement utile d'améliorer l'effet réducteur des câbles à revêtement en matière plastique comme indiqué ci-dessus.

7 Si l'on est amené à poser des câbles dans des zones qui risquent de recevoir des décharges atmosphériques, l'attention est attirée sur l'importance de l'écran métallique et de sa construction pour la protection des câbles contre la foudre, de même que sur l'importance des interconnexions de l'écran à d'autres structures [1].

Référence

- [1] Manuel du CCITT *Protection des lignes et installations de télécommunication contre la foudre*, chapitre 4, § 2.1, UIT, Genève, 1974, 1978.

Avis K.15 (Genève, 1972)

PROTECTION DES INSTALLATIONS DE TÉLÉALIMENTATION ET DES RÉPÉTEURS DE LIGNE CONTRE LES COUPS DE Foudre ET LES PERTURBATIONS DUES AUX LIGNES ÉLECTRIQUES VOISINES

Avis préliminaire

Afin de réduire les effets des perturbations d'origine extérieure sur le fonctionnement de la téléalimentation des répéteurs, le CCITT recommande que, chaque fois que possible, le système de téléalimentation des répéteurs soit établi de sorte que le circuit dans lequel circulent les courants de téléalimentation, compte tenu des organes qui lui sont connectés, reste symétrique par rapport à l'enveloppe et à la terre et qu'il ne présente pas de trajet à faible impédance pour les courants longitudinaux.

Introduction

La présence de composants ne pouvant supporter que des surtensions modérées, en particulier d'éléments semi-conducteurs (transistors, etc.) dans les équipements de télécommunications, oblige à prendre des mesures de protection contre les surtensions qui peuvent apparaître à leurs bornes, et cela même si les surtensions ne dépassent que de peu les tensions de service, car elles sont encore capables de perturber le fonctionnement de ces éléments ou même de provoquer leur destruction.

Outre cela, le fonctionnement des liaisons comportant des répéteurs peut être perturbé par les forces électromotrices induites par des lignes électriques, la perturbation étant fonction du mode d'exploitation de ces lignes électriques et pouvant exister même en l'absence de tout défaut sur lesdites lignes.

Les composants, et en particulier les éléments semi-conducteurs des appareils qui sont reliés directement aux conducteurs des lignes de télécommunications, risquent d'être endommagés, étant donné que ces conducteurs, qu'ils soient en câbles ou en lignes aériennes, sont exposés aux surtensions dues aux perturbations extérieures, comme, par exemple, l'induction magnétique créée par des lignes électriques ou par les décharges atmosphériques.

Les répéteurs insérés sur les lignes de télécommunications font partie de cette catégorie d'équipements. Comme la téléalimentation se fait par les conducteurs en câbles ou en lignes aériennes qui sont utilisés pour la transmission, les surtensions peuvent parvenir directement aux bornes des éléments semi-conducteurs et endommager ceux-ci, à moins qu'on n'ait prévu des dispositifs de protection ou une conception appropriée des circuits qui limitent les surtensions aux points sensibles à des valeurs admissibles ou qui en empêchent l'apparition.

Les mesures de protection à prendre dépendent en partie:

- de la valeur des f.é.m. qui peuvent se produire;
- de la constitution de la ligne, surtout s'il s'agit de paires en câbles;
- des dispositions prises en ce qui concerne le conducteur extérieur des paires coaxiales par rapport à l'enveloppe métallique du câble (potentiel flottant ou mise à la terre);
- de la nature de la téléalimentation (courant continu ou courant alternatif).

Si les surtensions apparaissant sur les conducteurs utilisés pour la téléalimentation sont dues à l'induction magnétique créée par des lignes électriques voisines, on peut commencer par déterminer leurs valeurs à l'aide des méthodes de calcul indiquées dans les *Directives*. En vue d'établir les mesures de protection requises, des calculs supplémentaires sont nécessaires.

Si les surtensions sont dues aux décharges atmosphériques, le calcul de leurs valeurs ne donne que des résultats approximatifs. Les protections prévues doivent donc être essayées dans l'appareil concerné et dans des conditions qui se rapprochent le plus possible des conditions réelles.

Les mesures recommandées ci-dessous répondent aux exigences énoncées ci-dessus. Ces mesures ne prétendent pas être complètes, étant donné que la technique évolue encore; elles doivent cependant procurer au fabricant et à l'utilisateur de telles installations un degré élevé de protection.

1 Méthodes de calcul

1.1 En principe, les *Directives* [1] permettent le calcul de la f.é.m. longitudinale induite dans le circuit de téléalimentation. La méthode de calcul est valable aussi bien dans ces conditions de fonctionnement normal qu'en cas de défaut sur la ligne électrique.

1.2 Pour le calcul supplémentaire des tensions et courants induits dans une paire coaxiale, on partira de la f.é.m. longitudinale calculée d'après les indications données dans le § 1.1. Pour ce calcul, il est recommandé de se référer à l'Avis K.16. (Voir également la référence [2].)

1.3 Pour l'évaluation des tensions et courants (valeur de crête des impulsions de courte durée) qui peuvent apparaître dans les circuits de téléalimentation à la suite des décharges atmosphériques, il est recommandé de consulter le manuel cité en [3]. (Voir également la publication mentionnée en [4].)

2 Valeurs limites des surtensions

2.1 Tensions longitudinales provoquées par l'induction magnétique

En principe, les valeurs limites des tensions longitudinales induites indiquées en [5] ne doivent pas être dépassées si l'on n'est pas certain que le matériel (câbles, conducteurs, équipements) est capable de supporter des tensions supérieures. Des limites plus élevées peuvent cependant être admises si un examen préalable de la résistance à la rupture diélectrique de l'isolation des conducteurs et des équipements qui leur sont reliés indique qu'il n'existe aucun risque de claquage [6].

Si l'équipement de téléalimentation porte en permanence le conducteur à un potentiel élevé par rapport à l'enveloppe métallique du câble ou par rapport à la terre, il faut tenir compte du fait que la tension induite se superpose à la tension de téléalimentation [7].

2.2 Surtensions provoquées par des décharges atmosphériques

Les valeurs limites admissibles des tensions de choc dépendent en premier lieu de la rigidité diélectrique de l'isolant des conducteurs et des équipements qui leur sont connectés, à moins que des mesures supplémentaires ne soient prises (par exemple, dans les installations) pour limiter les surtensions à des valeurs inférieures aux tensions de claquage. Les limites admissibles aux bornes des appareils comportant des éléments semi-conducteurs dépendent des caractéristiques de ces éléments.

3 Mesures de protection

3.1 Protection contre les surtensions

Les dispositifs de protection devraient être conçus de manière à remplir leur rôle quelle que soit l'origine des surtensions (induction magnétique, décharges atmosphériques, etc.).

3.1.1 Protection des conducteurs en câbles

Si les valeurs limites indiquées aux § 2.1 et 2.2 sont dépassées, il est recommandé d'appliquer des mesures de protection appropriées. Par exemples, la rigidité diélectrique de l'isolation peut être augmentée quand on réalise de nouvelles installations. Il est également possible d'utiliser des câbles avec un facteur réducteur amélioré. En outre, les tensions peuvent être limitées par des parafoudres ou par d'autres dispositifs limiteurs de tension. Dans le dernier cas, il faut veiller à ce que le parafoudre cesse de fonctionner après la disparition de la surtension et à ce que le conducteur d'alimentation soit de nouveau en état de service; d'autres mesures de protection ne sont pas exclues.

Dans les câbles composites dont certaines paires sont utilisées pour la téléalimentation, il est recommandé d'harmoniser les mesures de protection pour tous les conducteurs de manière qu'il ne se produise pas d'effets défavorables sur l'ensemble du câble.

3.1.2 *Protection des répéteurs*

Une protection doit être prévue aussi bien à l'entrée et à la sortie du répéteur que sur son circuit de téléalimentation.

Il est recommandé d'incorporer aux répéteurs utilisant des composants à état solide, dès leur fabrication, des protections qui auront pour effet d'empêcher les surtensions dangereuses d'arriver aux bornes des composants sensibles, par exemple les éléments semi-conducteurs.

Si l'on utilise des parafoudres pour limiter les surtensions, il faut faire attention au fait que certaines surtensions dont l'amplitude est inférieure à la tension d'amorçage sont encore assez élevées pour endommager certains composants, par exemple les éléments semi-conducteurs, transistors, etc., montés dans les équipements. Il est donc conseillé de réaliser la protection interne en associant aux parafoudres d'autres éléments de protection, par exemple des diodes Zener ou des filtres (qui peuvent déjà exister dans l'équipement). La combinaison de ces éléments à l'intérieur de l'équipement constitue une protection intégrée par l'effet de laquelle les surtensions, quelles que soient leur origine et leur valeur, sont réduites par paliers successifs à un niveau suffisamment faible pour ne pas causer de détériorations.

Il se peut que la protection des répéteurs contre les tensions induites en permanence par les lignes électriques ou les lignes de traction nécessite moins d'éléments et revienne moins cher, si le conducteur extérieur des paires coaxiales est à un potentiel flottant, que s'il est mis à la terre. En contrepartie, quand le conducteur extérieur est relié à la terre, le personnel travaillant sur les lignes à paires coaxiales est mieux protégé contre un contact accidentel avec le conducteur intérieur qui, étant utilisé pour la téléalimentation, est porté de ce fait à un certain potentiel. Les deux formules ayant leurs avantages et leurs désavantages, le choix de l'une ou de l'autre dépendra des exigences de l'exploitation.

3.2 *Mesures à prendre pour assurer un fonctionnement satisfaisant de l'équipement en présence d'une tension perturbatrice induite en permanence sur le câble*

Des mesures doivent être effectuées afin de contrôler le fonctionnement satisfaisant du répéteur, en présence de tensions et de courants perturbateurs induits en permanence par des lignes électriques ou des lignes de traction sur les conducteurs du câble. Les mesures concernent le cas où les lignes électriques perturbatrices ne présentent pas de défauts. Les valeurs des tensions et courants induits peuvent être évaluées au moyen des méthodes de calcul indiquées dans le § 1.1.

4 **Essai des répéteurs téléalimentés utilisant des composants à état solide**

4.1 *Généralités*

Il convient que les conditions d'essai se rapprochent le plus possible des conditions réelles.

Ces conditions d'essai doivent reproduire non seulement les conditions de fonctionnement normal, mais aussi des circonstances accidentelles comme par exemple lorsqu'un conducteur, qui est normalement isolé, entre accidentellement en contact avec l'enveloppe métallique du câble ou avec la terre.

4.2 *Essai au moyen de tensions de choc*

Il est recommandé de se servir des indications contenues dans l'Avis K.17 lors de l'essai au moyen de tensions et de courants de choc. Il convient de souligner qu'en ce qui concerne le choix de l'amplitude des ondes il ne faut pas se contenter de la faire croître jusqu'au maximum, mais il faut aussi faire un essai avec une amplitude inférieure à toutes tensions de seuil des protections (par exemple, tension d'amorçage des parafoudres). L'efficacité des éléments de protection (par exemple, des diodes) est ainsi mise en évidence pour des surtensions dont l'amplitude est faible, mais dont l'énergie peut être élevée.

Dans le cas où l'on utilise des parafoudres, il est nécessaire de s'assurer que leurs tensions d'amorçage sont inférieures à la rigidité diélectrique existant entre les conducteurs et le châssis de l'équipement, afin qu'aucun claquage ne se produise.

4.3 *Essai au moyen de tensions alternatives*

Si les répéteurs sont alimentés par des paires symétriques ou par des paires coaxiales, dont les conducteurs extérieurs sont isolés du sol ou de l'enveloppe métallique du câble, il est recommandé de faire un essai avec une tension alternative pour s'assurer que la rigidité de l'isolement par rapport à la terre est supérieure aux valeurs qui sont admises dans les *Directives* pour les tensions dues à l'induction magnétique.

Pour vérifier le comportement des répéteurs et de leur chemin d'alimentation en cas d'amorçage des parafoudres, on applique aux bornes de ce chemin d'alimentation un courant alternatif correspondant aux indications données dans l'Avis K.17.

Dans les installations où l'on peut s'attendre à une tension d'induction magnétique permanente due par exemple au courant de traction de chemins de fer à courant alternatif, il faut superposer au courant d'alimentation un courant alternatif de même fréquence (50 Hz, 60 Hz, 16 2/3 Hz) et intensité que celui engendré dans la section d'alimentation, quand la tension induite atteint la valeur indiquée en [8]. Pendant le passage de ce courant, le bruit de modulation doit être suffisamment petit pour que les limites sur les sections des circuits fictifs de référence suggérées par la COM XV dans sa Question 11 soient respectées.

Références

- [1] Manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques*, 3^e partie, UIT, Genève, 1963, 1965, 1974, 1978.
- [2] KEMP (J.), SILCOOK (H.W.), STEWARD (C.J.): «Power Frequency Induction on Coaxial Cables with Application to Transistorized Systems», *Electrical Communication*, vol. 40, n° 2, pp. 255-266, 1965. (Même texte en français dans: *Revue des Télécommunications*, vol. 40, n° 2, pp. 254-263, 1965.)
- [3] Manuel du CCITT *Protection des lignes et installations de télécommunication contre la foudre*, UIT, Genève, 1974, 1978.
- [4] KEMP (J.): «Estimating Voltage Surges on Buried Coaxial Cables Struck by Lightning», *Electrical Communication*, vol. 40, n° 3, pp. 381-385, 1965. (Même texte en français dans: *Revue des Télécommunications*, vol. 40, n° 3, pp. 398-402, 1965.)
- [5] Manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques*, chapitre IV, UIT, Genève, 1963, 1965, 1974, 1978.
- [6] *Ibid.*, chapitre IV, alinéa 48.
- [7] *Ibid.*, chapitre IV, alinéa 53.
- [8] *Ibid.*, chapitre IV, alinéas 6, 7 et 35.

Avis K.16 (Genève, 1972)

MÉTHODE SIMPLIFIÉE DE CALCUL POUR ÉVALUER LES EFFETS D'INDUCTION MAGNÉTIQUE DES LIGNES ÉLECTRIQUES SUR LES RÉPÉTEURS TÉLÉALIMENTÉS DES SYSTÈMES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS SUR PAIRES COAXIALES

1 Sommaire

La publication mentionnée en [1] contient un exposé général couvrant tous les cas possibles d'induction magnétique et permettant de calculer la variation, en fonction de l'emplacement, des tensions induites et des courants induits lorsqu'une artère est exposée à l'induction en totalité ou en partie. Le présent Avis donne des indications générales pour déterminer un circuit équivalent permettant de calculer rapidement les valeurs maximales des tensions et des courants dans les conducteurs d'un câble, quelles que soient la longueur et la position de la section du câble exposées à l'induction. Les capacités localisées et l'impédance de transfert de ce circuit équivalent doivent être choisies de façon appropriée. Il n'est besoin ici que de deux groupes de paramètres, selon que la longueur de la section exposée est au plus égale, ou au contraire supérieure, à la moitié de celle de la section d'alimentation. La façon de passer des formules complexes de la publication [1] au calcul simplifié est exposée en annexe A.

Pour vérifier l'utilité de ce circuit équivalent d'application générale, on a calculé en annexe B les valeurs maximales des tensions et des courants induits dans les conducteurs d'un câble lorsque les conducteurs extérieurs sont à potentiel flottant, pour quelques-unes des valeurs de rapprochement qui ont fait l'objet d'une application numérique dans la publication mentionnée ci-dessus. On a également présenté ces valeurs sur des graphiques et l'on peut constater que la méthode de calcul indiquée dans cette annexe B fournit des résultats assez précis pour une utilisation pratique.

L'annexe C montre comment le circuit équivalent doit être modifié dans le cas où les conducteurs extérieurs des paires coaxiales sont reliés à la terre aux extrémités et aux points d'amplification.

Une méthode de calcul analogue, concernant les effets de l'induction magnétique des lignes électriques sur les systèmes de télécommunications installés sur des câbles à paires coaxiales dont le conducteur extérieur est isolé, se trouve également dans la publication mentionnée en [2].

2 Avantages du circuit équivalent

Parmi les grandeurs de référence qui apparaissent dans les formules exactes des publications mentionnées ci-dessus figure la tension longitudinale induite dans le câble, tension que l'on peut calculer selon les méthodes habituelles (voir les *Directives* du CCITT).

Une fois connue la tension longitudinale induite dans le câble, ces formules exactes permettent une évaluation numérique très précise des tensions et des courants induits, mais les résultats obtenus s'écartent des valeurs réelles en raison de la précision limitée avec laquelle sont donnés les paramètres fondamentaux utilisés; or l'expérience montre que cette précision est faible, certains facteurs importants – tels que la conductivité effective du sol – ne pouvant être déterminés avec exactitude.

Etant donné l'imprécision inhérente au calcul de la tension longitudinale induite, laquelle est utilisée comme grandeur de référence, on tolère dans la suite du calcul une erreur supplémentaire d'au plus 20%. Les formules exactes peuvent donc être considérablement simplifiées pour toutes les applications (puisque l'on a presque toujours, en pratique, $\Gamma \cdot l \leq 2$ et $\bar{\Gamma} \cdot l \leq 2$); il est alors possible pour chaque cas de trouver des circuits équivalents correspondants (Γ et $\bar{\Gamma}$ sont respectivement les constantes de propagation des circuits *enveloppe du câble-conducteur extérieur* et *conducteur extérieur-conducteur intérieur*).

3 Enoncé du problème

On peut considérer des circuits équivalents pour les quatre cas d'induction suivants:

- 1) conducteur extérieur mis à la terre, induction uniforme;
- 2) conducteur extérieur à un potentiel flottant, induction uniforme (voir la figure A-1/K.16);
- 3) conducteur extérieur mis à la terre, exposition partielle sur une faible longueur au milieu de la section;
- 4) conducteur extérieur à un potentiel flottant, exposition partielle sur une faible longueur au milieu de la section (voir la figure A-2/K.16).

En pratique, avoir à considérer un seul circuit équivalent au lieu de quatre représente une grande simplification. Il est en outre avantageux de pouvoir définir, à l'aide de la publication mentionnée en [1], un circuit équivalent uniforme d'application générale qui fournisse des indications suffisamment précises sur les valeurs maximales des tensions et des courants induits dans un câble, même en cas de rapprochement partiel en n'importe quel endroit du parcours entre la section d'alimentation et la ligne inductrice.

Comme on le verra dans l'annexe A, on peut déterminer un tel circuit équivalent à l'aide des schémas de circuits qui font l'objet des figures A-1/K.16 et A-2/K.16. Ce circuit est représenté par la figure 2/K.16.

4 Paramètres employés et notations

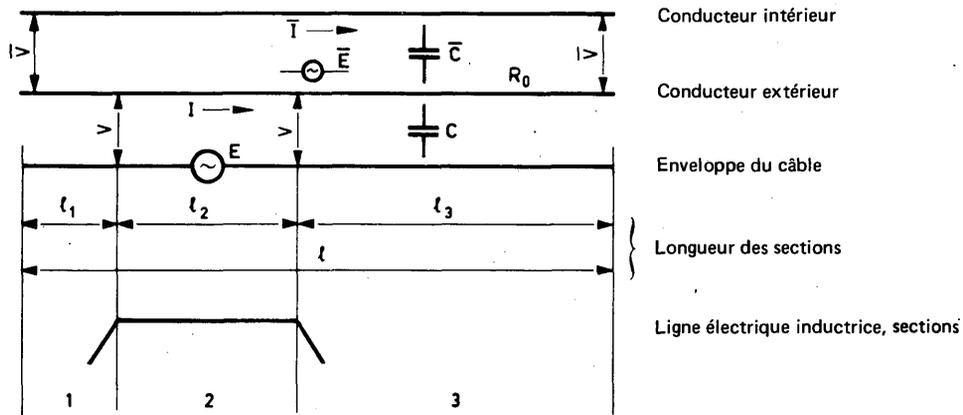
Dans l'hypothèse générale qu'une section d'alimentation à conducteurs extérieurs se trouvant à un potentiel flottant (c'est-à-dire non reliée à l'enveloppe du câble ou à un système de mise à la terre) est exposée à l'induction le long d'une section de position arbitrairement choisie, on peut tracer la figure 1/K.16 ci-après, qui indique les conventions et notations adoptées.

On utilisera les symboles E, C, V, I pour les grandeurs associées au circuit *enveloppe du câble-conducteur extérieur* et les symboles surlignés $\bar{E}, \bar{C}, \bar{V}, \bar{I}$ pour les grandeurs associées au circuit *conducteur extérieur-conducteur intérieur*.

5 Circuit équivalent d'application générale

Les considérations exposées en annexe A ont permis de définir un circuit équivalent d'application générale, qui est représenté sur la figure 2/K.16.

Pour tous les systèmes de communication à grande distance dont les sections d'alimentation sont soit uniformément exposées à l'effet de l'induction magnétique, soit partiellement exposées à cet effet en une partie centrale de faible longueur, ce circuit équivalent permet de déterminer les valeurs maximales des tensions et des courants induits dans les deux circuits de la figure 1/K.16, avec une précision d'environ 10%. Lorsqu'on applique ce circuit à d'autres cas d'exposition, on peut s'attendre à des erreurs atteignant 20% des valeurs théoriques. Ce taux de 20% peut toutefois être toléré dans la pratique étant donné l'imprécision inhérente à la détermination de la tension longitudinale induite E et le fait que la méthode permet d'obtenir des résultats rapides.

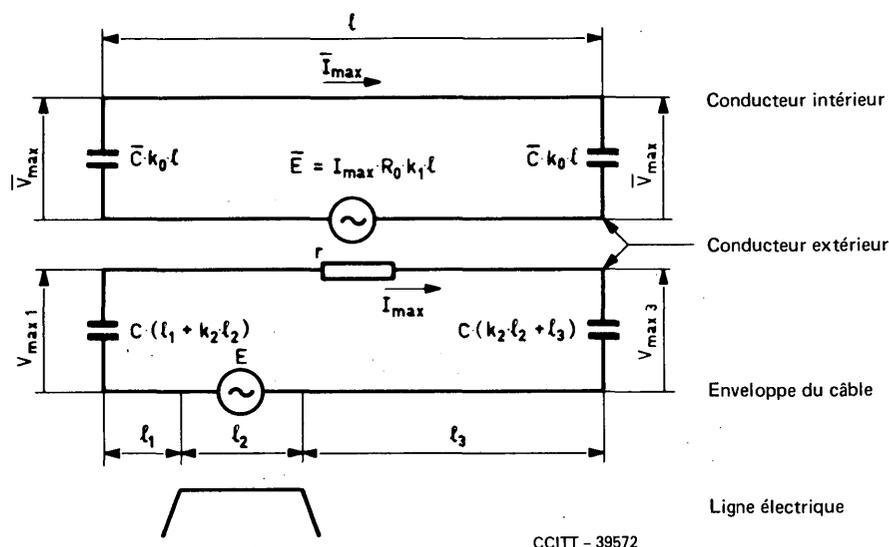


CCITT - 38620

- E = tension longitudinale induite dans le câble (volts)
 \bar{E} = tension longitudinale dans la paire coaxiale (volts)
 l_2 = longueur de la section exposée (km)
 l_1, l_3 = longueur des sections non exposées (km)
 l = longueur de la section d'alimentation (km) = $l_1 + l_2 + l_3$
 V, \bar{V}, I, \bar{I} = valeurs maximales à déterminer pour les tensions et les courants induits
 C, \bar{C} = capacités effectives par unité de longueur (F/km)
 où
 $C = \frac{C_{os} \cdot l_s + C'_{os}}{l_s}$ et $\bar{C} = \frac{C_{io} \cdot l_s + C_f}{l_s}$
 C_{os} = capacité par unité de longueur entre le conducteur extérieur et l'enveloppe du câble (F/km)
 C'_{os} = capacité entre le conducteur extérieur et l'enveloppe du câble à l'endroit où se trouve éventuellement un répéteur (F)
 C_{io} = capacité par unité de longueur entre le conducteur extérieur et le conducteur intérieur (F/km)
 C_f = total de toutes les capacités entre le trajet d'alimentation et le conducteur extérieur dans les filtres d'aiguillage d'alimentation d'un répéteur (F)
 l_s = longueur du tronçon d'amplification (km)
 Z_t = impédance effective de transfert par unité de longueur (Ω /km) entre le circuit *enveloppe-conducteur extérieur* et le circuit *conducteur extérieur-conducteur intérieur*
 R_0 = résistance par unité de longueur (Ω /km) du conducteur extérieur seul
 R_i = résistance par unité de longueur (Ω /km) du conducteur intérieur auquel est ajouté un terme correctif correspondant à la valeur, ramenée au km, de la résistance des filtres d'aiguillage.

FIGURE 1/K.16

Représentation schématique des circuits



Valeur des paramètres k				
		k_0	k_1	k_2
pour	$l_2 \leq \frac{l}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$
pour	$l_2 > \frac{l}{2}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{4}$

Remarque – La résistance r n'est à considérer que dans le cas des conducteurs extérieurs réunis à la terre (voir annexe C).

FIGURE 2/K.16
Circuit équivalent

Les remarques suivantes permettent de mieux comprendre le schéma simplifié:

- 1) Tous les éléments des lignes de transmission du cas réel sont supposés concentrés, ce qui est acceptable pour une ligne ouverte aux deux extrémités et courte, compte tenu de la longueur d'onde correspondant à 50 Hz.
- 2) La résistance des conducteurs n'est pas prise en compte dans les circuits, sauf pour constituer l'impédance de transfert d'un circuit sur l'autre, elle est introduite pondérée par un coefficient k_1 qui dépend de la longueur de la section exposée et tel que $k_1 < 1$.

Cela suppose que les circuits dessinés sur la figure 2/K.16 sont effectivement ouverts (pour les courants induits à 50 Hz) aux extrémités de la section de téléalimentation. Il peut ne pas en être ainsi, en particulier si les dispositifs d'alimentation comportent des filtres et des dispositifs de symétrie pour fixer les potentiels des conducteurs intérieurs par rapport à la terre. Le circuit *conducteur intérieur-conducteur extérieur* est alors fermé sur des condensateurs de valeur élevée qui doivent être ajoutés en parallèle sur $C_{k_0} l$ aux deux extrémités de la figure 2/K.16. Dans ce cas, la résistance en série du conducteur intérieur ne peut plus être négligée. Un exemple d'application est donné en annexe C.

- 3) Les capacités C_{l_1} et C_{l_3} correspondent à la terminaison exacte au-delà de la section exposée; la capacité de la section exposée est introduite pondérée par un coefficient k_2 qui dépend de la longueur de la section exposée et tel que $2 k_2 < 1$.
- 4) Le schéma simplifié conduit à des tensions dissymétriques dans le circuit *enveloppe-conducteur extérieur*. Il permet de déterminer les valeurs maximales aux extrémités. Une représentation suffisante pour la pratique de la tension et de l'intensité tout le long de la section de téléalimentation est donnée sur la figure 3/K.16. La tension varie peu hors de la section exposée et est nulle près de son milieu. L'intensité maximale se trouve près du milieu de la section exposée; l'intensité est évidemment nulle aux extrémités puisque le circuit est ouvert dans le cas où le conducteur extérieur a un potentiel flottant.

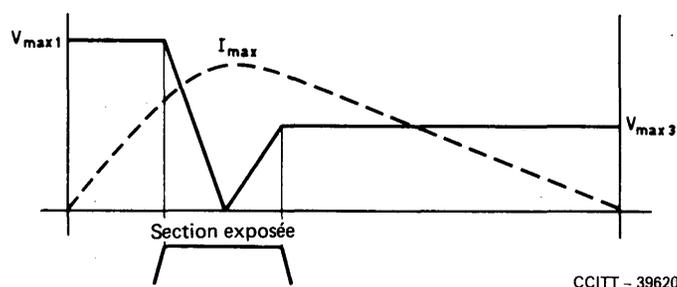


FIGURE 3/K.16

Tension et intensité le long de la section de téléalimentation dans le circuit *enveloppe-conducteur extérieur*

- 5) Par contre, dans le circuit *conducteur intérieur-conducteur extérieur*, la tension et l'intensité sont beaucoup plus symétriques. La capacité est pondérée par un coefficient k_0 qui dépend de la longueur de la section exposée et tel que $2 k_0 < 1$.
- 6) Le schéma simplifié permet, comme indiqué dans l'alinéa 4 ci-dessus, de calculer dans le circuit *conducteur intérieur-conducteur extérieur* la tension et l'intensité maximales. Selon la nature du circuit considéré, ces valeurs peuvent être beaucoup plus faibles que dans le circuit *enveloppe-conducteur extérieur*. La figure 4/K.16, appropriée pour des applications pratiques, donne une idée de la représentation de la tension et de l'intensité tout le long de la section de téléalimentation. Les tensions extrêmes sont symétriques, la tension nulle et l'intensité maximale sont toujours très voisines du milieu de la section de téléalimentation, quelle que soit la position de la section exposée.

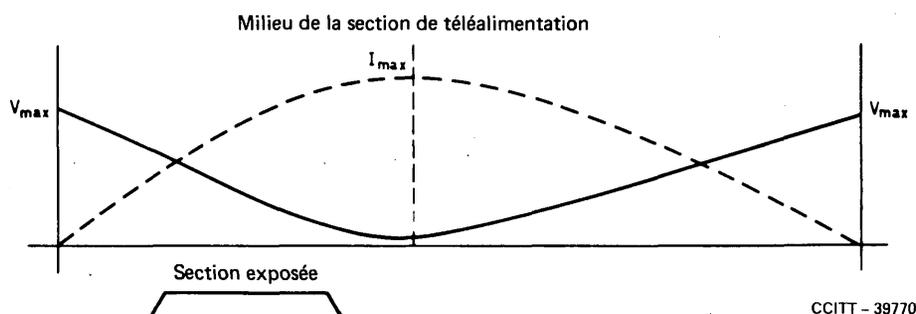


FIGURE 4/K.16

Tension et intensité le long de la section de téléalimentation dans le circuit *conducteur intérieur-conducteur extérieur*

Justification des paramètres figurant dans le circuit équivalent d'application générale

A.1 Cas général

La publication mentionnée en [1] donne des systèmes d'équations contenant les paramètres de transmissions complexes des deux circuits en cause.

Ces équations permettent de résoudre complètement le problème dans le cas des circuits ouverts aux deux extrémités. Ces formules développent un nombre important de termes en fonctions hyperboliques de paramètres complexes qui en rendent l'application incommode. Plusieurs étapes d'approximations sont nécessaires pour aboutir à un schéma très simple permettant un calcul élémentaire.

A.2 Première étape – Exposition symétrique – Calcul complet

Les formules générales sont appliquées à deux cas d'exposition symétrique représentés sur les figures A-1/K.16 et A-2/K.16: dans le premier cas, l'exposition couvre tout le tronçon de téléalimentation, dans le second, elle est limitée à une faible longueur au milieu de la section. Les courbes résultant des calculs figurent dans la publication [1] et sont rappelées sur la figure B-1/K.16.

A.3 Deuxième étape – Exposition symétrique – Schéma simplifié

On tient compte de la courte longueur électrique des lignes et de l'angle de phase voisin de $\pm 45^\circ$ des paramètres secondaires de propagation. Cela permet de remplacer les éléments répartis par des condensateurs et des résistances localisées représentées sur les figures 1 et 2. Les coefficients tels que $5/16$, $1/4$, $1/2$, $1/3$ proviennent du développement en série des termes hyperboliques complexes.

Les circuits équivalents des figures A-1/K.16 et A-2/K.16 permettent d'effectuer le calcul des tensions et intensités maximales dans deux cas d'exposition symétriques; ces cas étant très exceptionnels, il faut y rattacher le cas général d'une exposition dissymétrique de longueur quelconque. C'est l'objet de l'étape suivante.

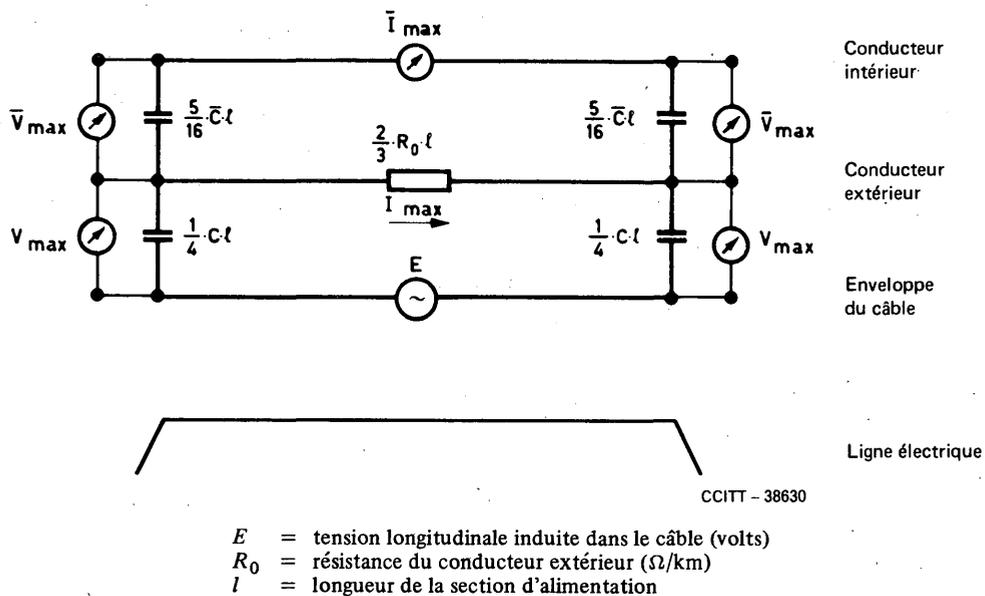


FIGURE A-1/K.16

Section d'alimentation exposée uniformément à l'induction

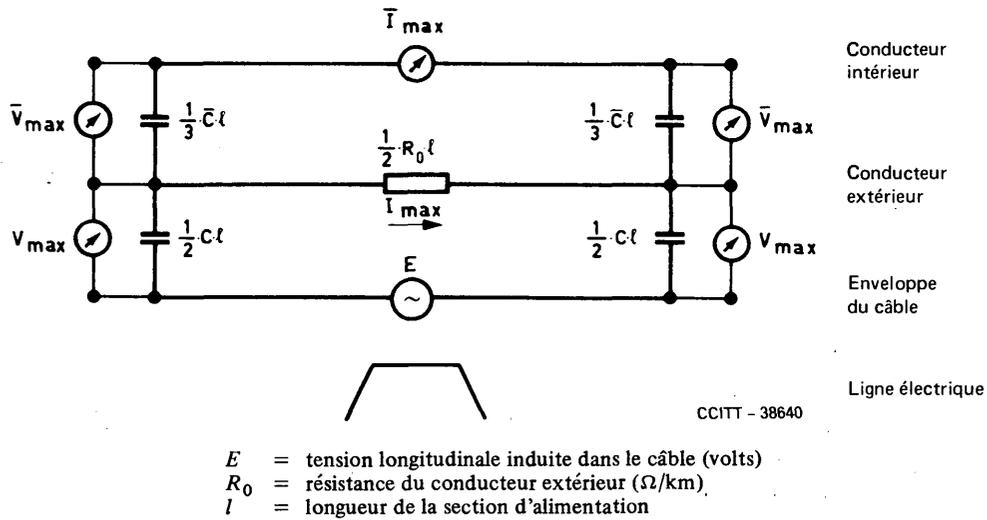


FIGURE A-2/K.16

Exposition partielle sur une faible longueur au milieu de la section

A.4 Troisième étape – Cas général – Schéma simplifié

A.4.1 Circuit enveloppe du câble-conducteur extérieur

Dans la section exposée 2 dont la longueur est l_2 , le circuit *enveloppe du câble-conducteur extérieur* peut être traité comme une ligne bifilaire exposée à une induction uniforme et se terminant par les capacités de ligne des sections 1 et 3 adjacentes et non exposées.

Si la section 2 est beaucoup plus longue que les sections 1 et 3 ($l_2 \gg l/2$), la répartition du courant et de la tension dépend surtout de la section exposée elle-même, et est presque ou tout à fait symétrique par rapport au point milieu de la section. Les valeurs effectives de capacité indiquées dans la figure A-1/K.16 pour une ligne bifilaire exposée à une induction uniforme peuvent alors s'appliquer à la section 2. On obtient ainsi pour $l_2 \gg l/2$ le schéma représenté sur la figure A-3/K.16.

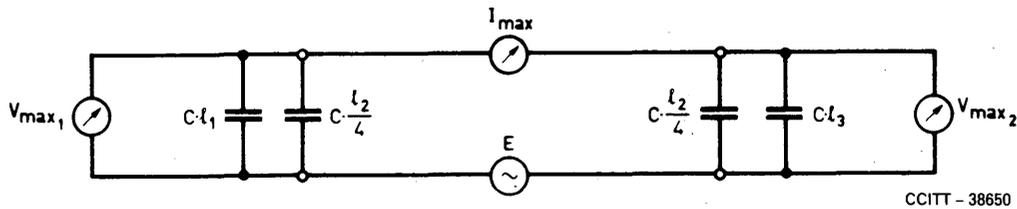


FIGURE A-3/K.16

Circuit enveloppe du câble-conducteur extérieur – cas d'une section exposée longue

Si, au contraire, la section exposée est beaucoup plus courte que les sections non exposées ($l_2 \leq l/2$), la répartition du courant et de la tension dépend surtout des admittances aux extrémités de la section. Le maximum du courant induit se déplace vers l'extrémité de la section 2 adjacente à la plus longue des deux sections non exposées. Ce maximum se déplace le plus lorsque la section 2 est située directement au début ou à la fin de la section d'alimentation ($l_1 = 0$ ou $l_3 = 0$, respectivement). Dans ce cas limite, l_2 tend à se trouver dans les mêmes conditions qu'une ligne bifilaire soumise à une induction uniforme et dont l'une des extrémités est en court-circuit.

On se servira alors du circuit équivalent de la figure A-4/K.16 pour déterminer la valeur maximale du courant induit.

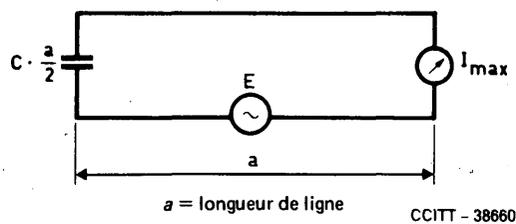


FIGURE A-4/K.16

Ligne terminée par un court-circuit à une extrémité

Ce schéma correspond à la moitié de la figure A-1/K.16 relative à une ligne de longueur $l = 2a$, soumise à une induction uniforme, les deux extrémités étant ouvertes et une connexion étant établie au point milieu. Cette connexion ne modifie pas les conditions.

Pendant, puisque l'extrémité de la section 2 n'est pas en court-circuit dans le cas limite qui nous intéresse, mais que cette section se termine sur des admittances finies ($\omega C \cdot l_3$ et $\omega C \cdot l_1$, respectivement), la capacité effective localisée $C \cdot l_2/x$ associée à la section 2 dans le circuit équivalent partiel doit être comprise entre:

$$C \cdot \frac{l_2}{4} < C \cdot \frac{l_2}{x} < C \cdot \frac{l_2}{2} \quad \text{à l'extrémité où se trouve le prolongement le plus court et}$$

$$C \cdot \frac{l_2}{4} > C \cdot \frac{l_2}{x} > 0 \quad \text{à l'autre extrémité.}$$

Comme il est montré plus loin, le fait de prendre $x = 3$ à chaque extrémité constitue un compromis qui donne des résultats satisfaisants pour tous les emplacements de la section exposée quand elle est de faible longueur. On obtient en conséquence la figure A-5/K.16 suivante pour $l_2 \ll l/2$.

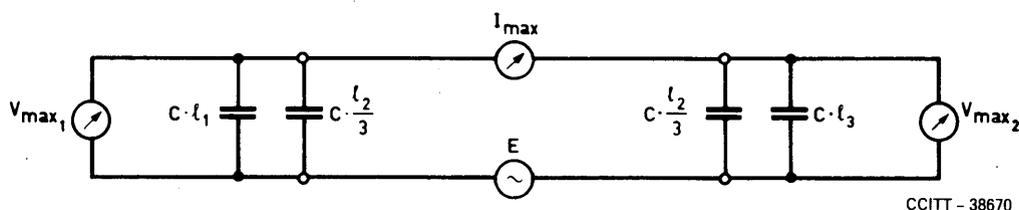


FIGURE A-5/K.16

Circuit enveloppe du câble-conducteur extérieur – cas d'une section exposée courte

A.4.2 Impédance effective de transfert¹⁾

Le courant I circulant dans le circuit enveloppe du câble-conducteur extérieur engendre une tension longitudinale \bar{E} aux bornes de la résistance du conducteur extérieur du système à paires coaxiales. Ce courant I atteint son maximum dans la section exposée et tend vers zéro aux extrémités de l'artère. Une résistance effective à utiliser avec le maximum de courant I apparaît dans les circuits équivalents réalisés selon les formules simplifiées. Dans la méthode du circuit équivalent, on introduit une résistance effective dont la connaissance, associée à celle du courant I , permet de calculer \bar{E} . Cette résistance effective, désignée par $Z_t \cdot l$, est appelée l'impédance effective de transfert; elle remplace la résistance $R_0 \cdot l$. La valeur de \bar{E} est donnée par l'égalité $\bar{E} = I_{\max} \cdot Z_t \cdot l$.

Si l'induction est uniforme sur toute la section d'alimentation, comme dans le cas de la figure A-1/K.16, la valeur à utiliser pour l'impédance de transfert est donnée par:

$$Z_t \cdot l = \frac{2}{3} \cdot R_0 \cdot l.$$

Cette valeur peut également être utilisée lorsque les variations du courant I le long du trajet sont très semblables à celles qui se produisent dans le cas d'une induction uniforme ($l_2 \gg l/2$).

Dans le cas d'une exposition partielle de faible longueur au milieu de la section d'alimentation comme dans le cas de la figure A-2/K.16, on doit utiliser l'égalité:

$$Z_t \cdot l = \frac{1}{2} \cdot R_0 \cdot l$$

pour calculer l'impédance de transfert.

Lorsque la partie exposée de faible longueur est située au commencement ou à la fin de la section d'alimentation, on obtient la même valeur (on peut le montrer à l'aide du circuit équivalent pour une exposition partielle au milieu de la section, en remplaçant l par $2 \cdot l$).

¹⁾ L'impédance de transfert est souvent aussi appelée impédance de couplage de l'enveloppe métallique du câble.

On est en droit de supposer, en première approximation, que la valeur obtenue ne varie pas sensiblement, même lorsque l'emplacement de la section exposée de faible longueur est arbitrairement choisi.

On trouve en conséquence, pour l'impédance du transfert du circuit équivalent:

$$Z_t \cdot l = \frac{2}{3} R_0 \cdot l \text{ pour } l_2 \gg \frac{l}{2} \text{ et}$$

$$Z_t \cdot l = \frac{1}{2} R_0 \cdot l \text{ pour } l_2 \ll \frac{l}{2}$$

A.4.3 Circuit conducteur extérieur-conducteur intérieur

Dans le circuit *conducteur extérieur-conducteur intérieur*, la tension longitudinale \bar{E} règne sur toute la longueur de la section d'alimentation, même en cas d'exposition partielle. Comme on peut le constater en consultant les figures de l'annexe B, le minimum de la tension \bar{V} entre le conducteur intérieur et le conducteur extérieur se produit exactement à mi-chemin dans le cas d'une exposition symétrique et presque à mi-chemin dans tous les cas d'expositions asymétriques (même lorsqu'il s'agit de tronçons très courts soumis à l'effet d'induction et situés au début ou à la fin de la section d'alimentation). Les valeurs calculées pour le courant et la tension dans la paire coaxiale ne présenteront donc pas d'écarts appréciables si l'on suppose que l'intensité du champ dû à la tension longitudinale \bar{E}/l est répartie symétriquement, quelles que soient la longueur et la position de la section exposée.

Dans cette hypothèse, les schémas de circuits de la figure A-6/K.16, inspirés des figures A-1/K.16 et A-2/K.16 pour le cas d'une exposition symétrique, peuvent aussi en règle générale s'employer pour une configuration quelconque.

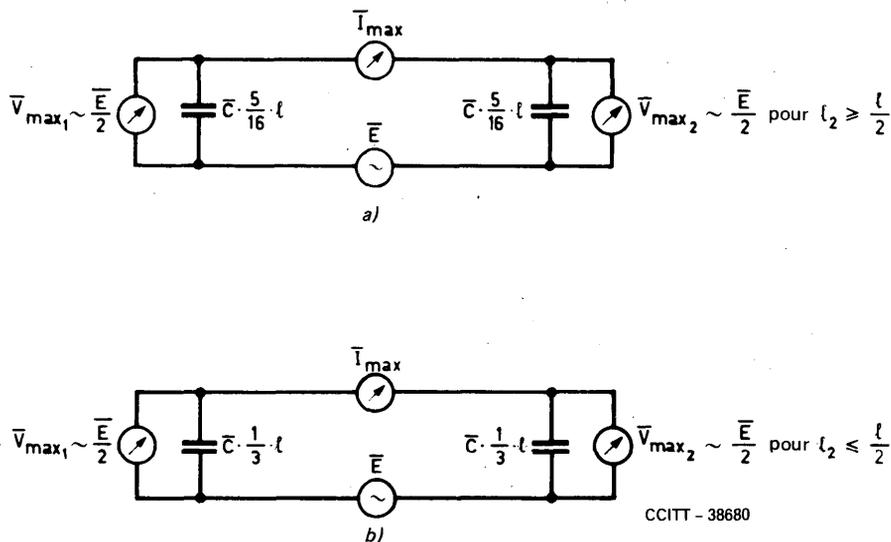


FIGURE A-6/K.16

Circuit conducteur extérieur-conducteur intérieur;
a) section exposée longue, b) section exposée courte

A.5 Conclusions de l'annexe A

En assemblant les schémas élémentaires des figures A-3/K.16 à A-6/K.16, on obtient un schéma de circuit équivalent d'application générale, où l'on adoptera pour les capacités et l'impédance de transfert des valeurs numériques différentes selon la longueur du tronçon exposé:

$$l_2 \gg \frac{l}{2} \text{ et } l_2 \ll \frac{l}{2} \text{ respectivement.}$$

Comme on peut le démontrer sur des exemples numériques, on obtient des résultats satisfaisants en conservant les paramètres associés au cas $l_2 \ll l/2$ même lorsque $l_2 = l/2$. Si donc nous remplaçons:

$$l_2 \gg \frac{l}{2} \text{ par } l_2 > \frac{l}{2} \text{ et}$$

$$l_2 \ll \frac{l}{2} \text{ par } l_2 \leq \frac{l}{2}$$

toutes les possibilités d'exposition seront couvertes au moyen de deux groupes de paramètres et l'erreur affectant les pages intermédiaires restera dans des limites tolérables.

Le circuit équivalent d'application générale fait l'objet de la figure 2/K.16.

**Exemples d'application des calculs complets et du calcul simplifié.
Cas où les conducteurs extérieurs sont à potentiel flottant**

Pour s'assurer de l'utilité du circuit équivalent dans des cas d'exposition partielle arbitrairement choisis, on a calculé les valeurs maximales des tensions et des courants au moyen du circuit équivalent dans certains cas d'exposition ayant fait l'objet, dans la publication [1], d'un calcul complet et les valeurs trouvées ont été portées sur les figures correspondantes reproduites d'après cette publication.

Les valeurs suivantes, relatives à des systèmes à 300 voies sur câble à paires coaxiales de petit diamètre, ont été utilisées pour les calculs comparatifs:

$$C = 0,12 \mu\text{F/km}; \quad R_0 = 6,2 \Omega/\text{km}; \quad \bar{C} = 0,2 \mu\text{F/km}; \quad l = 64 \text{ km}.$$

Les figures B-1/K.16 à B-5/K.16 sont tracées des courbes qui, établies avec précision, donnent les tensions et courants induits dans un système de télécommunications à 300 voies. Ces figures correspondent aux figures 4/K.16 et A-1/K.16 à A-3/K.16 telles que reproduites de la référence [1], mais on a choisi comme quantité de référence une tension longitudinale E de 1000 volts au lieu de 2000 volts. Les valeurs approximatives des maximums telles qu'elles sont calculées à l'aide du circuit équivalent y sont indiquées par des points noirs. Dans tous les cas, on constate une concordance satisfaisante avec les valeurs obtenues par une analyse exacte.

Exemple de calcul pour la figure B-4/K.16 ci-après

On suppose qu'une section d'alimentation de 64 km appartenant à un système à 300 voies sur câble à paires coaxiales de petit diamètre, dont le conducteur extérieur est à un potentiel flottant, est exposée à l'effet d'induction d'une ligne électrique entre le 12^e et le 28^e kilomètre. La tension longitudinale dans le câble est par hypothèse de 1000 volts à 50 Hz et il faut évaluer les valeurs maximales des tensions et des courants induits apparaissant dans le câble.

On a dans ce cas: $l_1 = 12 \text{ km}$, $l_2 = 16 \text{ km}$ et $l_3 = 36 \text{ km}$, $l/2 = 32 \text{ km}$. Comme l_2 est plus petit que $l/2$, on utilisera les paramètres suivants pour la détermination du circuit équivalent (voir la figure 2/K.16): $k_0 = 1/3$, $k_1 = 1/2$, $k_2 = 1/3$, $\bar{C} = 0,2 \mu\text{F/km}$, $R_0 = 6,2 \Omega/\text{km}$, $C = 0,12 \mu\text{F/km}$.

Schéma de calcul:

$$\begin{array}{rcccl}
 Cl_1 = 0,12 \times 12 & & Ck_2 l_2 = 0,12 \times \frac{1}{3} \times 16 & & Cl_3 = 0,12 \times 36 \\
 = 1,44 \mu\text{F} & & = 0,64 \mu\text{F} & & = 4,32 \mu\text{F} \\
 & \underbrace{\quad + \quad}_{2,08 \mu\text{F}} & & \underbrace{\quad + \quad}_{4,96 \mu\text{F}} & \\
 \frac{1}{\omega C} \text{ à } 50 \text{ Hz:} & 1530 \Omega & + & 640 \Omega & = 2170 \Omega
 \end{array}$$

$$I_{\max} = \frac{1000 \text{ V}}{2170 \Omega} = 0,461 \text{ A}$$

$\times \quad 1530 \Omega = V_{\max_1} = 705 \text{ volts}$
 $\times \quad 640 \Omega = V_{\max_2} = 295 \text{ volts}$
 $\times \quad 198,5 \Omega = \bar{E} = 91,6 \text{ volts}$

$$\frac{1}{2} R_0 l = \frac{1}{2} \times 6,2 \times 64 = 198,5 \Omega$$

$$\frac{1}{2} \bar{E} \approx \bar{V}_{\max_1} \approx \bar{V}_{\max_2} = 45,8 \text{ volts}$$

$$\frac{1}{3} \omega \bar{C} l = \frac{1}{3} \times 314 \times 0,2 \times 10^{-6} \times 64 = 1,34 \times 10^{-3} \text{ mhos}$$

$$\bar{I}_{\max} = 1,34 \times 10^{-3} \times 45,8 = 61,5 \text{ mA}$$

TABLEAU B-1/K.16

Comparaison entre les valeurs obtenues à l'aide du circuit équivalent
et les valeurs maximales calculées avec précision

(Valeurs tirées de la figure B-4/K.16)

Valeurs maximales	Valeurs résultant du calcul exact	Valeurs résultant de l'application du circuit équivalent	Ecart par rapport au calcul exact
V_{\max_1}	685 V	705 V	+2,9 %
V_{\max_2}	315 V	295 V	-6,3 %
I_{\max}	0,455 A	0,461 A	+1,3 %
\bar{V}_{\max_1}	48 V	45,8 V	-4,6 %
\bar{V}_{\max_2}	37,5 V	45,8 V	+22 %
\bar{I}_{\max}	55 mA	61,5 mA	+11,8 %

Cette comparaison montre qu'à l'exception de la valeur \bar{V}_{\max_2} , tous les écarts observés par rapport aux valeurs résultant d'un calcul exact sont inférieurs à 12% et que les valeurs obtenues à l'aide du circuit équivalent sont généralement supérieures à celles qui résultent du calcul exact. L'écart de 22% observé dans le cas de \bar{V}_{\max_2} n'a pas d'importance pratique puisqu'il concerne le plus petit des deux maximums de \bar{V} .

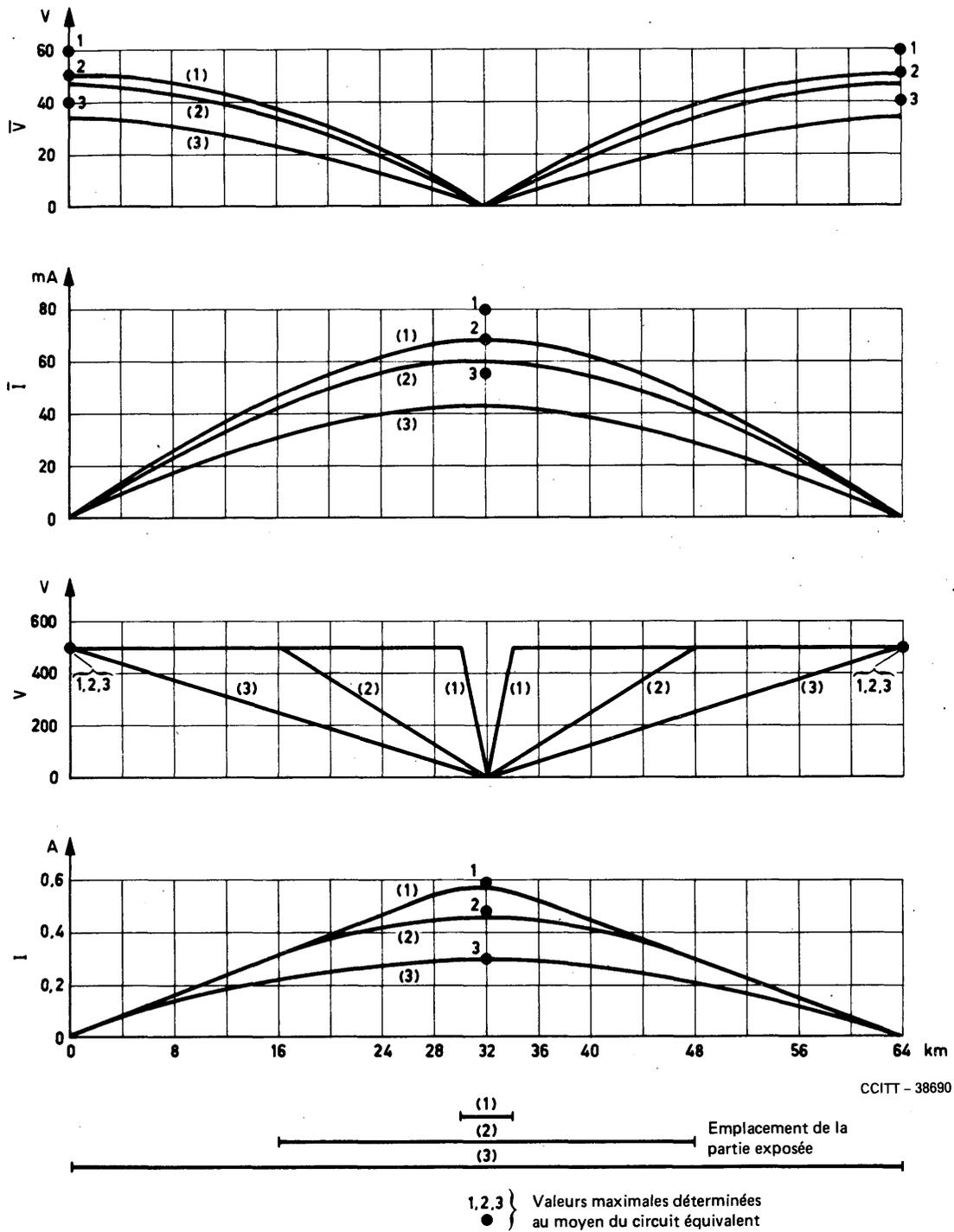


FIGURE B-1/K.16

Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements symétriques avec une ligne inductrice. Tension induite le long de la partie exposée: 1000 volts (conducteur extérieur des paires coaxiales à potentiel flottant)

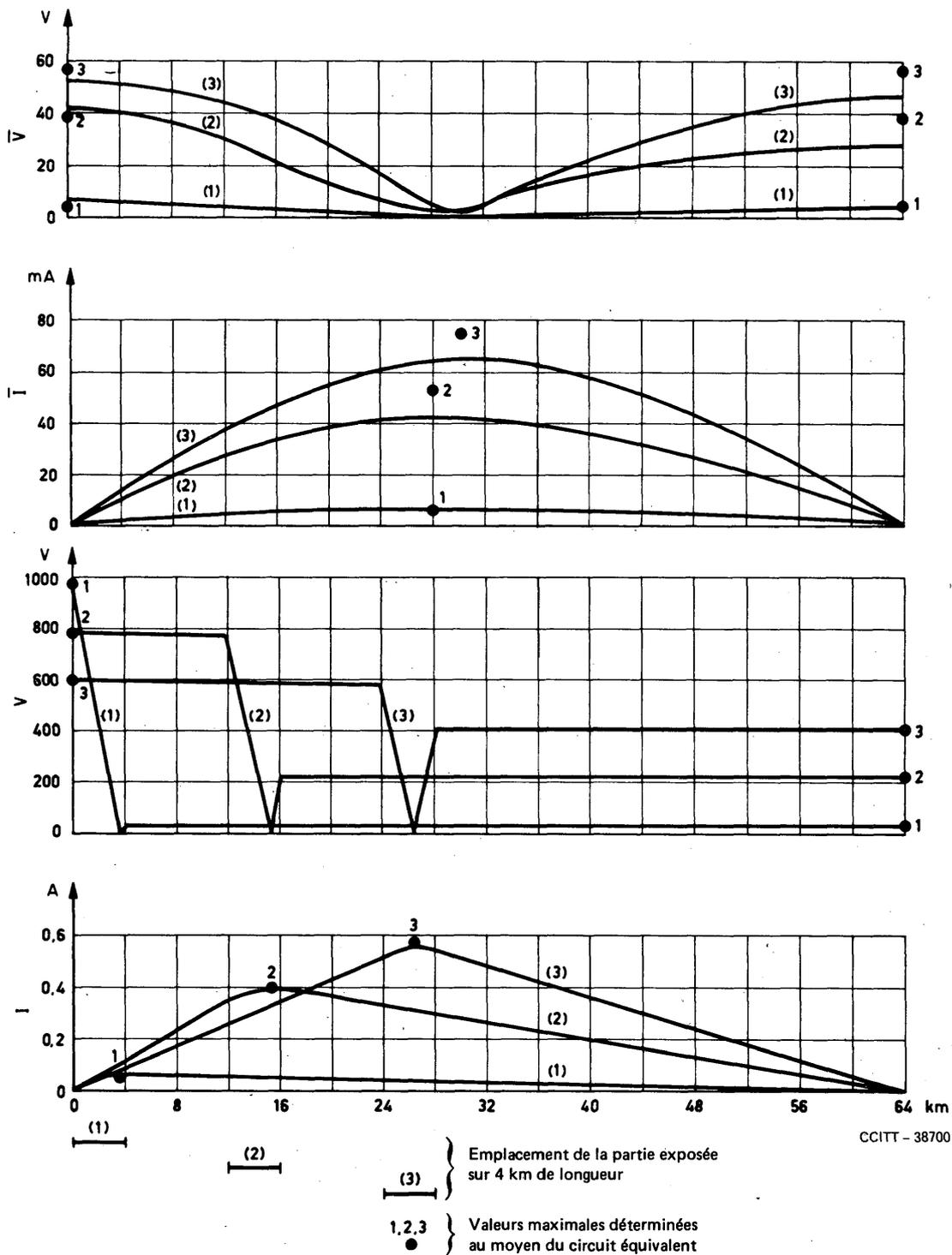


FIGURE B-2/K.16

Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (longueur de rapprochement 4 km). Tension induite le long de la partie exposée: 1000 volts (conducteur extérieur des paires coaxiales à potentiel flottant)

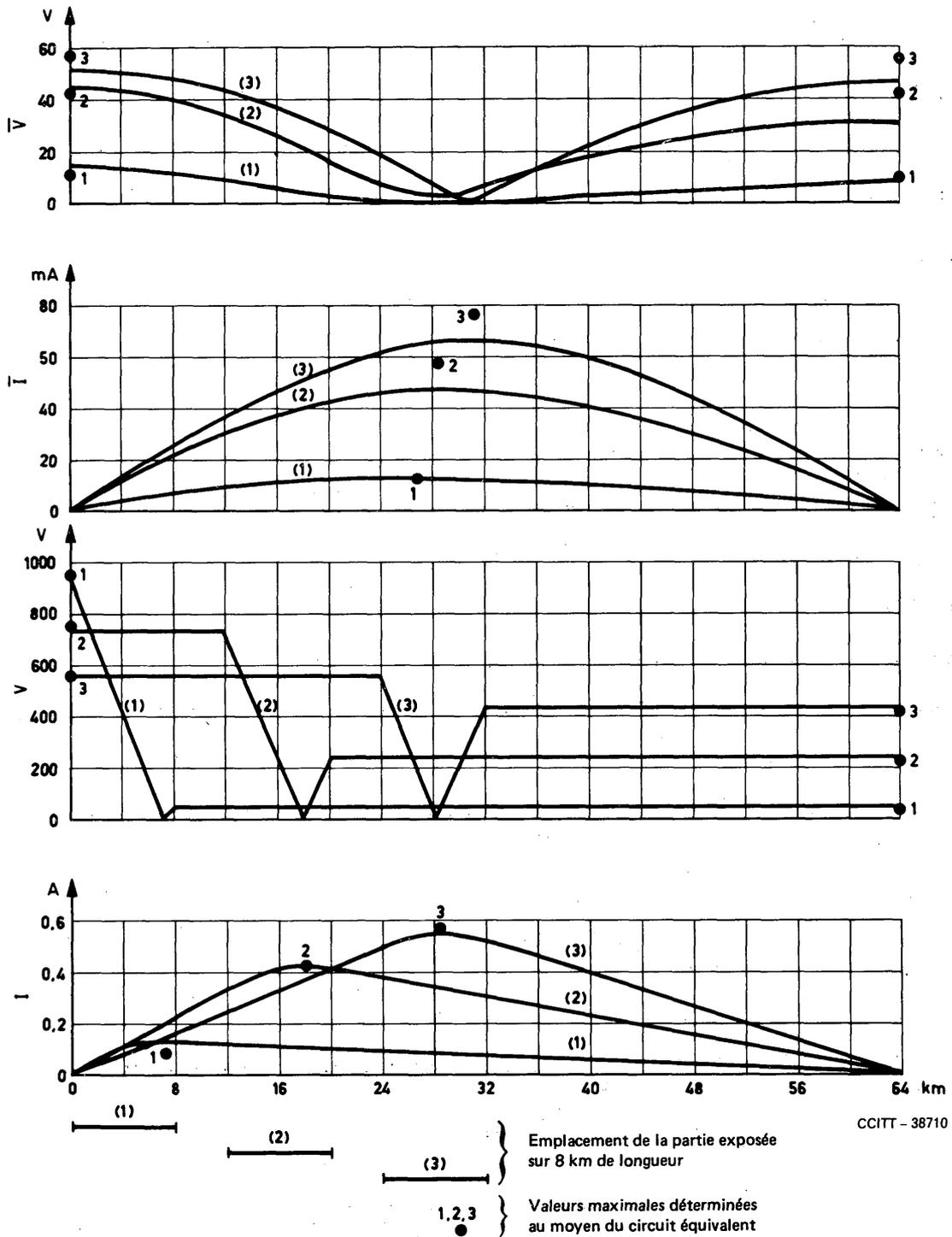


FIGURE B-3/K.16

Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (longueur de rapprochement 8 km). Tension induite le long de la partie exposée: 1000 volts (conducteur extérieur des paires coaxiales à potentiel flottant)

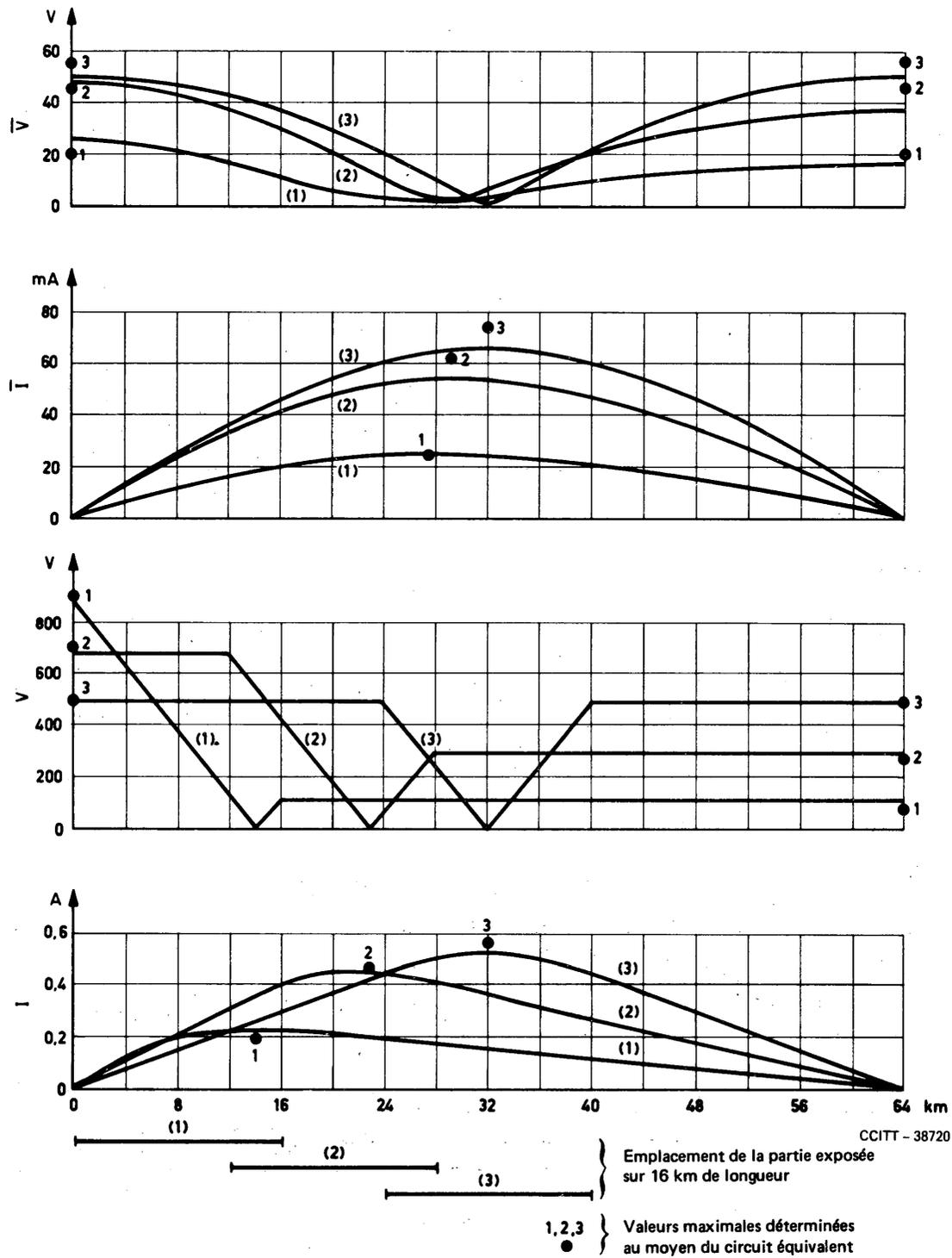


FIGURE B-4/K.16

Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (longueur de rapprochement 16 km). Tension induite le long de la partie exposée: 1000 volts (conducteur extérieur des paires coaxiales à potentiel flottant)

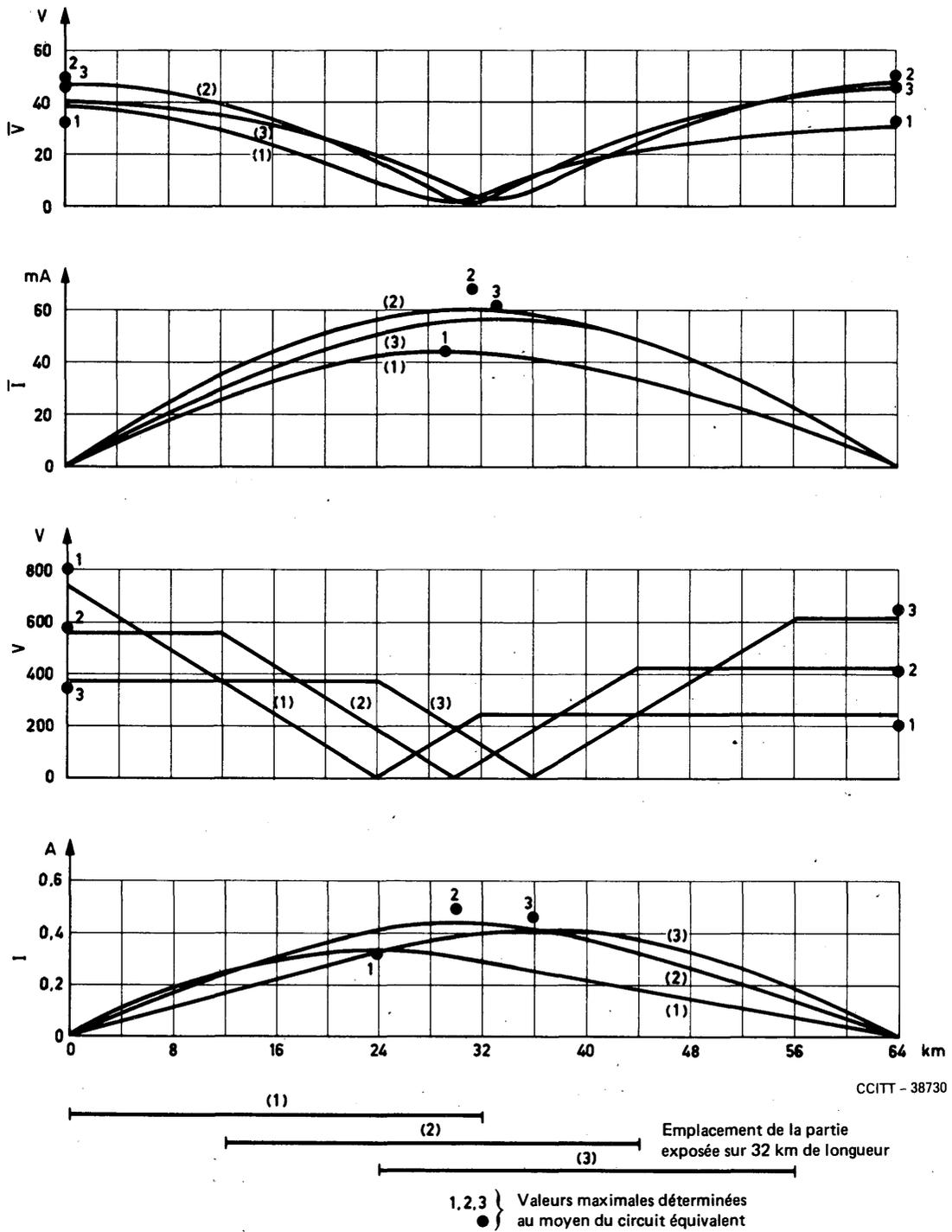


FIGURE B-5/K.16

Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (longueur de rapprochement 32 km). Tension induite le long de la partie exposée: 1000 volts (conducteur extérieur des paires coaxiales à potentiel flottant)

**Exemples d'application des calculs complets et du calcul simplifié.
Cas où les conducteurs extérieurs sont reliés à la terre**

C.1 *Cas où les conducteurs intérieurs sont à une tension régulée, peu découplée*

Dans le cas où les conducteurs extérieurs sont à la terre et où les conducteurs intérieurs sont reliés à une tension régulée dont les condensateurs de découplage à la terre sont de faible valeur, il convient de ne prendre en considération dans le circuit équivalent que la partie du schéma relative au circuit *conducteur extérieur-conducteur intérieur*, et d'insérer logiquement la capacité \bar{C} au lieu de C . La résistance $k_1 R_0 l$ représentant l'impédance de transfert est également omise. Le schéma universel se réduit dans ce cas à celui de la figure C-1/K.16.

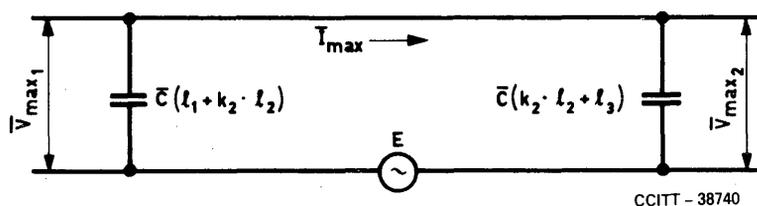


FIGURE C-1/K.16

Circuit enveloppe du câble-conducteur extérieur (section longue)

C.2 *Cas où les conducteurs intérieurs sont mis à la terre à travers une impédance de faible valeur située dans la station d'alimentation en énergie*

Le schéma universel se réduit dans ce cas à celui de la figure C-2/K.16.

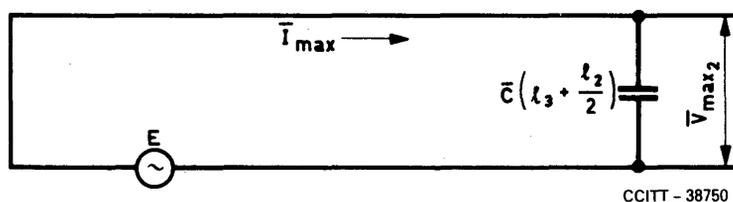


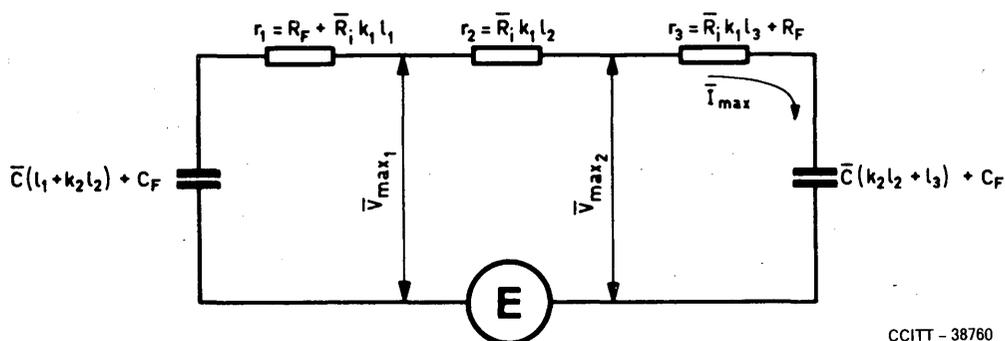
FIGURE C-2/K.16

Ligne en court-circuit à une extrémité

C.3 *Cas où les conducteurs intérieurs sont à une tension régulée, fortement découplée*

Dans le cas où les conducteurs extérieurs sont à la terre et où les conducteurs intérieurs sont reliés à une tension régulée dont les condensateurs de découplage à la terre sont de fortes valeurs (plusieurs μF), le schéma simplifié de la figure C-1/K.16 n'est plus suffisant. Il faut tenir compte aussi de la résistance des conducteurs centraux des paires coaxiales (éventuellement des résistances que l'on rencontre en série dans les alimentations des amplificateurs).

Pour s'assurer de la validité du circuit équivalent modifié dans ce cas, un calcul a été fait sur un exemple concret correspondant à un cas d'exploitation. Il s'agit encore de systèmes à 300 voies sur paires coaxiales de petit diamètre, pour lesquels on a considéré une liaison de 66 km, avec $\bar{C} = 0,11 \mu\text{F}/\text{km}$, $R_i = 17 \Omega/\text{km}$, l'impédance de découplage des systèmes d'alimentation régulée étant équivalente à une résistance R_F de 50 ohms en série avec une capacité C_F de 15 μF . Le schéma correspondant est représenté sur la figure C-3/K.16.



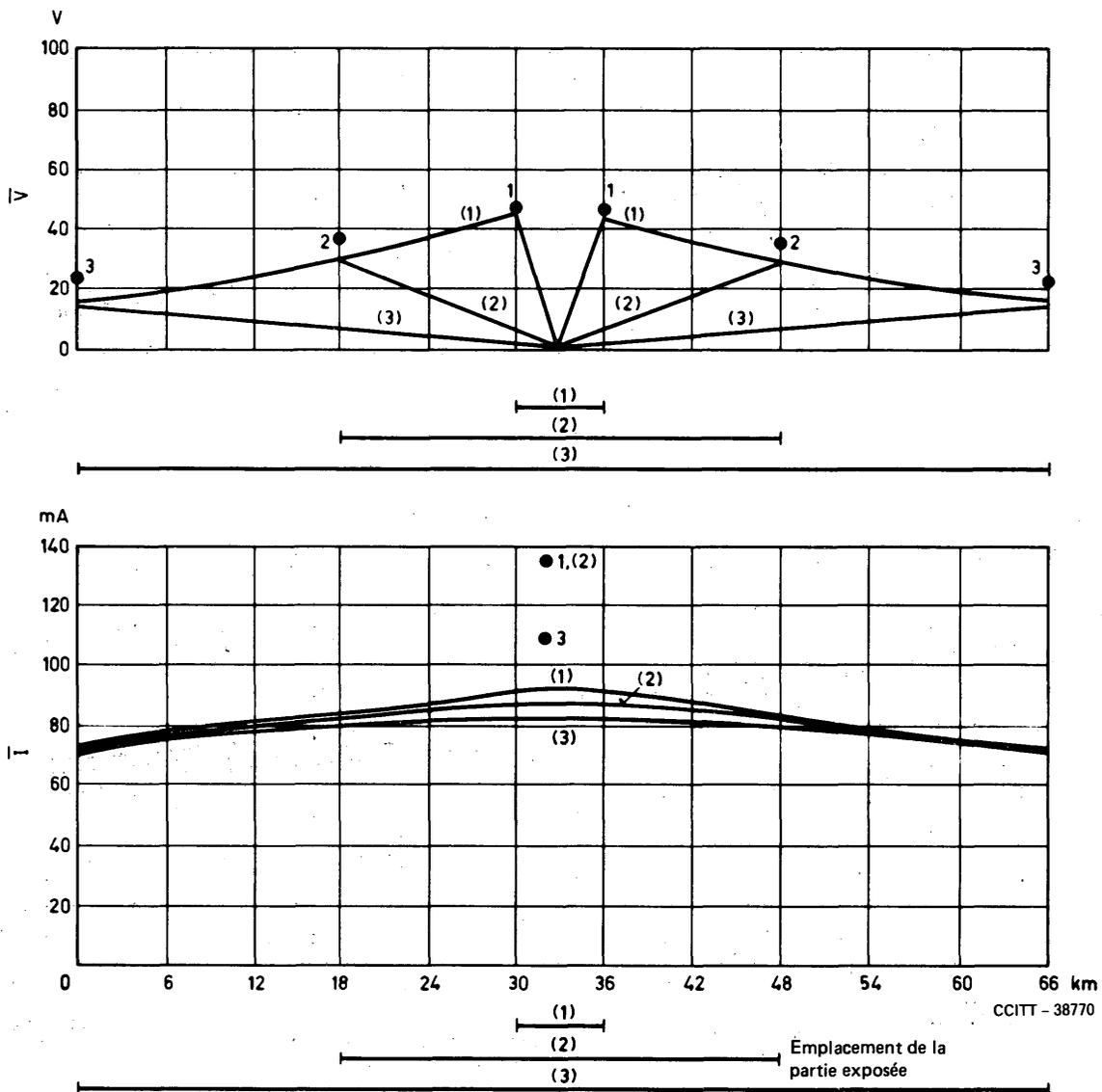
CCITT - 38760

Remarque - \bar{R}_i est la résistance kilométrique du conducteur intérieur, à laquelle est ajoutée la valeur totale de la résistance de tous les filtres d'aiguillage des répéteurs, valeur exprimée par kilomètre.

FIGURE. C-3/K.16

Circuit équivalent dans le cas où les conducteurs extérieurs des paires coaxiales sont reliés à la terre, et où les conducteurs intérieurs sont reliés à une alimentation régulée fortement découplée

La tension induite est supposée telle que, compte tenu du facteur réducteur du câble, la tension perturbatrice à prendre en considération soit égale à 100 volts. (Si la tension ne pouvait pas être limitée à une valeur de cet ordre, une autre solution serait employée, par exemple le retour à un potentiel flottant.) Pour une tension induite de $E = 100$ V et après avoir tenu compte du facteur réducteur combiné de l'enveloppe de câble et du conducteur extérieur mis à la terre, les figures C-4/K.16 à C-7/K.16 ci-après indiquent les valeurs des tensions et courants obtenues sur le circuit complet; on a reporté sur les mêmes figures les points correspondant à l'utilisation du circuit équivalent de la figure C-3/K.16. La concordance entre les deux séries de résultats est tout à fait satisfaisante.



1, 2, 3 } Valeurs maximales déterminées
 ● } au moyen du circuit équivalent

Longueur du rapprochement: 6 km, 30 km, ou 66 km
 Tension inductrice : 100 volts

FIGURE C-4/K.16

Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements symétriques avec une ligne inductrice (conducteur extérieur des paires coaxiales relié à la terre)

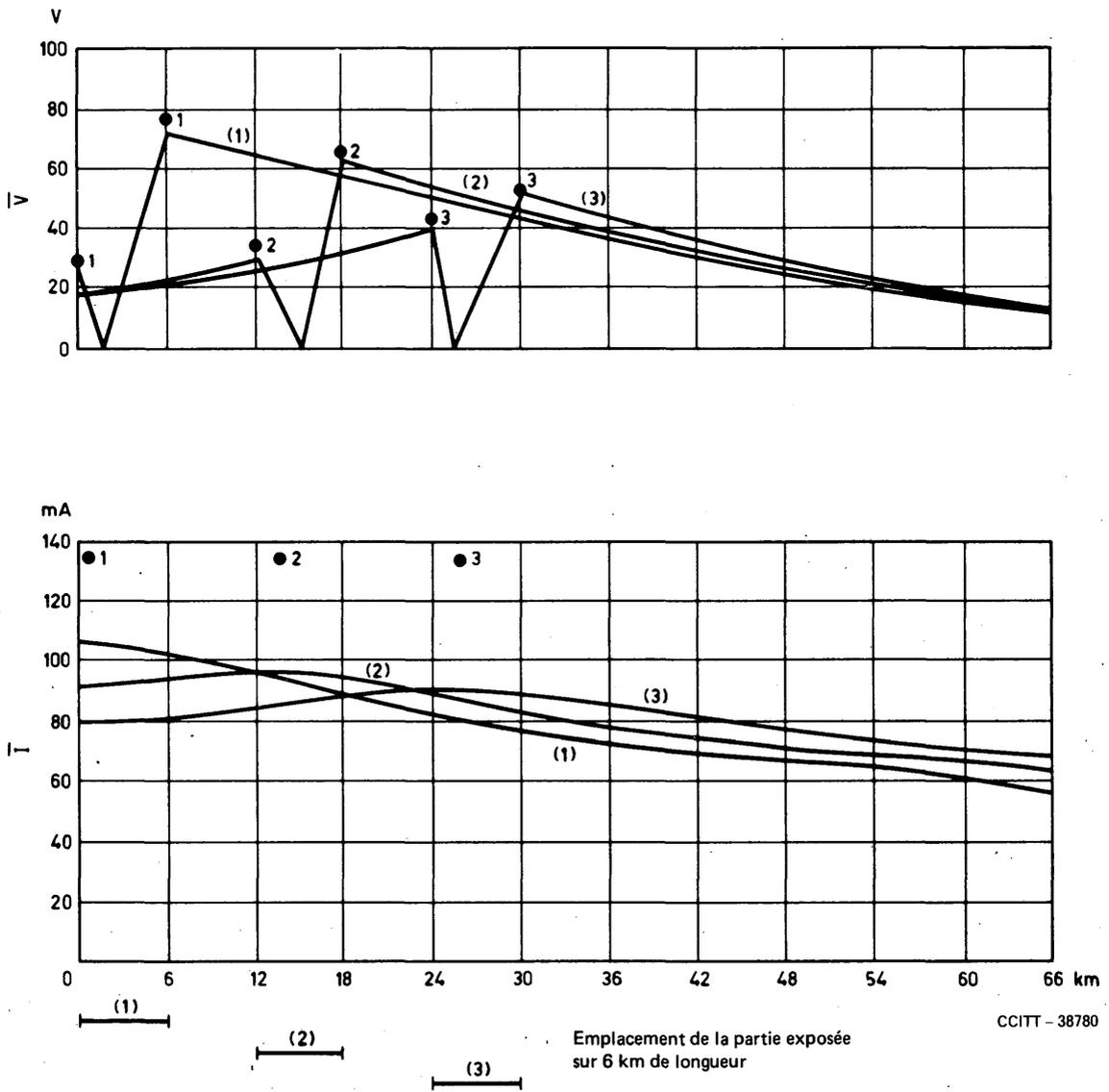


FIGURE C-5/K.16

Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (conducteur extérieur des paires coaxiales relié à la terre)

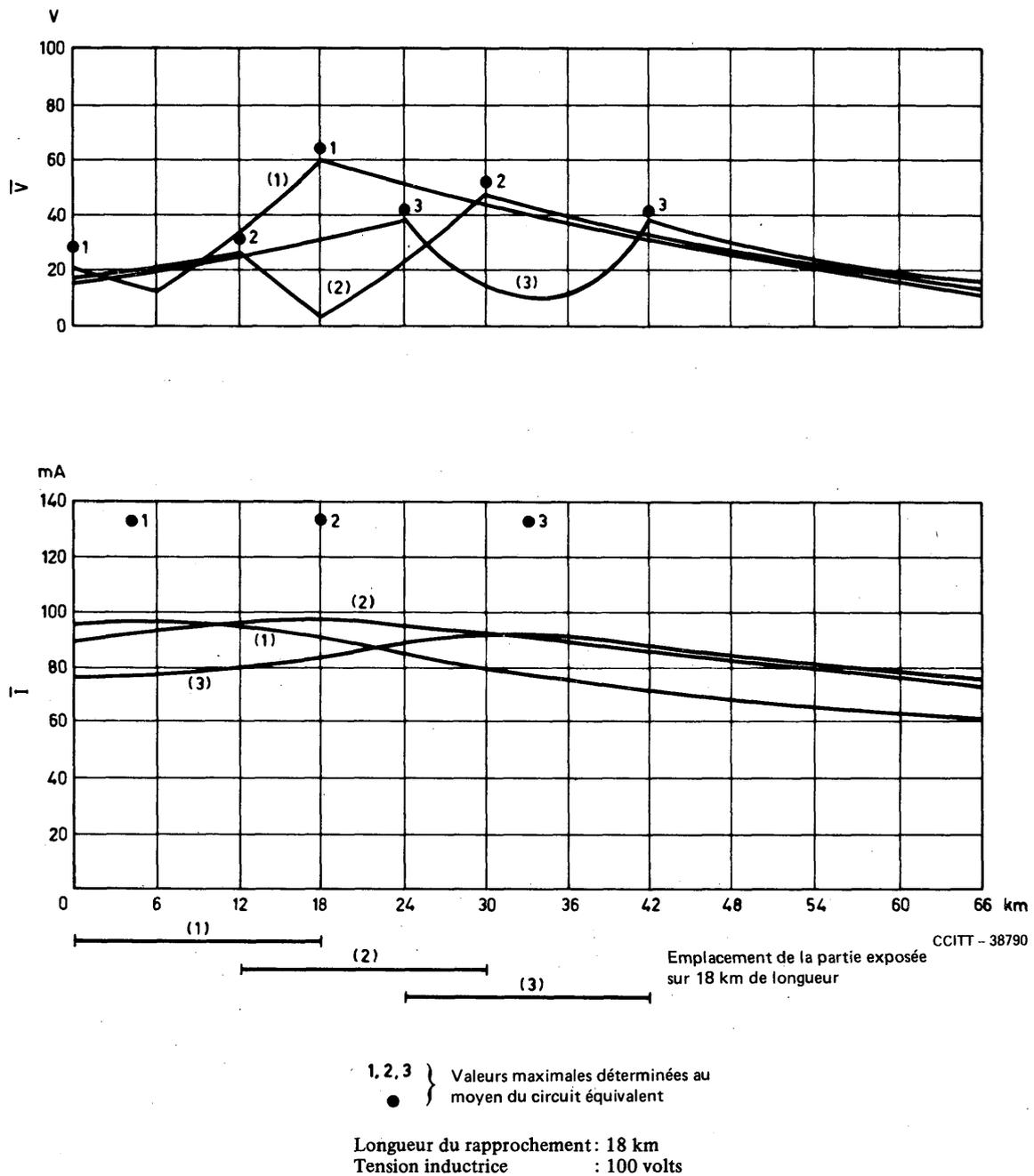
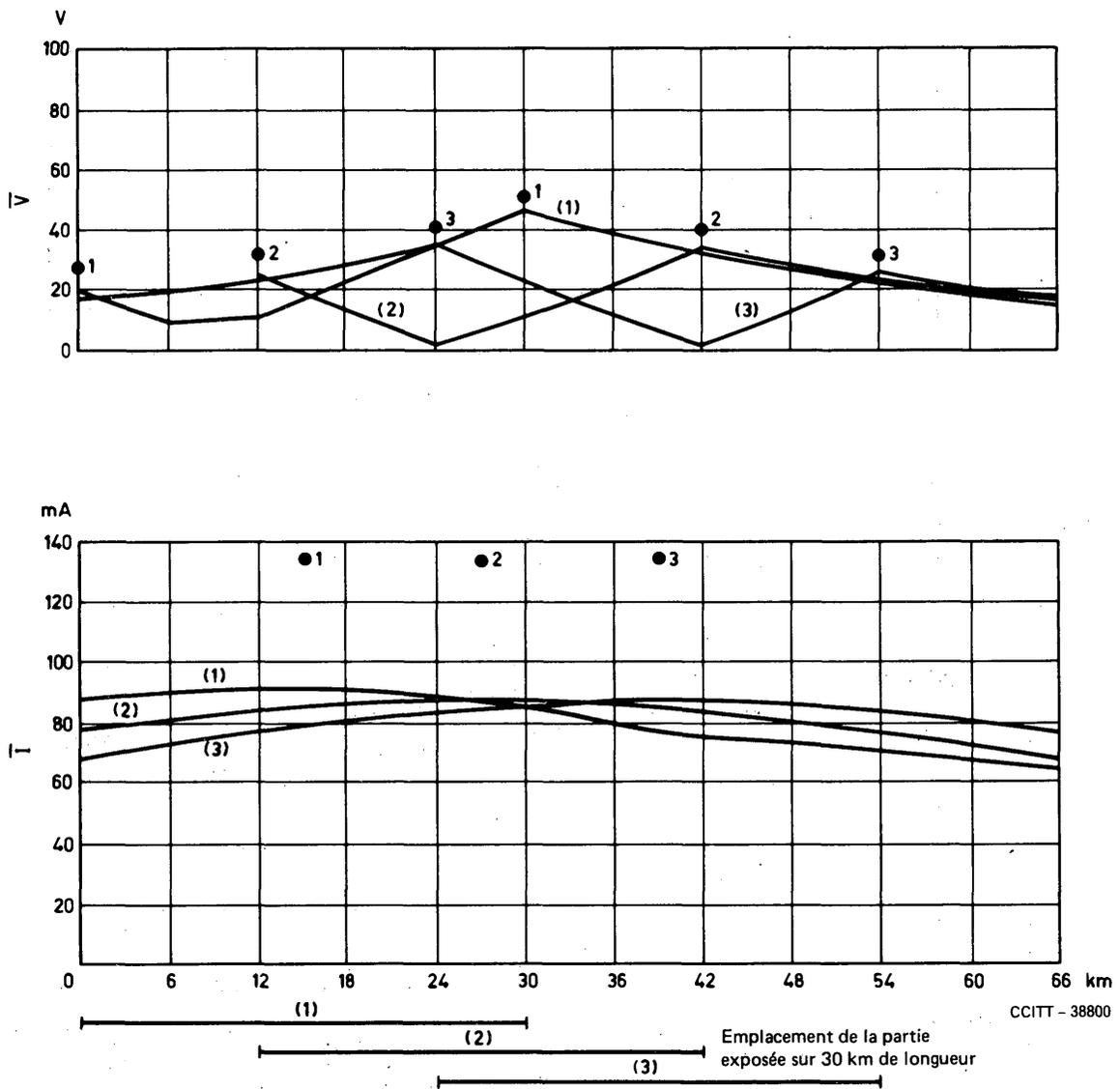


FIGURE C-6/K.16

Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (conducteur extérieur des paires coaxiales relié à la terre)



CCITT - 38800

1, 2, 3 } Valeurs maximales déterminées au
 ● } moyen du circuit équivalent

Longueur du rapprochement : 30 km
 Tension inductrice : 100 volts

FIGURE C-7/K.16

Tensions et courants apparaissant sur un système à 300 voies dans le cas de rapprochements asymétriques avec une ligne inductrice (conducteur extérieur des paires coaxiales relié à la terre)

Références

- [1] KEMP (J.), SILCOOK (H.W.), STEWARD (C.J.): «Power Frequency Induction on Coaxial Cables with Application to Transistorized Systems», *Electrical Communication*, vol. 40, n° 2, pp. 255-266, 1965.
(Même texte en français dans: *Revue des Télécommunications*, vol. 40, n° 2, pp. 254-263, 1965.)
- [2] SALZMANN (W.), VOGEL (W.): «Berechnung der Starkstrombeeinflussung von Nachrichtenkabeln mit Koaxialpaaren und isolierten Aussenleitern» («Calculation of Power Current Interference in Telecommunication Cables with Coaxial Pairs and Insulated Outer Conductors»), *Signal und Draht* 57, n° 12, pp. 205-211, 1965.

Bibliographie

- KEMP (J.): «Estimating Voltage Surges on Buried Coaxial Cables Struck by Lightning», *Electrical Communication*, vol. 40, n° 3, pp. 381-385, 1965.
(Même texte en français dans: *Revue des Télécommunications*, vol. 40, n° 3, pp. 398-402, 1965.)
- POPP (E.): «Lightning Protection of Line Repeaters», *Conference Proceedings, ICC 68 of the IEEE*, pp. 169-174.

Avis K.17¹⁾ (Genève, 1976)

ESSAIS À EXÉCUTER SUR DES RÉPÉTEURS TÉLÉALIMENTÉS À COMPOSANTS À ÉTAT SOLIDE POUR VÉRIFIER L'EFFICACITÉ DES MESURES DE PROTECTION CONTRE LES PERTURBATIONS EXTÉRIEURES

1 Introduction

1.1 Ainsi qu'il est souligné dans le § 4.1 de l'Avis K.15, il est souhaitable que les conditions d'essai se rapprochent le plus possible des conditions réelles. Comme certaines Administrations peuvent être exposées à des conditions ambiantes différentes ou visent des objectifs de service ou obéissent à des contraintes économiques différents, ces essais peuvent être modifiés en vue de leur adaptation aux conditions locales.

Lorsque les conditions ambiantes ne sont pas connues, il convient d'appliquer le texte donné dans le présent Avis.

1.2 Aucun des essais indiqués dans le présent Avis ne doit modifier essentiellement les caractéristiques des répéteurs essayés.

Cette disposition vise notamment:

- a) l'intensité et la tension du courant d'alimentation,
- b) la caractéristique de gain en fonction de la fréquence,
- c) le bruit total,
- d) le taux d'erreur sur les bits.

Les essais comprennent:

- des essais de prototype,
- des essais de réception.

Ils ont pour but de vérifier l'efficacité de l'ensemble des mesures prises pour protéger les répéteurs utilisant des composants à état solide. Ces mesures comprennent les appareils de protection incorporés comme partie intégrante du répéteur ou installés à l'extérieur.

1.3 Essais de prototype

Les essais de prototype ont pour but de vérifier l'efficacité du modèle de répéteur et des éléments de protection dans un environnement rigoureux.

Pour définir ce que doivent être les mesures de protection, on doit prendre en considération les forces électromotrices les plus dangereuses qui peuvent apparaître à l'entrée ou à la sortie des répéteurs à composants à état solide, même si elles ne se manifestent que très rarement.

¹⁾ Voir également les Avis K.15 et K.16.

Quand un répéteur à composants à état solide comportant des parafoudres à ses bornes d'entrée (ou de sortie) est soumis à une tension de choc, l'énergie (résiduelle) qui peut parvenir à ses composants dans l'intervalle de temps compris entre zéro et l'amorçage des parafoudres dépend entre autres choses de la raideur du flanc de montée de l'impulsion.

Lors de l'essai de prototype, l'énergie résiduelle devra être aussi grande que dans le cas le plus défavorable qu'on peut prévoir en service.

On réalisera cette condition en choisissant une onde de choc d'amplitude et de raideur appropriées. Toutefois, il est également recommandé d'appliquer au répéteur une impulsion d'amplitude inférieure à la tension d'amorçage des parafoudres, afin de déterminer comment le répéteur se comporte sous l'influence de l'onde de choc complète.

1.4 Essais de réception

Ces essais sont destinés à montrer, une fois la construction de l'équipement terminée, que la protection fonctionne convenablement. En général, on se contentera d'une épreuve moins rigoureuse que celle à laquelle est soumis le répéteur lors de l'essai de prototype, afin de ne pas risquer de faire subir à certains éléments une détérioration que peut-être aucun procédé de mesure ne permettrait de déceler. Cependant, il est laissé aux utilisateurs la possibilité de prescrire des essais plus rigoureux (correspondant à des conditions réelles particulières).

L'utilisateur décidera si les essais de réception doivent être effectués sur chaque équipement ou par échantillonnage.

Remarque — Dans certains cas, les utilisateurs peuvent juger utile d'effectuer des essais supplémentaires qui correspondent à leurs besoins particuliers et qui, de ce fait, ne se trouvent pas parmi les essais indiqués ci-dessous.

2 Méthodes d'essai

2.1 Méthodes d'essai concernant la protection des répéteurs contre les surtensions dues à des coups de foudre (essais en onde de choc)

On utilisera pour ces essais un dispositif constitué selon la figure 1/K.17. Les valeurs des composants C_2 et R_3 sont indiquées au tableau 1/K.17. Le condensateur C_1 devra résister à une tension de charge égale à la tension de crête indiquée dans ce tableau.

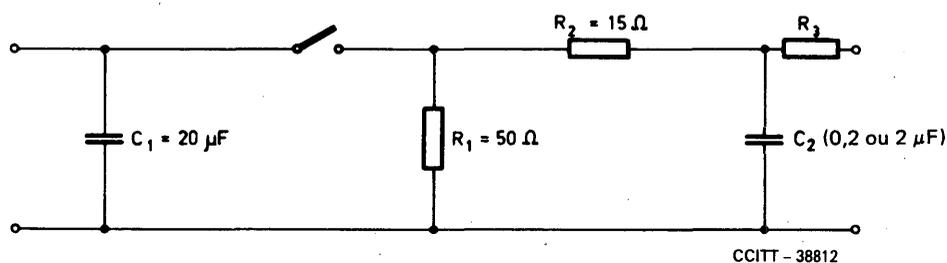


FIGURE 1/K.17
Schéma du générateur d'ondes de choc

Remarque — Quand on doit essayer des amplificateurs pour paires symétriques ou micropaires coaxiales, il convient de limiter, au moyen de la résistance R_3 , l'intensité du courant de court-circuit de l'équipement d'essai à des valeurs adéquates, compte tenu du fait que les conducteurs des lignes à paires symétriques et des micropaires coaxiales ont une plus grande résistance que ceux des lignes en câbles à paires coaxiales.

Les formes d'ondes données par le tableau sont en accord avec les définitions figurant en [1]. (Les tensions et formes d'ondes se réfèrent à un générateur non chargé.)

TABLEAU 1/K.17

Caractéristiques des formes d'ondes à utiliser pour les essais

	Répéteurs pour paires coaxiales ($\geq 1,2/4,4$ mm)				Répéteurs pour paires symétriques				Répéteurs pour micro-paires coaxiales (0,7/2,9 mm)			
	Essais de prototype		Essais de réception		Essais de prototype		Essais de réception		Essais de prototype		Essais de réception	
	Essai 1 Essai 2	Essai 3a)	Essai 1 Essai 2	Essai 3a)	Essai 1 Essai 2	Essai 3	Essai 1 Essai 2	Essai 3	Essai 1 Essai 2	Essai 3a)	Essai 1 Essai 2	Essai 3a)
Colonne n°	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Forme d'onde ^{b)}	10/700	10/700	100/700	100/700	10/700	10/700	100/700	100/700	10/700	10/700	100/700	100/700
Charge	0,1 coulomb	max. 0,1 coulomb	0,06 coulomb	max. 0,06 coulomb	0,03 coulomb	0,03 coulomb	0,03 coulomb	0,03 coulomb	0,1 coulomb	max. 0,1 coulomb	0,06 coulomb	max. 0,06 coulomb
Tensions de crête	5 kV	5 kV	3 kV	3 kV	1,5 kV	1,5 kV	1,5 kV	1,5 kV	5 kV	5 kV	3 kV	3 kV
Courant de court-circuit à la décharge	333 A		200 A		37,5 A		37,5 A		125 A		75 A	
Courant de crête dans le circuit de téléalimentation		50 A		50 A		37,5 A		37,5 A		50 A		50 A
C_2	0,2 μ F	0,2 μ F	2 μ F	2 μ F	0,2 μ F	0,2 μ F	2 μ F	2 μ F	0,2 μ F	0,2 μ F	2 μ F	2 μ F
R_3	c)	c)	c)	c)	25 Ω	25 Ω	25 Ω	25 Ω	25 Ω	25 Ω	25 Ω	25 Ω
Nombre d'impulsions	10	10	2	2	10	10	2	2	10	10	2	2

a) Pour l'essai 3 sur répéteurs pour câbles à paires coaxiales, on peut abaisser la tension de crête à un niveau tel que le courant correspondant ne dépasse pas 50 A.

b) Valeurs approximatives (voir aussi la remarque du § 2.1).

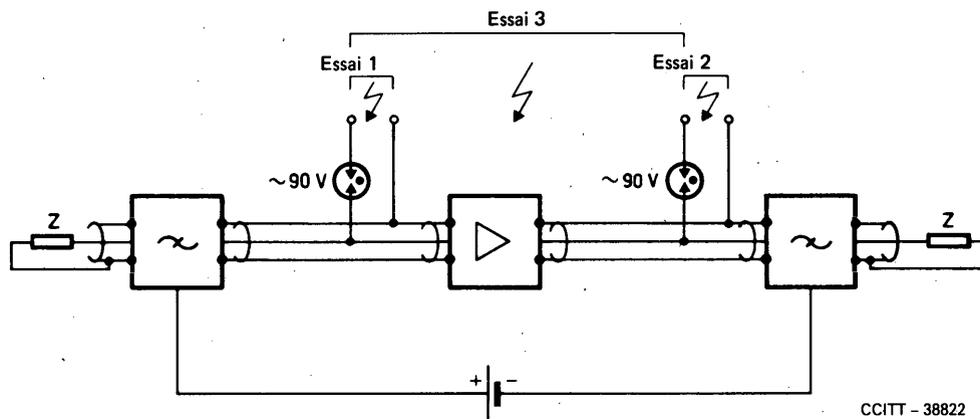
c) La résistance R_3 (0-2,5 ohms) peut être introduite pour empêcher une décharge oscillatoire. Elle peut dépasser 2,5 ohms si C_2 et R_2 sont ajustés pour maintenir la forme d'onde avec la charge.

Les impulsions sont appliquées avec polarité inversée d'une impulsion à l'autre, avec un intervalle d'une minute entre impulsions successives; le nombre d'impulsions à chaque point d'essai dans les différents cas est indiqué par la dernière ligne du tableau 1/K.17. Les ondes de choc doivent être appliquées aux points suivants:

- *Essai 1*: à l'entrée du répéteur, la sortie étant fermée sur son impédance caractéristique;
- *Essai 2*: à la sortie du répéteur, l'entrée étant fermée sur son impédance caractéristique;
- *Essai 3*: (dans le sens longitudinal) entre le conducteur intérieur côté entrée et le conducteur intérieur côté sortie du répéteur dans le cas des répéteurs pour paires coaxiales (aux bornes du circuit de téléalimentation dans le cas des répéteurs pour paires symétriques).

Le répéteur doit être alimenté pour les essais 1 et 2; il ne doit pas être alimenté pour l'essai 3.

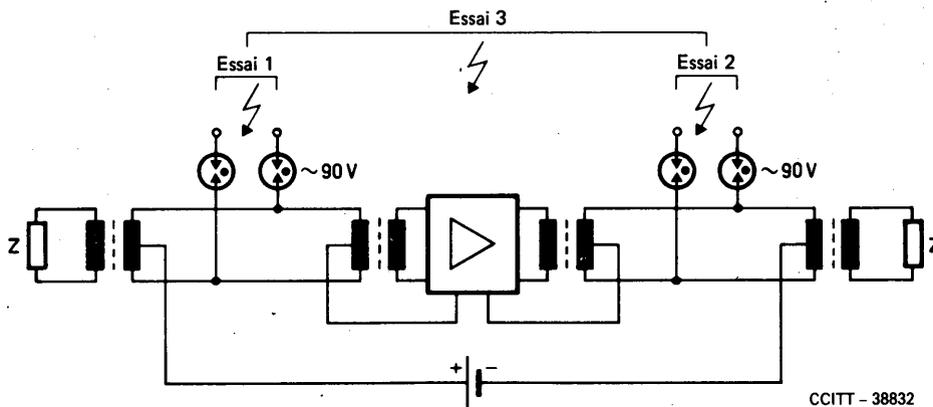
Pour ces essais, on peut avoir intérêt à adopter le circuit représenté à la figure 2/K.17 pour les paires coaxiales ou à la figure 3/K.17 pour les paires symétriques. Le couplage du générateur d'impulsions avec le répéteur pourra se faire au moyen de parafoudres ayant une tension d'amorçage de 90 V environ, comme illustré aux figures 2/K.17 et 3/K.17.



Remarque - Z à spécifier suivant les caractéristiques du système à l'essai.

FIGURE 2/K.17

Exemple de montage pour l'essai de tension de choc sur des répéteurs téléalimentés pour câbles à paires coaxiales



Remarque - Z à spécifier suivant les caractéristiques du système à l'essai.

FIGURE 3/K.17

Exemple de montage pour l'essai de tension de choc sur les répéteurs téléalimentés utilisés pour des câbles à paires symétriques

2.2 Méthodes d'essai concernant la protection des répéteurs contre les influences du courant alternatif dues à un dérangement dans une ligne électrique

2.2.1 Essais en courant alternatif aux bornes d'entrée et de sortie du répéteur

Une f.é.m. (de fréquence 16 2/3, 25, 50 ou 60 Hz) est appliquée:

- à l'entrée du répéteur, la sortie étant fermée sur une impédance double de l'impédance caractéristique,
- à la sortie du répéteur, l'entrée étant fermée sur une impédance double de l'impédance caractéristique.

La valeur, la durée de la f.é.m. et l'impédance interne de cette source doivent être représentatives des conditions locales. (Cet essai n'est spécifié que pour les répéteurs pour paires coaxiales.)

2.2.2 Essais en courant alternatif aux bornes du circuit d'alimentation du répéteur

Un courant alternatif de fréquence et d'intensité appropriées est appliqué aux bornes du circuit d'alimentation en énergie.

Pour les essais indiqués au § 2.2, aucune énergie n'est appliquée au répéteur.

2.3 Méthodes d'essai concernant la protection des répéteurs contre les perturbations dues à une tension alternative longitudinale induite en permanence par des lignes électriques

Pour qu'un répéteur fonctionne de façon satisfaisante en présence de tensions induites en régime permanent (voir le § 3.2 de l'Avis K.15), sa caractéristique de bruit de modulation doit être conforme aux recommandations pour les sections principales prévues par la Commission d'études XV, comme cela est signalé au § 4.3 de l'Avis K.15 et la qualité de la transmission qu'il assure ne doit pas se modifier sensiblement (voir l'Avis cité en [2]) quand il est connecté à une ligne ordinaire d'alimentation en énergie qui le soumet:

- a) à une tension alternative de fréquence appropriée (50 Hz, 16 2/3 Hz, etc.) appliquée:
 - i) aux bornes d'entrée des signaux, ou
 - ii) aux bornes de sortie des signaux.

La source de cette tension alternative doit avoir, à ses points de jonction au circuit d'essai, une impédance telle que les caractéristiques de transmission de ce dernier en fonction de la fréquence ne soient pas sensiblement modifiées, par l'application de cette tension.

- b) à un courant alternatif de fréquence appropriée superposé au courant d'alimentation du répéteur.

L'essai spécifié en a) est à exécuter sous 60 V ou 150 V suivant les limites de la force électromotrice induite en permanence [3]. L'essai spécifié en b) doit être exécuté avec un courant d'une intensité correspondant à une tension de 60 V ou 150 V calculée selon la méthode décrite dans l'Avis K.16 en se plaçant dans les conditions les plus défavorables.

3 Essais à effectuer dans les différents cas

3.1 Conditions d'essais concernant les répéteurs pour paires coaxiales

Les essais qui suivent ont été mis au point pour le cas où le conducteur extérieur est relié à l'enveloppe métallique du câble. Cela couvre le cas où le conducteur extérieur, ayant normalement un potentiel flottant, entrerait accidentellement en contact avec l'enveloppe métallique.

3.1.1 Essais de prototype

3.1.1.1 Essais aux bornes d'entrée et de sortie du répéteur

3.1.1.1.1 Essais en ondes de choc

Ces essais auront lieu dans les conditions indiquées dans la colonne 1 du tableau 1/K.17.

Si la protection est assurée par les *dispositifs à seuil* (par exemple, parafoudres), situés à l'entrée ou à la sortie du répéteur, et s'ils n'amorcent pas dans les conditions d'essais indiquées ci-dessus, il sera nécessaire d'augmenter progressivement la tension de charge du condensateur C_1 jusqu'à ce qu'ils amorcent (sans dépasser 7 kV²⁾).

²⁾ Si des répéteurs utilisés pour micropaires coaxiales sont mis à l'essai, la tension maximale de crête ne doit pas dépasser 5 kV.

Si les parafoudres n'amorcent pas à 7 kV²⁾ ou si les répéteurs soumis aux essais de prototype ne sont pas munis de parafoudres, il est possible que la forme d'onde proposée ci-dessus ne soit pas appropriée. Une forme d'impulsion simulant un claquage dans le câble peut être produite par le générateur d'essai ci-dessus, si un éclateur de tension approprié est connecté en parallèle sur le circuit. Lorsqu'il y a des parafoudres et s'ils amorcent lors des essais mentionnés ci-dessus, on doit réduire progressivement la tension de charge du condensateur C_1 , jusqu'à ce qu'ils n'amorcent plus.

3.1.1.1.2 Essais en courant alternatif³⁾

Une source qui produira une tension de 1200 V efficaces aux bornes d'une résistance de 150 ohms sera appliquée pendant 0,5 seconde:

- à l'entrée du répéteur, la sortie étant terminée sur une résistance de 150 ohms;
- à la sortie du répéteur, l'entrée étant terminée sur une résistance de 150 ohms.

L'impédance de la source devra être telle que l'intensité des courants qui circulent soit comprise entre 8 et 10 A.

La f.é.m. de la source devrait être telle qu'une tension d'au moins 1200 V_{eff} apparaisse aux bornes d'une résistance de charge de 150 ohms. La figure 4/K.17 montre un exemple de circuit d'essai convenant pour la fréquence 50 Hz.

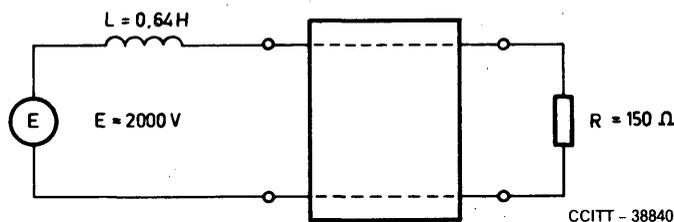


FIGURE 4/K.17

Exemple de circuit pour essais en courant alternatif à 50 Hz

3.1.1.1.3 Essais avec une tension alternative induite en régime établi

Ces essais doivent être exécutés selon le § 2.3.

3.1.1.2 Essais aux bornes du circuit de téléalimentation du répéteur

3.1.1.2.1 Essais en onde de choc

Ces essais seront effectués dans les conditions indiquées dans la colonne 2 du tableau 1/K.17.

Dans ces essais, le condensateur C_1 peut être chargé à 5 kV ou sous une tension plus basse, à condition que l'intensité de crête du courant circulant dans le circuit d'alimentation atteigne 50 A.

3.1.1.2.2 Essais en courant alternatif

Ces essais consistent à faire circuler dans le circuit de téléalimentation un courant alternatif dont l'intensité et la fréquence correspondent au courant alternatif auquel on peut s'attendre en service. Ce courant sera appliqué pendant 0,5 seconde et ne devra pas dépasser une intensité efficace de 10 A.

3.1.1.2.3 Essais avec une tension alternative induite en régime établi

Ces essais doivent être exécutés selon le § 2.3.

²⁾ Si des répéteurs utilisés pour micropaires coaxiales sont mis à l'essai, la tension maximale de crête ne doit pas dépasser 5 kV.

³⁾ Cette partie de l'Avis pourra être modifiée à la suite des études et expériences futures. Si une Administration estime que ces valeurs sont trop élevées pour ses besoins eu égard aux conditions locales, une valeur plus faible peut être spécifiée.

3.1.2 *Essais de réception*

3.1.2.1 *Essais aux bornes d'entrée et de sortie du répéteur*

Ces essais seront effectués dans les conditions indiquées dans la colonne 3 du tableau 1/K.17.

3.1.2.2 *Essais aux bornes du circuit de téléalimentation du répéteur*

Ces essais seront effectués dans les conditions indiquées dans la colonne 4 du tableau 1/K.17. Pour ces essais, on peut charger le condensateur C_1 sous 3 kV ou sous une tension plus basse, à condition que le courant de crête dans le circuit de téléalimentation atteigne alors 50 A.

3.2 *Conditions d'essais concernant les répéteurs pour paires symétriques*

3.2.1 *Essais de prototype*

3.2.1.1 *Essais aux bornes d'entrée et de sortie du répéteur*

3.2.1.1.1 *Essais en onde de choc*

On utilisera pour ces essais une forme d'onde ayant les caractéristiques indiquées dans la colonne 5 du tableau 1/K.17.

Lorsque la rigidité diélectrique des paires symétriques est plus grande que celle des paires isolées au papier, il est conseillé d'utiliser une tension de crête plus élevée que celle indiquée dans le tableau 1/K.17.

Lorsqu'il y a des parafoudres et s'ils amorcent lors des essais mentionnés ci-dessus, on doit réduire progressivement la tension de charge du condensateur C_1 jusqu'à ce qu'ils n'amorcent plus.

Remarque – Lorsqu'il y a des parafoudres entre les bornes d'entrée et de sortie du répéteur et son châssis, il faut connecter une des bornes au châssis avant de faire l'essai de tension transversale, afin de simuler l'amorçage d'un parafoudre.

3.2.1.1.2 *Essais en courant alternatif*

Il n'est pas spécifié d'essai en courant alternatif.

3.2.1.2 *Essais aux bornes du circuit de téléalimentation du répéteur*

3.2.1.2.1 *Essais en ondes de choc*

Ces essais seront effectués dans les conditions indiquées dans la colonne 6 du tableau 1/K.17.

3.2.1.2.2 *Essais en courant alternatif*

Ces essais consistent à faire circuler dans le circuit de téléalimentation un courant alternatif auquel on peut s'attendre en service. Ce courant sera appliqué pendant 0,5 seconde.

On peut omettre ces essais si, dans les conditions ambiantes, les répéteurs ne sont pas sujets à des f.é.m. longitudinales induites par des lignes électriques qui donneraient naissance à des courants longitudinaux.

3.2.1.2.3 *Essais avec une tension alternative induite en régime établi*

Ces essais doivent être exécutés selon le § 2.3.

3.2.2 *Essais de réception*

3.2.2.1 *Essais aux bornes d'entrée et de sortie des répéteurs*

Ces essais seront effectués dans les conditions indiquées dans la colonne 7 du tableau 1/K.17.

3.2.2.2 Essais aux bornes du circuit de téléalimentation du répéteur

Ces essais seront effectués dans les conditions indiquées dans la colonne 8 du tableau 1/K.17.

Références

- [1] Publication n° 60-2/1973 de la CEI.
- [2] Avis du CCITT *Modulation non désirée et gigue de phase*, tome III, fascicule III-2, Avis G.229, § 1.3.
- [3] Manuel du CCITT *Directives concernant la protection des lignes de télécommunication contre les actions nuisibles des lignes électriques*, chapitre IV, alinéas 6, 7 et 35, UIT, Genève, 1963, 1965, 1974, 1978.

Avis K.18

MÉTHODE DE CALCUL DES TENSIONS INDUITES PAR LES ÉMISSIONS RADIOÉLECTRIQUES ET MÉTHODE DE RÉDUCTION DES PERTURBATIONS

1 Introduction

De façon générale, il est rare qu'on observe dans les circuits en câbles enterrés ou souterrains des perturbations causées par l'effet inducteur d'ondes radioélectriques. En revanche, on a signalé à maintes reprises des cas de perturbations de ce type dans les circuits en lignes aériennes, en câbles aériens ou en câbles placés à l'intérieur des bâtiments.

Des perturbations sur les circuits à fréquences vocales se produisent parce que l'onde radioélectrique induite est détectée et démodulée par les composants non linéaires de l'appareil téléphonique ou par la couche d'oxyde métallique qui se forme aux épissures des conducteurs. Cette perturbation consiste principalement en un bruit intelligible et, selon les rapports, elle se produit jusqu'à environ 5 km d'une station radioélectrique dont la puissance rayonnée dépasse plusieurs dizaines de kilowatts.

Sur les circuits de transmission à courants porteurs ou sur les circuits de transmission d'un signal vidéo, l'onde radioélectrique induite dégrade directement la qualité de fonctionnement du circuit quand sa fréquence tombe dans la gamme des fréquences d'exploitation du système de transmission. Cette perturbation se traduit habituellement par un son de fréquence pure dans une voie téléphonique, et elle est inintelligible. Elle provoque une dégradation du rapport signal/bruit (S/B) du système de transmission et se produit dans un rayon important autour de la station radioélectrique. On connaît peu d'exemples de perturbations causées aux circuits de transmission d'un signal vidéo, mais ce problème est appelé à prendre de l'importance à mesure que les services de transmission de signaux vidéo deviendront plus nombreux.

Un exemple peu fréquent de perturbations causées par les courants d'ondes radioélectriques induites est celui de brûlures perçues par le personnel chargé de la maintenance des installations extérieures. De tels inconvénients n'ont été constatés qu'à proximité immédiate de l'antenne d'une station radioélectrique.

2 Analyse des perturbations

Pour procéder à l'analyse théorique de la tension induite par une onde radioélectrique, on admet les conditions suivantes:

- la résistivité du sol est homogène et uniforme;
- un câble ou un fil est tendu en ligne droite à hauteur constante au-dessus du sol;
- l'écran métallique du câble est mis à la terre aux deux extrémités;
- le champ électrique de l'onde radioélectrique a une intensité constante et un angle d'incidence constant et les variations de phase le long du câble sont uniformes;
- l'onde radioélectrique est à l'origine polarisée verticalement mais, au cours de sa propagation à la surface du sol, une composante horizontale apparaît par suite de la conductivité du sol de valeur finie.

Les constantes et les variables utilisées pour l'analyse théorique sont indiquées dans l'annexe A.

2.1 Pour les lignes de télécommunications sans écran métallique, la composante horizontale du champ électrique de l'onde joue directement le rôle d'une force électromotrice qui s'applique à la ligne de télécommunications. Il en résulte un bruit induit aux extrémités lorsque le circuit présente un déséquilibre d'impédance par rapport au sol. Les tensions longitudinales induites aux extrémités d'une ligne de télécommunications sans écran métallique sont données par les formules (B-1) et (B-2).

2.2 Pour les câbles de télécommunications avec écran métallique, la composante horizontale du champ électrique de l'onde joue le rôle d'une force électromotrice qui donne naissance à un courant induit dans le circuit de retour par le sol, composé de l'écran métallique du câble et le sol. Sous l'action du courant qui parcourt l'écran métallique, l'impédance de transfert entre les conducteurs et l'écran métallique engendre une force électromotrice induite dans les conducteurs. Cette force électromotrice peut provoquer une perturbation sur un circuit métallique du câble, selon son degré de déséquilibre par rapport à l'écran métallique (ou au sol).

Les tensions longitudinales induites aux extrémités d'un câble de télécommunications muni d'un écran métallique sont données par les formules (B-3) et (B-4). La référence [1] montre que les valeurs calculées au moyen de ces formules concordent avec les valeurs mesurées.

2.3 Les formules de l'annexe B sont cependant très compliquées et font entrer en jeu de nombreux paramètres. Dans ces conditions, il est utile de pouvoir calculer approximativement la valeur maximale de la tension longitudinale induite en appliquant la formule simplifiée qui suit:

$$V_2(0) \text{ dB} [\approx V_2(l)] = 20 \log_{10} V_2(0) \\ = 20 \log_{10} \frac{PE_v (\cos \theta) Z_K}{4Z_{01}} - 30 \log_{10} f - 20 \log_{10} \alpha_{20} + 300 \quad (2-1)$$

où

$$l \geq \frac{1,5 \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8 \quad (2-2)$$

$$20 \Omega < |Z_{1R}|, |Z_{1L}| \leq |Z_{01}| \quad (2-3)$$

$$\gamma_2 = \alpha_2 + j\beta_2$$

$$\alpha_2 = \alpha_{20} \sqrt{f} \times 10^{-3} \text{ (dB/km)}$$

α_{20} est l'affaiblissement linéique à 1 MHz (dB/km)

f est la fréquence de l'onde radioélectrique exprimée en Hz

Les autres constantes et variables sont indiquées dans l'annexe A.

La formule (2-1), qui donne la tension longitudinale induite maximale en dB (0 dB = 0,775 V), est obtenue à partir des éléments suivants:

La tension longitudinale induite, calculée à l'aide de la formule de l'annexe B atteint une valeur initiale de crête pour une longueur de câble,

$$l = \frac{1,5 \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8,$$

et ensuite atteint une série de valeurs de crête. Sa valeur maximale apparaît à l'une des premières crêtes pour une longueur de câble,

$$l \geq \frac{1,5 \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8.$$

La tension longitudinale induite atteint sa valeur maximale à l'une des premières valeurs de crête à cause de l'affaiblissement que subit l'onde radioélectrique induite au cours de sa propagation le long du câble (voir la figure 3/K.18).

L'erreur due à l'application de la formule (2-1), au lieu des formules rigoureuses de l'annexe B, est indiquée dans l'annexe C.

2.4 Quand la configuration de la ligne est très complexe, il faut la diviser en plusieurs tronçons et calculer pour chacun d'eux la tension longitudinale induite au moyen des formules (B-1) à (B-4). On combine ensuite les tensions induites ainsi calculées pour chaque tronçon de façon à obtenir la tension induite globale, compte tenu des caractéristiques de transmission et des conditions aux limites de la ligne considérée.

Lorsqu'on applique la formule simplifiée (2-1) à une ligne complexe, on peut utiliser un modèle correspondant à une ligne droite pour calculer la tension longitudinale induite maximale. On doit commencer les calculs au point situé le plus près de la station radioélectrique et la plus petite valeur d'angle d'incidence de l'onde radioélectrique doit être retenue pour ces calculs.

2.5 Quand le champ électrique de l'onde perturbatrice est mesuré sur le terrain, c'est cette valeur qu'on prend pour E_v dans la formule (2-1).

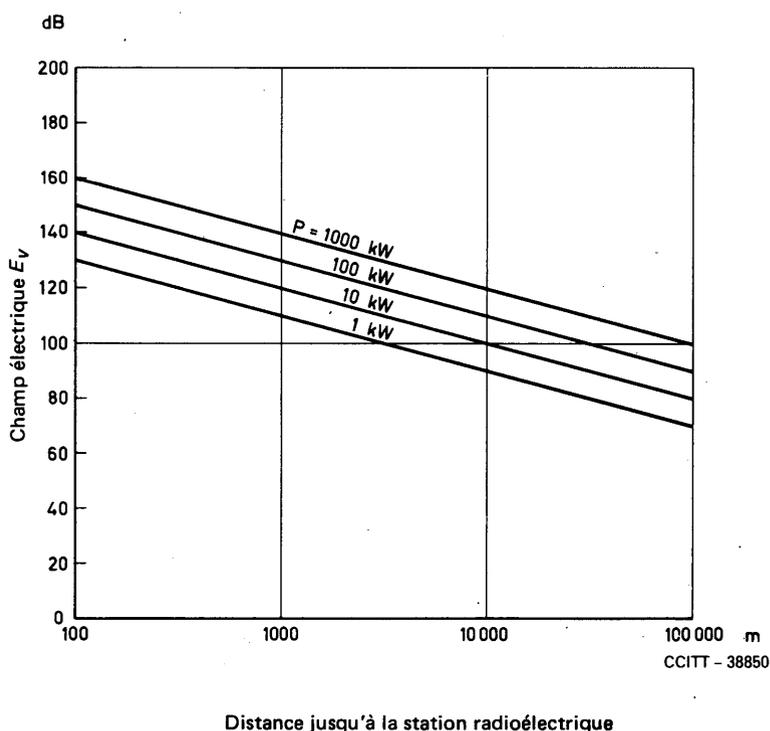
A défaut de mesure, la formule (2-4) fournit la valeur théorique du champ E_v en fonction de la puissance d'émission et de la distance de la station radioélectrique [2].

$$E_v = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{1,5 P Z_0}{2\pi}} \quad (2-4)$$

où

- P est la puissance d'émission de la station radioélectrique (W)
- r est la distance de la station radioélectrique (m)
- Z_0 est l'impédance intrinsèque de l'espace libre ($\approx 377 \Omega$)

La figure 1/K.18 montre le résultat calculé en appliquant la formule (2-4) en utilisant plusieurs valeurs de P .



Remarque - E_v est exprimé en dB (0 dB = 1 μ V/m)

FIGURE 1/K.18
Champ électrique de l'onde radioélectrique
en fonction de la distance jusqu'à la station

2.6 L'angle d'incidence de l'onde radioélectrique sur la ligne de télécommunications dépend considérablement des circonstances.

Lorsque la ligne de télécommunications est installée dans une région dégagée d'obstacles, on peut utiliser comme valeur de cet angle d'incidence soit la valeur mesurée, soit la valeur calculée à partir de la position géographique relative de la station radioélectrique et de la ligne de télécommunications.

Quand la ligne de télécommunications est installée à proximité de constructions qui font obstacle à la propagation des ondes radioélectriques, on peut admettre que l'angle d'incidence est nul, et les conditions les plus défavorables.

2.7 On calcule comme suit la tension longitudinale induite aux extrémités d'un câble de télécommunications (voir la figure 2/K.18), à l'aide de la méthode d'estimation indiquée ci-dessus.

En insérant les valeurs des paramètres P , f , α_{20} , β_2 et θ indiquées sur la figure 2/K.18 et les valeurs calculées pour E_v et Z_k dans les formules (2-1) et (2-2), on obtient les résultats suivants:

$$V_2(0) \approx V_2(l) = -35,0 \text{ dB}$$

$$l \geq 210 \text{ m}$$

de plus, en utilisant $\theta = 0^\circ$ pour représenter les conditions les plus défavorables, on obtient le résultat ci-après:

$$V_2(0) \approx V_2(l) = -32,0 \text{ dB}$$

$$l \geq 210 \text{ m}$$

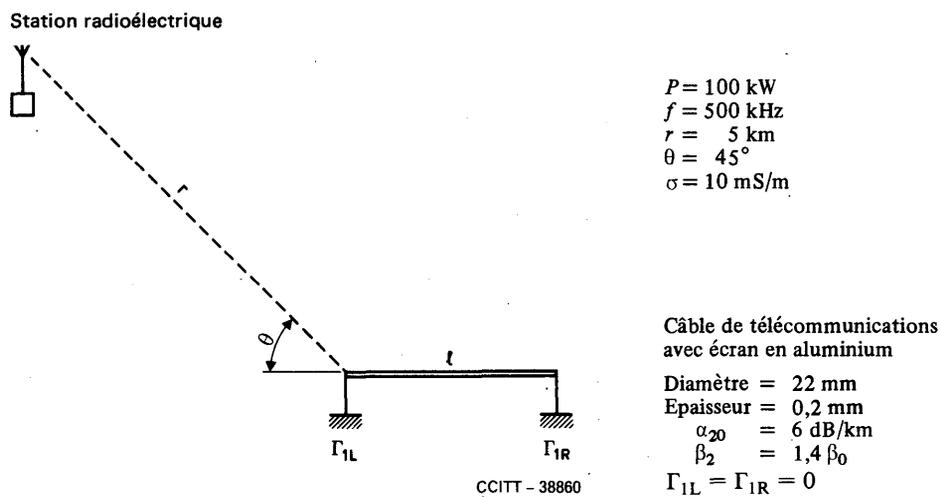


FIGURE 2/K.18

Positions relatives de la station radioélectrique et de la ligne de télécommunications

La figure 3/K.18 compare les résultats obtenus en utilisant la méthode de calcul simplifiée avec les résultats calculés en appliquant la formule rigoureuse de l'annexe B où les valeurs de V_2 sont exprimées en fonction de la longueur de câble. Il semble que la méthode simplifiée est celle qui convient le mieux pour l'estimation de la perturbation la plus forte susceptible d'apparaître.

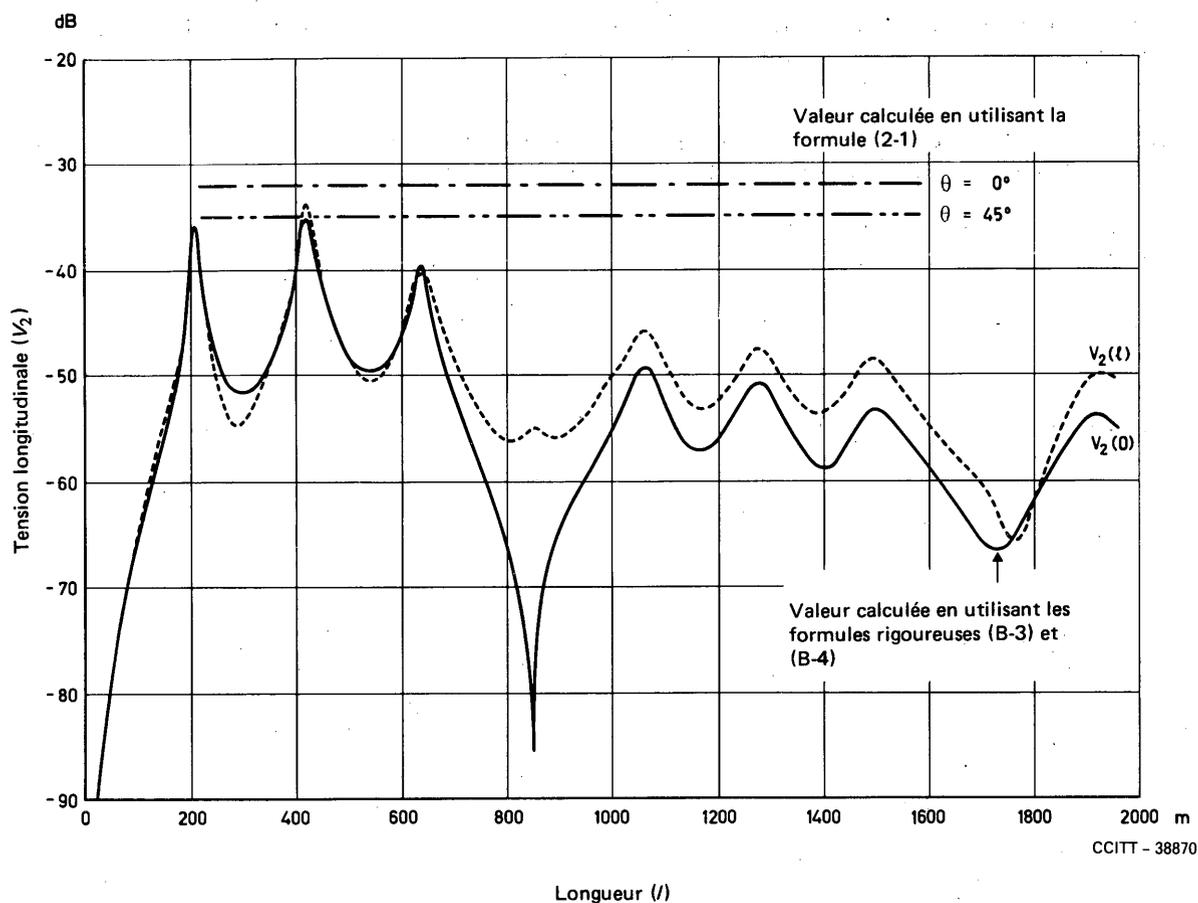


FIGURE 3/K.18

Tension longitudinale induite calculée aux extrémités du câble comme indiqué à la figure 2/K.18

2.8 Des tensions transversales qui provoquent du bruit se produisent à cause du défaut de symétrie du circuit par rapport à l'écran métallique (ou à la terre). Si le rapport λ entre les tensions longitudinale et transversale est connu, le niveau de bruit peut être obtenu à partir de la valeur calculée ou de la valeur mesurée de la tension longitudinale induite.

$$V = \lambda \cdot V_2$$

où

V_2 [$V_2(0)$ ou $V_2(l)$] est la tension longitudinale aux extrémités du circuit longitudinal à circuit ouvert,

et V [$V(0)$ ou $V(l)$] est la tension transversale aux extrémités du circuit métallique fermé sur son impédance caractéristique à ses deux extrémités.

Par exemple, dans le cas illustré par la figure 2/K.18 et pour une valeur de λ égale à -40 dB, on obtient comme suit la valeur du niveau de bruit V :

(Dans ce cas, $V_2 = -35$ dB [0 dB = 0,775 V])

$$V = -35 - 40 \text{ dB} = -75 \text{ dB}$$

3 Réduction des perturbations

Les mesures suivantes peuvent être prises afin de réduire les perturbations:

3.1 Les perturbations causées à des circuits à fréquences vocales peuvent être réduites en insérant une capacité de 0,01 à 0,05 μF entre les conducteurs et la terre au niveau des bornes d'entrée de l'équipement terminal ou de l'appareil téléphonique, de façon à court-circuiter le courant induit par les ondes radioélectriques.

3.2 Les perturbations causées à un système de transmission à courants porteurs et à un système de transmission de signal vidéo peuvent être efficacement réduites par les mesures suivantes:

3.2.1 Un écran approprié doit être incorporé au câble, par exemple, un écran en aluminium de 0,2 mm d'épaisseur autour d'un câble assure une réduction de la perturbation d'environ 70 dB. L'écran en aluminium doit être mis à la terre aux deux extrémités, à travers une résistance de mise à la terre inférieure à $|Z_{01}| \Omega$, lorsque la conductivité du sol est elle-même inférieure à 0,1 S/m. Quand on porte de 0,2 à 1,0 mm l'épaisseur de l'écran en aluminium, l'effet réducteur est augmenté de 50 à 60 dB.

3.2.2 Au niveau des épissures et des bornes de raccordement des câbles, les conducteurs doivent être entourés d'un écran métallique complet.

Remarque – Si l'écran est supprimé sur une trentaine de centimètres, la tension induite augmente de l'ordre de 30 dB, même s'il n'est pas isolé électriquement. A l'extrémité d'un câble, si on supprime éventuellement l'écran métallique sur environ 5 cm, la tension induite augmente d'environ 10 dB.

3.2.3 Sur des sections exposées à des perturbations par des ondes radioélectriques, un câble souterrain doit être installé ou bien des trajets de pose de câble différents doivent être utilisés.

3.2.4 Les distances entre répéteurs doivent être réduites afin d'obtenir pour le système un rapport signal/bruit (S/B) acceptable.

3.2.5 Le déséquilibre d'admittance par rapport à la terre de l'équipement terminal et des répéteurs à la fréquence de l'onde radioélectrique doit être amélioré (réduction).

3.2.6 Un réglage de préaccentuation dans le système de transmission doit être utilisé.

3.3 Pour réduire les tensions induites qui présentent un danger pour le personnel de maintenance, il est possible d'insérer à intervalles appropriés des condensateurs entre les conducteurs et la terre, à l'intérieur de la section subissant la perturbation afin de court-circuiter le courant induit.

En pareils cas, il faut choisir des condensateurs de capacité appropriée pour réduire au minimum l'affaiblissement dans la gamme des fréquences de transmission tout en réalisant une mise à la terre efficace à la fréquence des ondes radioélectriques. En même temps, il faut veiller à ce que le condensateur ne soit pas endommagé par des surtensions qui pourraient apparaître sur les conducteurs.

ANNEXE A

(à l'Avis K.18)

Constantes et variables utilisées dans l'Avis K.18

A.1 Le rapport P entre la composante horizontale et la composante verticale du champ électrique de l'onde radioélectrique à la surface du sol est donné par la formule:

$$P = \frac{E_h}{E_v} = \left| \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r - j \frac{\sigma}{\omega \varepsilon_0}}} \right| \approx \sqrt{\frac{\omega \varepsilon_0}{\sigma}} \quad (\text{A-1})$$

où

E_h est la composante horizontale du champ électrique de l'onde radioélectrique (V/m)

E_v est la composante verticale du champ électrique de l'onde radioélectrique (V/m)

ε_r est la constante diélectrique spécifique du sol

ε_0 est la constante diélectrique de l'espace libre (F/m)

Z_0 est l'impédance intrinsèque de l'espace libre (Ω)

β_0 est la constante de phase de l'espace libre (rad/m)

σ est la conductivité du sol (S/m)

ω est la pulsation de l'onde radioélectrique (rad/s)

f est la fréquence de l'onde radioélectrique (Hz)

A.2 L'impédance de transfert Z_K de l'écran métallique d'une enveloppe de câble est donnée par la formule:

$$Z_K = \frac{Kt}{\sinh Kt} \cdot R_{dc} \quad \Omega/m \quad (\text{A-2})$$

où

R_{dc} est la résistance linéique de l'écran métallique en courant continu (Ω/m)

$$K = \sqrt{j\omega\mu g}$$

μ est la perméabilité de l'écran métallique (H/m)

g est la conductivité de l'écran métallique (S/m)

t est l'épaisseur de l'écran métallique (m)

A.3 En ce qui concerne les symboles ci-après, voir la figure A-1/K.18.

θ est l'angle d'incidence de l'onde radioélectrique par rapport à la ligne de télécommunications (rad)

l est la longueur du câble (m)

x est la distance mesurée le long du câble à partir de l'extrémité du câble proche de la station radioélectrique (m)

Z_{01} est l'impédance caractéristique du circuit de retour par le sol (Ω)

γ_1 est l'exposant de propagation du circuit de retour par le sol

Z_{02} est l'impédance caractéristique du circuit longitudinal (Ω)

γ_2 est l'exposant de propagation du circuit longitudinal

Z_{1L} , Z_{1R} sont les impédances terminales du circuit de retour par le sol (Ω)

Z_{2L} , Z_{2R} sont les impédances terminales du circuit longitudinal (Ω)

$$\Gamma_{1L} = \frac{Z_{01} - Z_{1L}}{Z_{01} + Z_{1L}} \quad \text{est le coefficient de réflexion de courant du circuit de retour par le sol à } x = 0$$

$$\Gamma_{1R} = \frac{Z_{01} - Z_{1R}}{Z_{01} + Z_{1R}} \quad \text{est le coefficient de réflexion de courant du circuit de retour par le sol à } x = l$$

$$\Gamma_{2L} = \frac{Z_{02} - Z_{2L}}{Z_{02} + Z_{2L}} \quad \text{est le coefficient de réflexion de courant du circuit longitudinal à } x = 0$$

$$\Gamma_{2R} = \frac{Z_{02} - Z_{2R}}{Z_{02} + Z_{2R}} \quad \text{est le coefficient de réflexion de courant du circuit longitudinal à } x = l$$

$V_{1m}(x)$ (pour $m = 0$) est la tension sur le circuit de retour par le sol avec adaptation aux deux extrémités

$V_{1m}(x)$ (pour $m = L$) est la tension sur le circuit de retour par le sol avec défaut d'adaptation à $x = 0$

$V_{1m}(x)$ (pour $m = R$) est la tension sur le circuit de retour par le sol avec défaut d'adaptation à $x = l$

$V_{2m}(x)$ (pour $m = 0$) est la tension sur le circuit longitudinal avec adaptation aux deux extrémités

$V_{2m}(x)$ (pour $m = L$) est la tension sur le circuit longitudinal avec défaut d'adaptation à $x = 0$

$V_{2m}(x)$ (pour $m = R$) est la tension sur le circuit longitudinal avec défaut d'adaptation à $x = l$

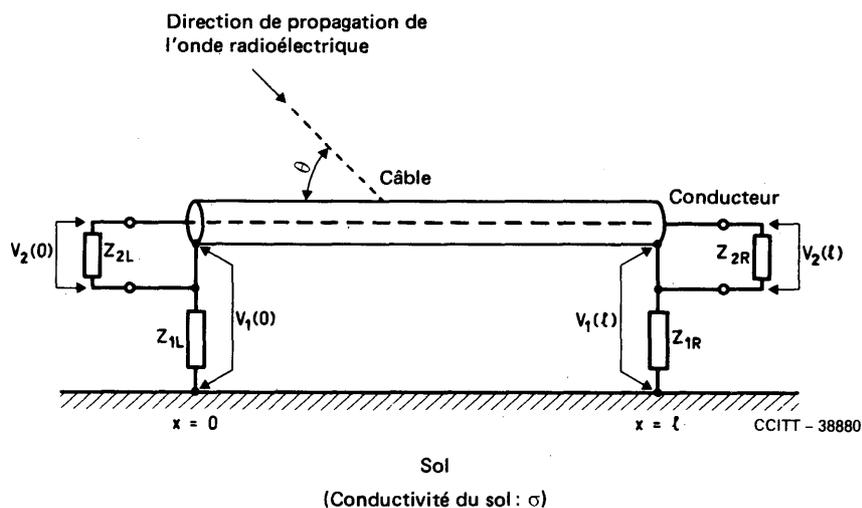


FIGURE A-1/K.18
Terminaison du circuit de retour par le sol (Z_{1L} , Z_{1R})
et du circuit longitudinal (Z_{2L} , Z_{2R})

ANNEXE B

(à l'Avis K.18)

Calcul de la tension longitudinale induite

B.1 Lignes de télécommunications sans écran métallique

Les tensions longitudinales induites aux extrémités d'une ligne de télécommunications sans écran métallique sont données par les formules (B-1) et (B-2).

Tension longitudinale induite à l'extrémité proche de la station radioélectrique:

$$\begin{aligned}
 V_1(0) &= V_{10}(0) + V_{1L}(0) + V_{1R}(0) \\
 V_{10}(0) &= -\frac{PE_V \cos \theta}{2} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} \\
 V_{1L}(0) &= \frac{-\Gamma_{1L} [1 - \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(0) \\
 V_{1R}(0) &= \frac{-\Gamma_{1R} e^{-\gamma_1 l} [1 - \Gamma_{1L}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(l)
 \end{aligned}
 \tag{B-1}$$

Tension longitudinale induite à l'extrémité éloignée de la station radioélectrique:

$$\left. \begin{aligned}
 V_1(l) &= V_{10}(l) + V_{1L}(l) + V_{1R}(l) \\
 V_{10}(l) &= \frac{PE_V \cos \theta}{2} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \\
 V_{1L}(l) &= \frac{-\Gamma_{1L} e^{-\gamma_1 l} [1 - \Gamma_{1R}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(0) \\
 V_{1R}(l) &= \frac{-\Gamma_{1R} [1 - \Gamma_{1L} e^{-2\gamma_1 l}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(l)
 \end{aligned} \right\} \quad (B-2)$$

où les constantes et les variables ont le sens indiqué dans l'annexe A.

B.2 Câbles de télécommunications munis d'un écran métallique

Les tensions longitudinales induites aux extrémités d'un câble de télécommunications muni d'un écran métallique sont données par les formules (B-3) et (B-4).

Tension longitudinale induite à l'extrémité proche de la station radioélectrique:

$$\left. \begin{aligned}
 V_2(0) &= V_{20}(0) + V_{2L}(0) + V_{2R}(0) \\
 V_{20}(0) &= -\frac{PE_I (\cos \theta) Z_K}{4 Z_{01}} \left[\left\{ \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} \right\} \cdot \right. \\
 &\quad \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_2 - j\beta_0 \cos \theta} + \left\{ -\frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \right. \\
 &\quad \cdot \left(\Gamma_{1L} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} e^{-\gamma_1 l} \cdot \right. \\
 &\quad \cdot \left. \left. \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \right) \right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + \gamma_1) l}}{\gamma_2 + \gamma_1} + \left\{ -\frac{e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \right. \\
 &\quad + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \right. \\
 &\quad \left. \left. + \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 (\cos \theta) l} e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta) l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \right) \right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - \gamma_1) l}}{\gamma_2 - \gamma_1} \left. \right] \\
 V_{2L}(0) &= \frac{-\Gamma_{2L} [1 - \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(0) \\
 V_{2R}(0) &= \frac{-\Gamma_{2R} e^{-\gamma_2 l} [1 - \Gamma_{2L}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(l)
 \end{aligned} \right\} \quad (B-3)$$

Tension longitudinale induite à l'extrémité éloignée de la station radioélectrique:

$$\begin{aligned}
 V_2(l) &= V_{20}(l) + V_{2L}(l) + V_{2R}(l) \\
 V_{20}(l) &= \frac{PE_V \cos \theta Z_K}{4 Z_{01}} \left[\left\{ \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} \right\} \cdot \right. \\
 &\quad \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_2 - j\beta_0 \cos \theta} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} + \left\{ -\frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \right. \\
 &\quad + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} \right. \\
 &\quad \cdot e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \left. \right) \left. \right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - \gamma_1)l}}{\gamma_2 - \gamma_1} e^{-\gamma_1 l} + \\
 &\quad + \left\{ -\frac{e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \left(\Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l} \cdot \right. \right. \\
 &\quad \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \left. \right) \left. \right\} \\
 &\quad \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + \gamma_1)l}}{\gamma_2 + \gamma_1} e^{\gamma_1 l} \left. \right] \\
 V_{2L}(l) &= \frac{-\Gamma_{2L} e^{-\gamma_2 l} [1 - \Gamma_{2R}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(0) \\
 V_{2R}(l) &= \frac{-\Gamma_{2R} [1 - \Gamma_{2L} e^{-2\gamma_2 l}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(l)
 \end{aligned} \tag{B-4}$$

où les constantes et les variables ont le sens indiqué dans l'annexe A.

ANNEXE C

(à l'Avis K.18)

Erreur entraînée par l'application de la formule simplifiée (2-1)

La formule simplifiée (2-1) peut être utilisée lorsque $3 \text{ dB/km} \leq \alpha_{20} \leq 30 \text{ dB/km}$, $1,2 \beta_0 \leq \beta_2 \leq 3 \beta_0$, $500 \text{ kHz} \leq f \leq 1,6 \text{ MHz}$, $10 \text{ mm} \leq d \leq 50 \text{ mm}$, $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$, $0,1 \text{ mS/m} \leq \sigma \leq 500 \text{ mS/m}$ et $-1 \leq \Gamma \leq 1$. Ces conditions sont considérées comme suffisantes pour les câbles aériens.

L'erreur entraînée par l'application de la formule (2-1) au lieu de la formule rigoureuse de l'annexe B dépend plutôt de σ et Γ que d'autres paramètres. La figure C-1/K.18 donne un exemple de cette relation. L'erreur est indiquée dans le tableau C-1/K.18 pour les gammes de σ et Γ de la figure C-2/K.18. On ne tient compte ici que de la gamme $\Gamma_1 \geq 0$, étant donné que $|Z_1| \leq Z_{01}$ est facile à obtenir. Dans la figure C-2/K.18, la gamme (I) est le cas habituel, tandis que les gammes (II) et (IV) sont des cas peu fréquents et que la gamme (III) est difficile à réaliser. Dans une gamme où se produit une erreur importante (par exemple, les gammes II, III et IV), ou lorsque la longueur de câble est trop courte pour satisfaire aux conditions de la formule (2-2), il est souhaitable de procéder aux calculs en appliquant la formule rigoureuse de l'annexe B.

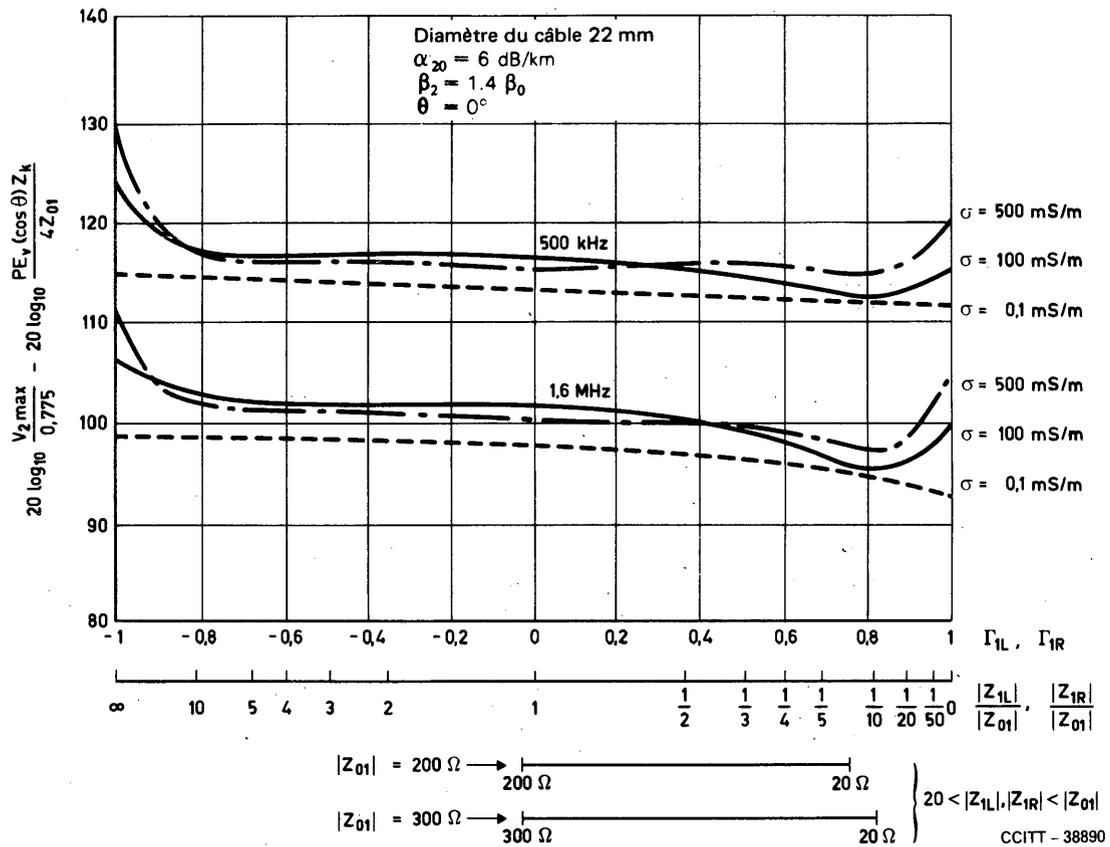


FIGURE C-1/K.18

Exemple de relation entre la tension longitudinale induite et (σ, Γ)

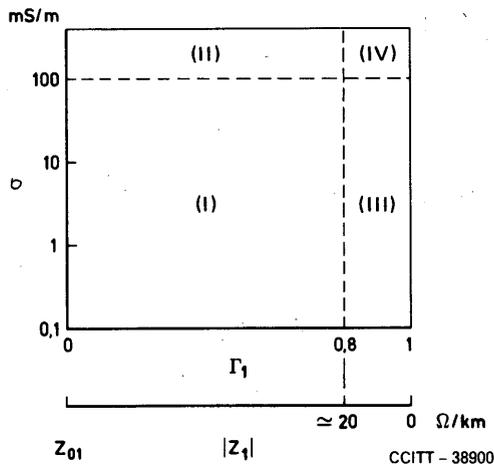


FIGURE C-2/K.18

Gammes de (σ, Γ)

TABLEAU C-1/K.18

Erreur entraînée par l'application de la formule (2-1) au lieu de la formule rigoureuse de l'annexe B

Gamme	Erreur
(I) (cas habituel)	$\pm 5 \text{ dB}$
(II) (cas rare)	$\pm 8 \text{ dB}$
(III) (cas rare)	de -5 à $+15 \text{ dB}$
(IV) (cas rare)	de -5 à $+23 \text{ dB}$

ANNEXE D

(à l'Avis K.18)

**Influence, sur le champ électrique mesuré de l'onde,
des conditions au voisinage de la ligne de télécommunications**

(Rapport de la NTT)

Le champ électrique de l'onde radioélectrique n'est pas affecté par les conditions au voisinage de la ligne de télécommunications et il est en bon accord avec la valeur prévue par la théorie (voir la figure D-1/K.18).

En revanche, ces conditions exercent une très forte influence sur l'angle d'incidence de l'onde radioélectrique par rapport à la ligne de télécommunications, mais il est très difficile d'en évaluer quantitativement les effets. Cependant, en zone dégagée, cet angle d'incidence correspond sensiblement à la valeur calculée d'après l'emplacement relatif de la station radioélectrique et de la ligne de télécommunications (voir la figure D-2/K.18).

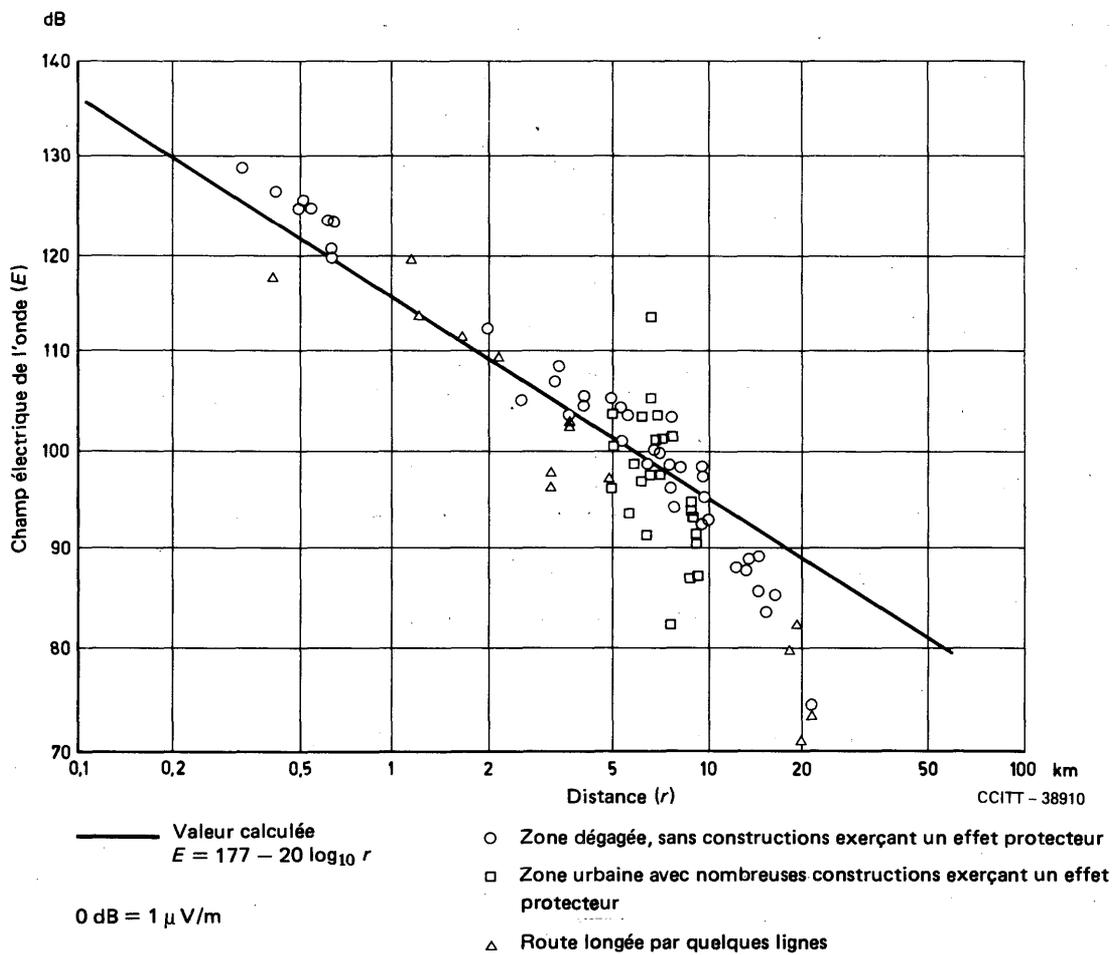


FIGURE D-1/K.18

**Rapport entre le champ électrique de l'onde et la distance (r)
jusqu'à la station radioélectrique**

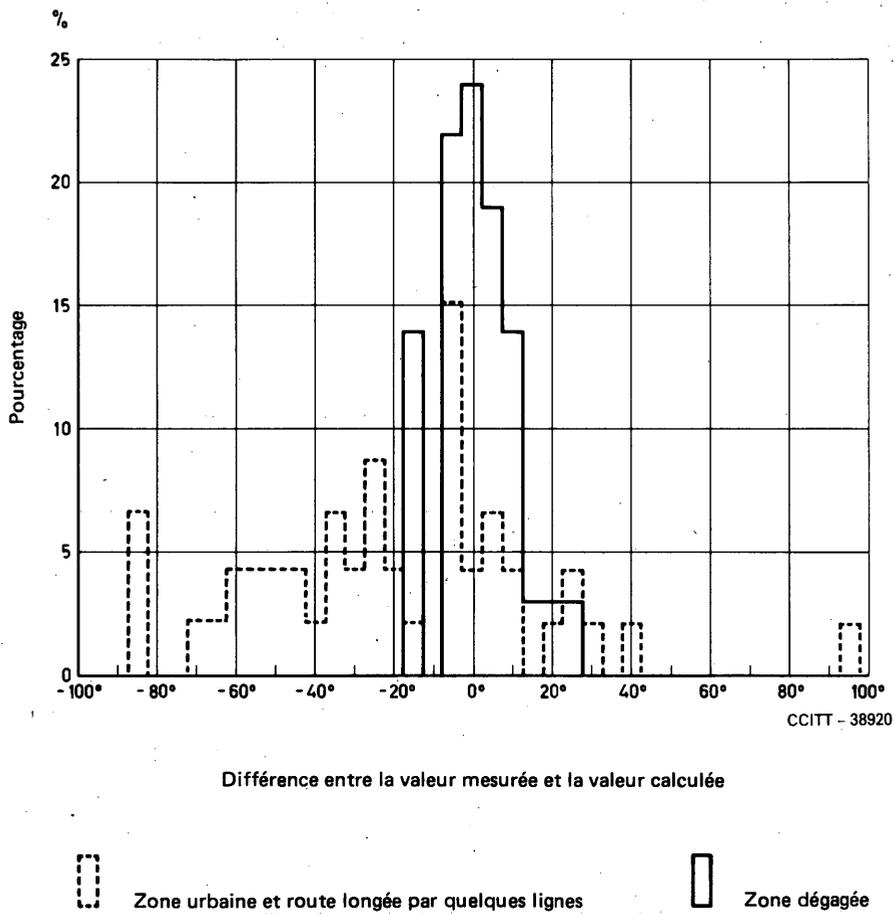


FIGURE D-2/K.18
 Histogramme de la différence entre la valeur mesurée et la valeur calculée
 de l'angle d'incidence de l'onde radioélectrique par rapport à la ligne de télécommunications

ANNEXE E

(à l'Avis K.18)

Exemples de rapport de conversion λ entre tension longitudinale induite et tension transversale

Les tensions longitudinale et transversale (de bruit) induites par les ondes radioélectriques dans les câbles aériens ont été mesurées dans des cas concrets.

La figure E-1/K.18 donne des exemples de valeur du rapport de conversion λ établi sur la base de valeurs mesurées de la tension longitudinale V_1 et de la tension transversale V_2 ($\lambda = V_1 - V_2$ dB).

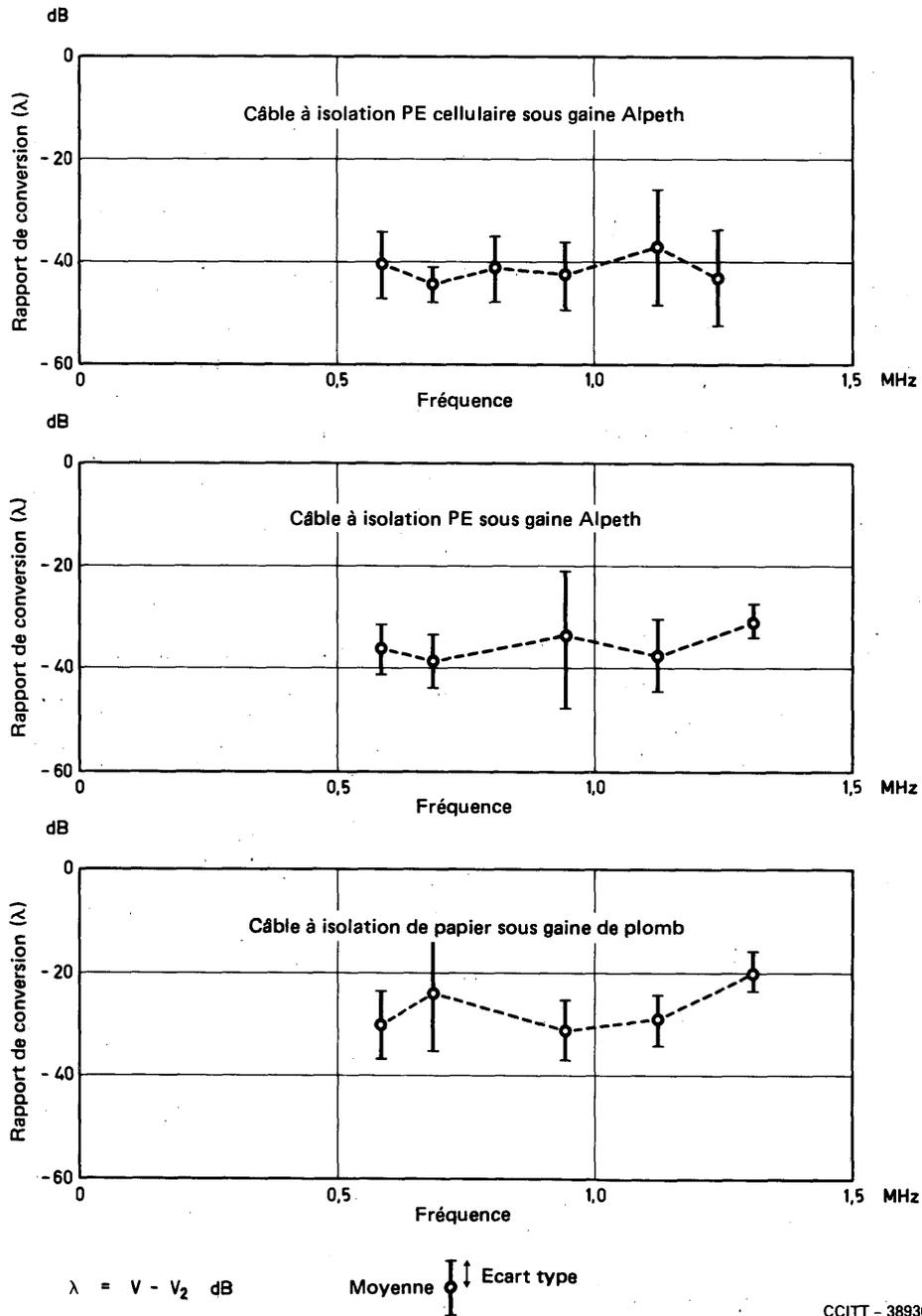


FIGURE E-1/K.18
Exemples de rapport de conversion λ

**Exemples de perturbations par une onde radioélectrique
et dispositions adoptées dans divers pays**

(Sur la base du rapport du Rapporteur spécial présenté à la réunion
de 1978 de la Commission d'études V)

Divers exemples de perturbations par induction causées par une onde radioélectrique à divers systèmes de télécommunications sont récapitulés dans le tableau F-1/K.18, ainsi que les mesures de protection pertinentes.

Il est rare que l'on observe des perturbations par induction provoquées par une onde radioélectrique dans le cas de circuits en câbles souterrains.

TABLEAU F-1/K.18

Perturbations par inductions provoquées par une onde radioélectrique et dispositions adoptées

Nature du circuit	Onde inductrice		Zone affectée et valeur du champ électrique	Etat du circuit affecté par la perturbation	Perturbation	Mesures de protection
	Fréquence	Puissance				
Circuit à fréquences vocales	Ondes km et hm (essentiellement ondes de radiodiffusion)	supérieure à plusieurs dizaines de kW	Dans un rayon de 5 km autour de la station radioélectrique (plusieurs V/m)	<ul style="list-style-type: none"> - Câble aérien (à enveloppe essentiellement en matière plastique, avec ou sans écran métallique, ou à enveloppe en plomb) - Ligne aérienne 	Bruit démodulé intelligible provenant du programme de radiodiffusion, parfois inintelligible	<ul style="list-style-type: none"> - Insertion de capacités (aux bornes d'entrée de l'appareil téléphonique) - Remplacement par un câble à écran métallique - Mise sous écran de la ligne d'introduction - Insertion dans le circuit de bobines d'arrêt
Circuit de transmission à courants porteurs et circuit de transmission de signal vidéo	Ondes km et hm (principalement hm)	supérieure à plusieurs kW	<ul style="list-style-type: none"> - Jusqu'à plusieurs dizaines de km - Dans le cas de systèmes à courants porteurs d'abonnés, on a signalé des perturbations jusqu'à près de 1000 km (0,03 à 1,8 V/m) 	<ul style="list-style-type: none"> - Essentiellement câble aérien avec écran métallique (paires symétriques, paires coaxiales) - Câblage dans des bâtiments (entre le multiplex et l'antenne, entre étages de démodulation) - Ligne aérienne 	Tonalité à une seule fréquence ou bruit inintelligible dans une voie téléphonique démodulée (dégradation du rapport S/B dans le système de transmission)	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de l'efficacité de l'écran dans le câble, le câblage, etc. - Amélioration de la mise à la terre de l'enveloppe du câble, du répéteur, de l'équipement terminal, etc. - Adoption d'un câble souterrain - Adoption d'un trajet de pose du câble différent - Augmentation du niveau de signal, diminution de l'espacement des répéteurs - Correction du déséquilibre d'admittance de la paire par rapport au sol
Echauffement par induction causé par fréquences radioélectriques	Ondes hm (radiodiffusion)	-	Au voisinage immédiat de l'antenne de la station radioélectrique	<ul style="list-style-type: none"> - Ligne aérienne - Ligne d'introduction 	Brûlures imputables aux fréquences radioélectriques	<ul style="list-style-type: none"> - Insertion de condensateurs entre les conducteurs et le sol

Références

- [1] SATO (T.), NAKAHIRA (M.), KOJIMA (N.): «Radio Wave Interference in Overhead Communication Cables», *Comptes rendus de la 22^e réunion de l'IWCS*, 1973.
- [2] SCHULTZ (E.), VOGEL (W.): «Beeinflussung von Trägerfrequenz-Nachrichtensystemen durch hochfrequente Beeinflussungsquellen», (Perturbation des systèmes à courants porteurs par des sources à haute fréquence), *ETZ-A*, Bd. 85, H. 20, 1964.

Avis K.19

UTILISATION DE TRANCHÉES, CANALISATIONS COMMUNES AUX CÂBLES DE TÉLÉCOMMUNICATIONS ET AUX CÂBLES ÉLECTRIQUES

1 Observations générales

L'utilisation de tranchées, conduites communes aux câbles de télécommunications et aux câbles électriques peut, dans des conditions favorables, offrir les avantages suivants:

- réduction des coûts globaux;
- utilisation plus rationnelle de l'espace disponible pour les services à réseaux souterrains;
- réduction des travaux de réfection des chaussées et, par conséquent, réduction des gênes causées à la circulation;
- la séparation entre câbles d'énergie et câbles de télécommunications est précisément mieux assurée.

2 Sécurité électrique

Si les câbles électriques et les câbles de télécommunications ne sont pas faciles à distinguer les uns des autres, il convient de les marquer clairement.

Les câbles électriques devraient en général être enterrés à une profondeur plus grande que les câbles de télécommunications.

Les câbles électriques et les câbles de télécommunications devraient être séparés par un espacement adéquat en fonction:

- a) de la tension du câble électrique,
- b) du type de câble électrique,
- c) du type de câble de télécommunications,
- d) de la nature du matériel utilisé pour la séparation.

L'espacement minimum est souvent stipulé dans les normes nationales.

Les normes nationales peuvent aussi autoriser des espacements réduits dans les conditions suivantes:

- le câble électrique ayant un conducteur neutre concentrique est utilisé en basse tension et le câble de télécommunications est muni d'une armure mise à la terre, ou
- les câbles sont séparés par un remplissage en béton ou autre matériau similaire.

Si l'excavation manuelle présente des risques pour le personnel, les câbles électriques à haute tension doivent être protégés par des couches de matériaux appropriés (briques, béton, etc.).

3 Induction électromagnétique

Pour éviter les risques élevés inadmissibles et les perturbations causés aux câbles de télécommunications par les câbles électriques, il convient d'observer les indications données dans les *Directives*. En général, ces effets se produisent surtout lorsque:

- a) le câble électrique appartient à un réseau possédant un neutre directement relié à la terre;
- b) les conducteurs de chaque phase de la ligne électrique empruntent des câbles distincts (câbles triphasés à âme unique); ou

- c) les courants passant dans les lignes électriques ont un niveau d'harmonique élevé.

On ne constate pas de risques ni de perturbations lorsque:

- le câble électrique fonctionne dans des conditions d'exploitation normales et lorsque, dans le cas des câbles triphasés à âme unique, les câbles de chaque phase sont correctement disposés et torsadés, ou
- la longueur du parallélisme est relativement courte (par exemple de quelques centaines de mètres seulement).

Une disposition et une torsion correcte des conducteurs de phase du système de câbles d'énergie sont efficaces pour obtenir une réduction de l'induction électromagnétique.

Les autres conducteurs métalliques partageant la même canalisation (par exemple les conduites ou les revêtements en béton) exercent généralement un effet réducteur sur les tensions longitudinales induites. L'ampleur de ce facteur d'écran dépend, dans une large mesure, de la disposition des diverses installations dans la canalisation et du mode de construction de la canalisation et, par conséquent, il n'est possible de le déterminer que de cas en cas.

4 Autres dangers

L'utilisation de tranchées et de canalisations communes peut accroître les dangers auxquels est exposé le personnel des télécommunications, par exemple:

- heurts de câbles électriques au cours d'une excavation;
- difficultés d'accès et problèmes d'isolement pendant le travail à l'intérieur des galeries;
- explosions dues à des fuites de gaz lorsque les canalisations de gaz se trouvent dans des canalisations communes;
- accumulation d'air vicié dans les galeries souterraines.

L'arrangement de travail conclu entre toutes les entreprises intéressées devrait spécifier des méthodes de travail adéquates et sûres permettant d'éliminer les dangers en question.

5 Limites pratiques

Pour que l'utilisation de tranchées et de tunnels communs soit couronnée de succès, il est nécessaire que toutes les parties concernées fassent preuve d'un esprit de discipline. Il convient de définir avec précision les devoirs et responsabilités incombant à chaque partie. Il se peut que des mesures spéciales s'avèrent nécessaires pour surmonter la difficulté liée au fait que l'espace souterrain est limité et pour faciliter la maintenance ultérieure des câbles; il convient de convenir de ces mesures spéciales avant le début des travaux communs de construction.

PARTIE II

Avis de la série L

**PROTECTION DES ENVELOPPES
DE CÂBLE ET DE POTEAUX**

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

PROTECTION CONTRE LA CORROSION

Le CCITT,

considérant

(a) que la recherche des défauts sur les câbles souterrains et la réparation de ces défauts peuvent entraîner des frais importants;

(b) que les interruptions de service susceptibles d'être provoquées par la présence de ces défauts doivent être évitées avec le plus grand soin;

(c) que, même après une réparation faite aussi bien que possible, la qualité du câble peut être diminuée et sa durée de vie normale peut être réduite,

émet, à l'unanimité, l'avis

que, lors de l'établissement de leurs lignes en câble, les Administrations et exploitations privées ont intérêt à s'inspirer du Manuel du CCITT *Recommandations concernant la construction, l'installation et la protection des câbles de télécommunications dans les réseaux publics*, UIT, Genève, révision, 1974, modifications et adjonctions, 1977.

Avis L.2

IMPRÉGNATION DES POTEAUX EN BOIS

Le CCITT attire l'attention sur l'intérêt économique que présente l'imprégnation des poteaux en bois, supports de lignes aériennes de télécommunications.

Afin de fournir aux Administrations des télécommunications, et spécialement à celles dont les réseaux sont les moins développés, quelques indications sur les procédés d'imprégnation de ces poteaux, un manuel intitulé *Protection des poteaux en bois des lignes aériennes de télécommunications*, UIT, Genève, 1974 a été établi par le CCITT.

Ce manuel est fondé sur un avant-projet rédigé au cours de la période 1968-1972 par l'Administration argentine, puis amendé et complété d'après des informations fournies par les Administrations de la R.F. d'Allemagne, de l'Australie, du Chili, de la France, de l'Italie, du Royaume-Uni et de la Suisse.

Avis L.3 (Mar del Plata, 1968)

ARMURE DES CÂBLES

1 Type de l'armure

1.1 Les types d'armure les plus courants sont les suivants:

- a) *armure formée de ruban*. — Cette armure consiste en un ou plusieurs rubans d'acier enroulés en hélice autour de l'enveloppe du câble, les spires du ruban se recouvrant partiellement l'une l'autre.
- b) *armure formée de fils*. — Cette armure se compose de fils d'acier à section circulaire aplatie ou trapézoïdale, enroulés en hélice autour de l'enveloppe du câble. La longueur du fil nécessaire est relativement importante.

1.2 Ces deux types d'armure sont utilisés conjointement avec d'autres moyens de protection extérieure (couche de jute, de matière plastique) soit pour des raisons de construction, soit pour des raisons mécaniques, soit pour assurer une protection contre la corrosion.

2 Choix de l'armure

En décidant d'utiliser ou non une armure et en choisissant parmi les différentes possibilités de construction, on tiendra le plus grand compte des conditions locales de pose, telles que:

- a) la pose des câbles dans des conduites ou directement dans le sol;
- b) l'emplacement de la tranchée le long des routes ou en terrain privé;
- c) les matériaux utilisés pour réaliser l'enveloppe du câble;
- d) la présence d'autres câbles sur le même parcours, existants ou envisagés dans l'avenir;
- e) la nature du sol: rocheux, sablonneux, corrosif ou non, et la présence de micro-organismes;
- f) la profondeur de la tranchée, qui en tout cas doit être d'au moins 50 cm et, pour les câbles importants, d'au moins 80 cm;
- g) le danger d'induction;
- h) le risque d'attaque par les rongeurs ou les insectes;
- i) l'exposition à la foudre;
- j) l'importance de la liaison, qui peut justifier des précautions spéciales. L'armure de fils d'acier apporte alors une protection supplémentaire, notamment dans les chambres de tirage;
- k) la longueur de tirage, si elle est importante (traversées sous-fluviales, par exemple) (ces cas étant peu fréquents, il ne paraît pas utile d'envisager la construction d'un nouveau type de câble terrestre avec élément de tirage central).

3 Protection fournie

Pour les câbles en pleine terre, l'armure contribue à la sécurité de l'installation et du fonctionnement. Elle assure en effet la protection des câbles contre:

- a) les accidents mécaniques pouvant être causés par les pierres, les engins de terrassement ou les outils à main;
- b) les rongeurs et les insectes;
- c) la corrosion chimique ou électrolytique;
- d) les effets des décharges atmosphériques;
- e) les phénomènes d'induction dus au voisinage de lignes d'énergie.

4 Armure en feuillards de fer

L'armure en feuillards de fer est préférable lorsque les dommages envisagés sont dus aux pointes des outils de terrassement, aux pierres à angles vifs, etc. Elle constitue de plus un blindage magnétique protégeant les circuits, ce qui est loin d'être le cas de l'armure en fils de fer enroulés autour du câble en raison des entrefers, ce qui réduit notablement le couplage magnétique entre l'enveloppe armée et les conducteurs du câble.

5 Armure en fils de fer

L'armure en fils de fer permet au câble de résister à des tractions beaucoup plus importantes. Elle est en conséquence particulièrement utile lorsque la longueur de tirage du câble est très grande ou lorsque les conditions d'utilisation (affaissement du sol dans les régions minières, câbles traversant des étendues d'eau ou des marécages, câbles posés dans des puits aboutissant à un emplacement situé à une altitude très inférieure à celle du terrain environnant) exercent sur le câble une traction considérable.

6 Type général d'armure

Pour les câbles ayant une enveloppe métallique de plomb ou d'aluminium, le type d'armure le plus couramment employé comporte deux feuillards d'acier enroulés en hélice entre des couches de papier et de jute imprégnés, avec protection extérieure de fils de jute ou produits similaires. Ce type d'armure assure une bonne protection dans les cinq cas énumérés au § 3.

Pour les câbles à enveloppe de matière plastique, on peut utiliser une armure légère formée de rubans métalliques (acier, aluminium ou cuivre) placés entre deux gaines de matière plastique (polyéthylène ou polychlorure de vinyle). Les câbles ainsi construits sont protégés dans une certaine mesure contre les accidents mentionnés aux alinéas a) et d) du § 3 et surtout contre les risques mentionnés aux alinéas b) et c) du même paragraphe.

7 Armure pour les câbles importants

Les câbles les plus importants d'un réseau à grande distance sont certainement le mieux protégés par une enveloppe métallique étanche et par l'armure classique décrite ci-dessus, mais le prix de cette protection est relativement élevé.

On peut diminuer le prix de revient des câbles en employant une enveloppe d'acier mince soudée, protégée de la corrosion par des produits bitumineux et par une gaine de matière plastique. Les câbles sont ainsi protégés, bien qu'à un degré moindre, contre les risques mentionnés aux alinéas a), b), c), d) du § 3; une certaine protection contre l'induction peut être obtenue en interposant des éléments conducteurs de cuivre ou d'aluminium sous l'enveloppe d'acier.

8 Câbles tirés en conduites

L'expérience a montré que les câbles dépourvus de toute armure, à paires symétriques, à paires coaxiales ou mixtes, peuvent être tirés en conduites jusqu'à des longueurs de 300 mètres, à condition de répartir l'effort de traction entre les conducteurs et les éléments de l'enveloppe. L'armure de fils d'acier utilisée autrefois peut ainsi être supprimée, sauf dans certains cas particuliers (liaisons importantes, grandes longueurs de tirage: traversées sous-fluviales, par exemple).

9 Considérations relatives à la corrosion — câbles à enveloppe métallique

L'armure, formée de ruban ou de fils, joue un rôle important dans la protection contre la corrosion, surtout parce qu'elle permet de maintenir en bon état les gaines de matières imprégnées auxquelles elle est superposée et d'éviter ainsi à l'enveloppe métallique les effets d'une aération différentielle, par exemple.

10 Rongeurs et insectes

Les dégâts causés par les rongeurs sont assez importants dans certaines parties du monde. Recourir aux armures de ruban ou de fils constitue une protection efficace, mais onéreuse. Le CCITT étudie l'emploi éventuel d'un câble moins coûteux avec couches protectrices superposées (par exemple, polyéthylène aluminium mince, acier revêtu, polyéthylène). Les insectes peuvent pénétrer dans la couche extérieure de polyéthylène, mais se heurtent à la couche de métal. A supposer qu'ils ne puissent la percer, le métal risque alors d'être corrodé, ce qui n'est toutefois pas grave si la couche métallique est enrobée sur ses deux faces par le polyéthylène. En plus de la protection obtenue contre les rongeurs et les insectes, ce type de construction peut apporter une résistance supplémentaire à la traction pour un prix relativement modique.

11 Régions tropicales

Dans les régions tropicales, on prêtera une attention particulière aux § 6 et 7 et au danger présenté par les micro-organismes.

D'une manière générale, il n'est judicieux de se dispenser d'une armure que:

- lorsque le câble est posé en conduite;
- lorsque aucun blindage magnétique n'est nécessaire, ou lorsque ce blindage est assuré à l'aide d'une couche de métal quelconque incluse à cette fin dans le revêtement du câble;
- lorsqu'il n'existe pas de risque de corrosion ou lorsque la protection contre la corrosion est assurée au moyen d'une couche protectrice quelconque incluse à cette fin dans le revêtement du câble;
- dans le cas de câbles posés en pleine terre, lorsque le sol est homogène et ne contient ni silex ni roches susceptibles d'endommager le câble et lorsqu'on ne craint aucune attaque des rongeurs ou des insectes.

Même dans les cas énumérés ci-dessus, il peut cependant se faire que les conditions locales spéciales justifient l'armure des câbles.

ENVELOPPES DE CÂBLE EN ALUMINIUM

1 Considérations générales

A la suite des progrès réalisés dans la technologie de l'aluminium, on utilise de plus en plus des enveloppes de câble en aluminium, dont les caractéristiques intéressantes peuvent aujourd'hui être mises entièrement à profit.

Ces caractéristiques sont notamment:

- faible densité (presque le quart de celle du plomb);
- résistance mécanique bien supérieure à celle du plomb, ce qui permet d'alléger l'enveloppe, non seulement parce que l'aluminium est moins dense que le plomb, mais encore parce que l'enveloppe d'aluminium est plus mince que celle de plomb;
- très grande insensibilité aux vibrations;
- forte conductivité, ce qui permet d'améliorer le facteur réducteur et la protection contre les surtensions d'origine atmosphérique.

L'expérience a montré que, bien que l'aluminium soit un métal plus rigide que le plomb, la pose d'un câble à enveloppe d'aluminium n'est pas sensiblement plus difficile.

Toutefois, l'aluminium étant plus sensible que le plomb à la corrosion électrochimique et électrolytique, les enveloppes en aluminium et les sections de raccordement des longueurs de fabrication en usine (manchons et sections de câble adjacentes) doivent être protégées extérieurement par un revêtement en matière plastique de la deuxième catégorie [1].

Il découle de ce qui précède qu'une enveloppe en aluminium offre de nombreux avantages sur une enveloppe en plomb. Il est donc souhaitable de généraliser l'emploi de l'aluminium pour les enveloppes des câbles, pour autant que ces câbles ne soient pas plus chers que ceux à enveloppe en plomb et que les enveloppes en aluminium satisfassent mieux aux conditions techniques. L'utilisation de câbles à enveloppe en aluminium présente un intérêt particulier dans le cas des réseaux interurbains.

2 Types d'enveloppe en aluminium

2.1 Enveloppes obtenues par extrusion

Pour fabriquer une enveloppe de ce type, on réalise l'extrusion de l'aluminium directement sur l'âme du câble. La boudineuse utilisée peut être à marche *continue* ou non. Dans la négative, il faut s'assurer que les zones affectées par les reprises d'extrudage ne causent pas de difficultés.

2.2 Enveloppes soudées

Pour fabriquer une enveloppe de ce type, on enroule autour de l'âme du câble un feuillard en aluminium que l'on referme sur lui-même par un joint longitudinal soudé.

2.3 Choix de la forme et de l'épaisseur des enveloppes

Après extrusion ou soudage de l'enveloppe, cette dernière peut être ou bien rétreinte sur l'âme du câble (enveloppe lisse) ou bien ondulée par divers procédés (enveloppe ondulée).

Les critères à appliquer pour savoir s'il faut onduler l'enveloppe sont: le diamètre de l'âme, le rayon de courbure minimal imposé au câble pendant la pose et les caractéristiques mécaniques de l'aluminium utilisé [2]. Un critère approximatif est qu'un câble doit être mis sous enveloppe ondulée si le diamètre de son âme dépasse 40 mm.

Comme il a été dit au § 1, l'épaisseur de métal utilisée pour une enveloppe en aluminium est généralement moindre que pour les enveloppes en plomb.

Le tableau 1/L.4 indique les épaisseurs recommandées, bien que sept des valeurs données dans le tableau soient valables aussi bien pour les enveloppes obtenues par extrusion que pour les enveloppes soudées; toutefois, les enveloppes obtenues par extrusion ne peuvent pas être inférieures à 0,9 mm et les enveloppes soudées ne peuvent pas être supérieures à 1,4 mm, épaisseur maximale se prêtant au soudage par les procédés connus.

L'utilisation d'épaisseurs inférieures à celles qui sont indiquées dans le tableau 1/L.4 n'est pas exclue. Inversement, dans le cas de câbles à paires coaxiales non armés, on peut être amené à utiliser une enveloppe systématiquement plus épaisse pour améliorer la protection mécanique. Cette augmentation d'épaisseur peut atteindre jusqu'à 0,3 mm environ.

Naturellement, dans des cas particuliers (par exemple, si le facteur réducteur doit être très élevé), on peut prendre des épaisseurs de métal différentes de celles indiquées dans le tableau 1/L.4.

TABLEAU 1/L.4
Epaisseurs recommandées

Diamètre de l'âme (mm)		Epaisseur de métal (mm)	
Minimum	Maximum	Enveloppe lisse	Enveloppe ondulée a)
—	10	0,7 à 1,0	0,5 à 0,9
10	15	0,7 à 1,0	0,6 à 0,9
15	20	0,9 à 1,0	0,7 à 0,9
20	25	1,1	0,8 à 0,9
25	30	1,1 à 1,2	0,9
30	35	1,1 à 1,3	0,9 à 1,0
35	40	1,1 à 1,4	1,1
40	45	1,5	1,1 à 1,2
45	50	1,6	1,1 à 1,2
50	60		1,1 à 1,3
60	70		1,1 à 1,4
70	80		1,3 à 1,5

a) Si l'on désire obtenir, avec une enveloppe ondulée, approximativement le même facteur réducteur qu'avec une enveloppe lisse, il faut utiliser la même épaisseur que si l'enveloppe était lisse.

3 Revêtements protecteurs

Comme il a été signalé plus haut, l'aluminium en milieu souterrain est plus sensible que le plomb à la corrosion électrochimique et électrolytique, aussi convient-il de protéger en usine les enveloppes de câble en aluminium et les sections de raccordement (manchons et sections de câble adjacentes) des longueurs de fabrication par un revêtement imperméable de la deuxième catégorie, conformément à [1].

Les matières plastiques qu'on peut utiliser actuellement comme matériau pour le revêtement protecteur sont de deux sortes:

- a) le polychlorure de vinyle (PCV);
- b) le polyéthylène.

Les caractéristiques générales du polyéthylène et sa faible perméabilité à la vapeur d'eau assurent une meilleure protection à l'aluminium, et l'on doit lui donner la préférence.

Pour que l'humidité qui pourrait avoir pénétré à travers le revêtement protecteur (par exemple, si celui-ci présente un défaut) ne se répande pas à la surface de l'enveloppe, étendant de ce fait la zone de corrosion, il importe d'y appliquer une couche d'étanchéité, constituée par un ruban adhésif ou un mélange approprié.

Cette couche d'étanchéité doit bien adhérer à l'aluminium, surtout si le revêtement est en PCV puisque ce matériau, contrairement au polyéthylène, n'épouse pas intimement l'enveloppe après extrusion.

Si l'enveloppe est ondulée, ses creux doivent être remplis suffisamment par le mélange bitumineux pour que celui-ci soit en contact continu avec le revêtement externe.

Il convient de contrôler l'efficacité de la couche d'étanchéité par des essais spéciaux. Un essai courant consiste à enlever une partie du revêtement protecteur d'un échantillon de l'enveloppe en aluminium et à soumettre ce dernier à une attaque électrolytique utilisant une force électromotrice extérieure. Au bout d'un certain temps, on vérifiera si les effets de corrosion sont bien limités à la zone qui a été dépouillée du revêtement protecteur. Pour voir si le revêtement protège efficacement l'enveloppe, on peut contrôler par un essai l'adhérence du mélange bitumineux à l'enveloppe en aluminium et au revêtement en matière plastique.

Pour assurer l'efficacité permanente du revêtement protecteur lorsque les câbles sont posés dans des régions exposées à la foudre (notamment pour éviter les perforations causées par cette dernière), il convient de tenir compte des indications données dans le manuel cité en [3].

4 Raccordement des enveloppes en aluminium

Il s'agit là d'une opération plus difficile que dans le cas des enveloppes de plomb, encore que les difficultés aient été considérablement amoindries par le perfectionnement de la technique.

Il existe plusieurs méthodes pour le raccordement des enveloppes en aluminium:

- utilisation de manchons en plomb;
- utilisation d'anneaux ou de cônes en plomb, qui sont soudés par une méthode normale ou fixés à l'enveloppe d'aluminium au moyen d'une colle spéciale, ce qui permet de les souder ensuite aux manchons en plomb;
- utilisation de manchons en aluminium raccordés à l'enveloppe d'aluminium par soudage à pression (explosion, pression ou soudure à froid);
- autres méthodes, y compris l'emploi de rubans adhésifs et de pâtes époxydes.

La méthode appliquée pour le raccordement des enveloppes en aluminium doit satisfaire aux conditions recommandées dans le manuel cité en [4].

Si un câble à enveloppe en aluminium est soumis à de fortes variations de température, les contraintes qui y prennent naissance quand il se contracte ne doivent pas être supportées par ses joints, car ceux-ci risqueraient de lâcher, en particulier si l'enveloppe du câble n'est pas ondulée.

5 Protection cathodique

On ne dispose que d'un petit nombre de résultats expérimentaux isolés permettant de connaître l'efficacité de la protection cathodique pour les enveloppes en aluminium.

Références

- [1] Manuel du CCITT *Recommandations concernant la construction, l'installation et la protection des câbles de télécommunications dans les réseaux publics*, § 6.3, UIT, Genève, révision, 1974, modifications et adjonctions, 1977.
- [2] *Ibid.*, § 5.4.4.
- [3] Manuel du CCITT *Protection des lignes et installations de télécommunication contre la foudre*, UIT, Genève, 1974, 1978.
- [4] Manuel du CCITT *Raccordement des câbles sous enveloppe en matière plastique*, UIT, Genève, 1978.

Avis L.5 (Genève, 1972)

RÉALISATION D'ENVELOPPES DE CÂBLE EN MÉTAUX AUTRES QUE LE PLOMB OU L'ALUMINIUM

1 Types de câbles à enveloppe métallique

1.1 La solution de rechange la plus courante à l'enveloppe en plomb ou en aluminium, s'agissant d'enveloppes métalliques, est celle en tôle d'acier ondulée. Pour constituer une enveloppe en acier ondulé, on forme un long feuillard en acier autour de l'âme du câble, on en soude les bords pour constituer un tube à joint longitudinal, par un procédé approprié (soudage électrique à l'arc en atmosphère inerte, soudage électrique par résistance ou par induction), puis on imprime des ondulations à ce tube. Pour protéger l'enveloppe ainsi constituée, on y applique, de façon à remplir complètement les creux des ondulations, un produit anticorrosion spécial visqueux, dans lequel sont noyés un ou plusieurs rubans en matière plastique. Pour obtenir un câble lisse, on procède à l'extrusion d'un revêtement externe en matière plastique sur l'enveloppe en acier enduite du produit protecteur.

1.2 Pour protéger le câble décrit au § 1.1 contre les courants induits, on peut appliquer à son âme, c'est-à-dire sous l'enveloppe en acier ondulé, longitudinalement ou hélicoïdalement, des rubans en aluminium ou en cuivre. Une autre solution consiste à remplacer l'enveloppe en acier ondulé par une enveloppe en cuivre ondulé.

2 Fabrication

2.1 On forme le feuillard métallique autour de l'âme du câble, on en soude les bords pour constituer un tube de grande longueur à joint longitudinal et, enfin, on imprime des ondulations à ce tube.

2.2 L'acier nu étant particulièrement sensible à la corrosion, on le protège généralement par une couche d'un produit dans lequel peuvent être noyés des rubans en matière plastique, de façon telle que les ondulations soient entièrement remplies. On procède ensuite à l'extrusion, sur cette couche protectrice, d'une gaine externe en polyéthylène ou en un matériau analogue de classe II [1].

2.3 Il est normalement inutile d'armer le câble, mais cela peut être nécessaire dans des cas particuliers.

3 Domaines d'utilisation

Les enveloppes en acier ou en cuivre ondulé sont applicables à n'importe quel type de câble de télécommunications, eu égard aux considérations suivantes:

- a) compte tenu de tous les facteurs (par exemple, frais de pose, encombrement dans les conduites, coût de revient du câble) et bien que leur diamètre total soit supérieur à celui des câbles à enveloppe en matière plastique, plomb ou aluminium non ondulé, les câbles de télécommunications à enveloppe en acier sont plus économiques que ceux à enveloppe en plomb;
- b) l'enveloppe en acier n'est pas sensible aux vibrations dues à la circulation routière ou ferroviaire;
- c) une enveloppe métallique ondulée a une souplesse satisfaisante;
- d) munie d'une gaine externe lisse, une enveloppe métallique ondulée est facile à manipuler lors des opérations de pose;
- e) un même type de câble peut être enterré directement dans le sol ou tiré en conduite;
- f) une enveloppe métallique ondulée résiste à des efforts d'écrasement modérés et protège l'âme du câble contre la plupart des dégradations mécaniques dues à des pierres ou à des outils d'excavation;
- g) si le revêtement protecteur en matière plastique des câbles à enveloppe en acier est endommagé, on peut s'attendre à une corrosion rapide.

Référence

- [1] Manuel du CCITT *Recommandations concernant la construction, l'installation et la protection des câbles de télécommunications dans les réseaux publics*, § 6.3, UIT, Genève, révision, 1974, modifications et adjonctions, 1977.

Avis L.6 (Genève, 1972)

MÉTHODES DE MAINTIEN DES CÂBLES SOUS PRESSION GAZEUSE

Le CCITT attire l'attention sur les améliorations en service qu'il est possible de réaliser en protégeant les câbles de télécommunications contre la pénétration de l'humidité lorsque l'enveloppe est perforée ou endommagée. Afin d'assurer la protection des circuits contre les interruptions jusqu'au moment où les réparations sont effectuées, le CCITT recommande que les Administrations admettent qu'il serait avantageux de suivre les directives contenues dans le manuel *Protection des câbles de télécommunication par maintien sous pression gazeuse*, UIT, Genève, 1970.

Avis L.7 (Genève, 1976)

APPLICATION DE LA PROTECTION CATHODIQUE COMMUNE

1 Considérations générales

Par «protection cathodique commune de diverses structures métalliques souterraines», on entend une protection que l'on réalise contre la corrosion en utilisant des dispositifs protecteurs communs à ces structures.

Un système de protection commun pour plusieurs structures métalliques souterraines comprend des liaisons électriques entre ces structures ainsi que des dispositifs protecteurs communs satisfaisant aux conditions de la protection et du drainage électrique cathodiques.

Les méthodes de protection commune augmentent la fiabilité des structures enterrées, améliorent l'efficacité des dispositifs de protection cathodique et réduisent aussi le coût total ainsi que les frais d'entretien du système de protection.

2 Conditions d'application de la protection cathodique commune

Il est commode d'appliquer une protection cathodique commune des installations métalliques souterraines quand des structures différentes s'approchent les unes des autres ou s'entrecroisent et qu'il faut éviter les effets nuisibles d'une structure protégée sur les structures voisines non protégées, pourvu que cela soit économique et qu'il n'y ait pas de meilleur moyen d'éviter cette influence. L'influence nocive que la polarisation cathodique d'une installation protégée exerce sur les structures métalliques voisines se manifeste quand:

- a) les potentiels mesurés sont inférieurs ou supérieurs aux valeurs recommandées,
- b) le risque de corrosion des structures métalliques souterraines voisines est accru.

Une protection commune de câbles de télécommunications et d'autres structures peut raisonnablement s'appliquer si:

- a) la distance entre structures souterraines voisines ne dépasse pas une cinquantaine de mètres,
- b) les installations enterrées se croisent,
- c) la couche du sol ou les anodes réactives d'un système de protection cathodique ont une influence nocive sur des installations voisines non protégées.

Conformément au manuel cité en [1], une protection commune de câbles de télécommunications et de câbles d'énergie peut être envisagée quand le potentiel du câble de télécommunications, par rapport à la terre, ne dépasse pas la tension de sécurité imposée par les règles, locales ou nationales, de sécurité dans le cas où le réseau de distribution d'énergie est affecté d'un défaut provoquant une mise à la terre ou un court-circuit.

La protection cathodique commune doit produire, sur les installations protégées, des potentiels qui restent dans les limites indiquées en [1].

Dans le cas de protection commune, on peut avoir la faculté d'utiliser des dispositifs qui limitent automatiquement l'intensité du courant qui émane de l'équipement de protection cathodique.

3 Conditions concernant les liaisons de connexion

On utilise des liaisons spéciales pour établir un contact électrique entre installations pourvues d'une protection commune. Les liaisons peuvent être directes ou établies au moyen d'une résistance (afin de limiter l'intensité) ou bien polarisées.

On peut utiliser les liaisons directes dans les cas suivants:

- a) quand des structures métalliques souterraines du même type se croisent ou s'approchent les unes des autres,
- b) quand l'établissement de liaisons entre structures de types différents ne réduit pas l'efficacité du système de protection cathodique primaire.

Les liaisons à résistance, qui limitent l'intensité appliquée à divers types d'installation, sont à utiliser quand il convient d'agir sur les potentiels qui apparaissent sur ces structures.

Les liaisons polarisées sont à utiliser:

- a) dans des systèmes communs de drainage et de protection cathodique,
- b) pour empêcher un courant de circuler d'une canalisation vers une installation de télécommunications,
- c) pour pallier une défaillance de l'équipement de protection cathodique.

Les liaisons ne doivent pas être établies entre structures enterrées et câbles ou équipements de distribution d'énergie enterrés, à moins qu'il ne soit prudent d'agir ainsi en cas de défaillance sur le système de distribution d'énergie et que cette disposition ne soit conforme aux règles de sécurité locales et nationales.

4 Surveillance de fonctionnement des dispositifs de protection cathodique commune

Le fonctionnement des dispositifs de protection cathodique commune doit faire l'objet d'une surveillance, qui s'exerce par les moyens suivants:

- a) inspection périodique des dispositifs et équipements de protection;
- b) mesures périodiques des différences de potentiel d'interaction, l'équipement de protection étant successivement mis en circuit et hors circuit sur toutes les installations faisant partie du système de protection commune, conformément aux procédures locales admises.

Lorsqu'on effectue des essais ou des modifications sur le système de protection cathodique commune, il est bon que ces opérations s'effectuent en présence ou avec l'accord des représentants des organismes d'exploitation dont les structures souterraines sont incorporées dans le système de protection commune.

Référence

- [1] Manuel du CCITT *Recommandations concernant la construction, l'installation et la protection des câbles de télécommunications dans les réseaux publics*, UIT, Genève, révision, 1974, modifications et adjonctions, 1977.

Avis L.8 (Genève, 1976)

CORROSION PROVOQUÉE PAR DES COURANTS ALTERNATIFS

Des expériences entreprises en laboratoire et des observations recueillies au cours de contrôles de réalisations industrielles ont montré que des courants alternatifs risquent de provoquer des corrosions.

Toutefois, d'autres expériences sur le plomb exprimant les effets comparatifs des courants continu et alternatif par perte de poids laissent apparaître que le courant alternatif n'exerce qu'une action corrodante très faible par rapport au courant continu. L'effet de corrosion se présente sous forme de piqûre.

Deux remarques sont cependant à faire:

- tout en ne se produisant que rarement, la corrosion par courant alternatif est plus facilement provoquée lorsque la fréquence du courant diminue et devient inférieure à la fréquence de distribution habituelle (50 ou 60 Hz);
- des effets de redressement du courant peuvent se produire, ils sont dus à la nature des sols ou à la présence d'oxydes ou de polluants divers à la surface des métaux.

Il n'est pas possible de connaître pratiquement les densités de courant ni les tensions pour lesquelles la corrosion se produit. Le caractère le plus souvent très ponctuel des défauts, les réactions anodiques et cathodiques sur une même surface des métaux, enfin les variations des caractéristiques chimiques du milieu font que la notion ou la définition d'une densité de courant critique ne peut pas pour l'instant être précisée.

On peut avancer qu'une faible tension alternative n'est généralement pas un danger pour l'acier ni pour le plomb, mais peut dans certains cas provoquer une corrosion sur l'aluminium.

