

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

Première édition
First edition
1986-09

COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES
INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

**Caractéristiques des lignes et des équipements
à haute tension relatives aux perturbations
radioélectriques**

**Troisième partie:
Code pratique de réduction du bruit radioélectrique**

**Radio interference characteristics of
overhead power lines and high-voltage equipment**

**Part 3:
Code of practice for minimizing the generation
of radio noise**



Numéro de référence
Reference number
CISPR 18-3: 1986

Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI et du CISPR est constamment revu par la Commission et par le CISPR afin qu'il reflète bien l'état actuel de la technique.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande.

Pour les termes concernant les perturbations radio-électriques, voir le chapitre 902.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*;
- la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*;

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 60027 ou CEI 60617, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

* «Site web» de la CEI <http://www.iec.ch>

Revision of this publication

The technical content of IEC and CISPR publications is kept under constant review by the IEC and CISPR, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the IEV will be supplied on request.

For terms on radio interference, see Chapter 902.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to:

- IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*;

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 60027 or IEC 60617, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

* IEC web site <http://www.iec.ch>

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

Première édition
First edition
1986-09

COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES
INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

**Caractéristiques des lignes et des équipements
à haute tension relatives aux perturbations
radioélectriques**

**Troisième partie:
Code pratique de réduction du bruit radioélectrique**

**Radio interference characteristics of
overhead power lines and high-voltage equipment**

**Part 3:
Code of practice for minimizing the generation
of radio noise**

© IEC 1986 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

Q

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
DOMAINE D'APPLICATION	8
Articles	
1. Réalisation pratique des lignes et des équipements associés du point de vue des perturbations des réceptions radiophoniques et de télévision	8
2. Méthodes de prédétermination du niveau perturbateur de référence d'une ligne aérienne	14
3. Méthodes de détection et de localisation des mauvais contacts et remèdes possibles contre les perturbations qui en résultent	20
ANNEXE A — Formule CIGRÉ pour la prédétermination du champ perturbateur dû aux conducteurs d'une ligne aérienne	30

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
SCOPE	9
Clause	
1. Practical design of overhead power lines and associated equipment in order to control interference to radio and television reception	9
2. Methods of prediction of the reference level of an overhead line	15
3. Preventive and remedial measures to minimize radio noise generated by bad contacts and their detection and location	21
APPENDIX A — CIGRÉ formula for predicting the radio noise field strength from the conductors of an overhead line	31

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

**CARACTÉRISTIQUES DES LIGNES ET DES ÉQUIPEMENTS
À HAUTE TENSION
RELATIVES AUX PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES**

Troisième partie: Code pratique de réduction du bruit radioélectrique

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels du C.I.S.P.R. en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des sous-comités où sont représentés tous les Comités nationaux et les autres organisations membres du C.I.S.P.R. s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux et les autres organisations membres du C.I.S.P.R.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, le C.I.S.P.R. exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte des recommandations du C.I.S.P.R., dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre les recommandations du C.I.S.P.R. et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente publication a été établie par le Sous-Comité C du C.I.S.P.R.: Perturbations dues aux lignes et aux équipements à haute tension et aux systèmes de traction électrique.

Le contenu principal de cette publication est fondé sur la Recommandation n° 57 du C.I.S.P.R. ci-dessous.

RECOMMANDATION DU C.I.S.P.R. n° 57
CODE PRATIQUE DE RÉDUCTION DU BRUIT RADIOÉLECTRIQUE

Le C.I.S.P.R.,

CONSIDÉRANT

- a) que le rayonnement de l'énergie électromagnétique dû aux lignes de transport aériennes est susceptible d'affecter les émissions de radiodiffusion et de télévision;
- b) que le niveau de ce bruit peut être réduit par la conception et la disposition d'une ligne;
- c) que lorsque des défauts provoquent des niveaux de perturbation anormalement élevés, il est nécessaire de détecter et de localiser ces défauts,

RECOMMANDE

que la dernière édition de la Publication 18-3 du C.I.S.P.R., modifications incluses, soit utilisée comme un guide relatif à la réduction du bruit radioélectrique causé par les lignes de transport aériennes.

La Publication 18-1 du C.I.S.P.R. a pour objet de décrire les principales propriétés des phénomènes physiques qui interviennent dans la production des champs électromagnétiques perturbateurs par les lignes aériennes et de fournir les valeurs numériques de tels champs.

La Publication 18-2 du C.I.S.P.R. a pour objet de présenter et de discuter les méthodes de mesure et la procédure de détermination de valeurs limites des champs perturbateurs.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

**RADIO INTERFERENCE CHARACTERISTICS
OF OVERHEAD POWER LINES
AND HIGH-VOLTAGE EQUIPMENT**

Part 3: Code of practice for minimizing the generation of radio noise

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the C.I.S.P.R. on technical matters, prepared by Sub-Committees on which all the National Committees and other Member Organizations of the C.I.S.P.R. having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees and other Member Organizations of the C.I.S.P.R. in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the C.I.S.P.R. expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the C.I.S.P.R. recommendations for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the C.I.S.P.R. recommendations and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This publication was prepared by C.I.S.P.R. Sub Committee C: Interference from Overhead Power Lines, High-voltage Equipment and Electric Traction Systems.

The main content of this publication is based on C.I.S.P.R. Recommendation No. 57 given below.

C.I.S.P.R. RECOMMENDATION No. 57
CODE OF PRACTICE FOR MINIMIZING THE GENERATION OF RADIO NOISE

The C.I.S.P.R.,

CONSIDERING

- a) that the radiation of electromagnetic energy from overhead power lines causes interference to sound and television broadcasting;
- b) that the level of this noise may be reduced by the design and lay-out of a line;
- c) that when defects cause unusually high levels of interference there is need to detect and locate these faults,

RECOMMENDS

that the latest edition of C.I.S.P.R. Publication 18-3, including amendments, be used as a guide for minimizing the generation of radio noise caused by overhead power lines.

C.I.S.P.R. Publication 18-1 describes the main properties of the physical phenomena involved in the production of disturbing electromagnetic fields by overhead lines and provides numerical values of such fields.

In C.I.S.P.R. Publication 18-2 methods of measurement and procedures for determining limits of such radio interference are recommended.

Cette troisième partie de la Publication 18 du C.I.S.P.R. constitue un «code de bonne pratique» pour réduire au minimum la production de bruit radioélectrique des lignes et de l'appareillage de poste.

Elle fournit les conseils qu'il convient de suivre tant lors de la conception des pièces d'accessoires, qu'au moment de la pose des conducteurs et de ces accessoires sur une ligne.

Elle décrit également les méthodes de détection et de localisation de défauts conduisant à des niveaux de perturbations anormalement élevés, et indique des procédés de prévention et de correction généralement simples à mettre en œuvre.

Enfin, cette troisième partie donne des formules qui permettent de prédéterminer le champ perturbateur le plus probable d'une ligne pour diverses conditions atmosphériques, dans la mesure où ce champ a pour cause l'effet couronne des conducteurs.

Les publications suivantes du C.I.S.P.R. sont citées dans la présente publication:

Publications n°s 18-1 (1982): Caractéristiques des lignes et des équipements à haute tension relatives aux perturbations radioélectriques, Première partie: Description des phénomènes.

18-2 (1986): Deuxième partie: Méthodes de mesure et procédure d'établissement des limites.

STANDARD ISO.COM : Click to view the full PDF of CISPR 18-3:1986

This Part 3 of C.I.S.P.R. Publication 18 forms a “Code of Good Practice” to reduce to a minimum the production of radio noise by power lines and equipment.

It provides information which it is advisable to follow both when designing various fittings and components and when stringing the conductors and installing the hardware of the line.

It also describes methods of detecting and locating defects resulting in unusually high interference levels, and provides prevention and correction procedures that are generally simple to implement.

Lastly, this Part 3 provides formulae for predicting the most probable radio noise field of a line for various weather conditions, insofar as radio noise is caused by conductor corona.

The following C.I.S.P.R. publications are quoted in this publication:

Publications Nos. 18-1 (1982): Radio Interference Characteristics of Overhead Power Lines and High-voltage Equipment, Part 1: Description of Phenomena.

18-2 (1986): Part 2: Methods of Measurement and Procedure for Determining Limits.

STANDARD ISO.COM : Click to view the full PDF of CISPR 18-3:1986

CARACTÉRISTIQUES DES LIGNES ET DES ÉQUIPEMENTS À HAUTE TENSION RELATIVES AUX PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

Troisième partie: Code pratique de réduction du bruit radioélectrique

DOMAINE D'APPLICATION

La présente publication s'applique aux perturbations radioélectriques dues aux lignes de transport aériennes et aux équipements à haute tension susceptibles d'affecter la réception radio, à l'exclusion des champs créés par les signaux à courants porteurs.

La gamme des fréquences couvertes est de 0,15 MHz à 300 MHz.

1. Réalisation pratique des lignes et des équipements associés du point de vue des perturbations des réceptions radiophoniques et de télévision

1.1 Introduction

Cet article donne des directives relatives aux techniques qui peuvent être appliquées au niveau de l'étude, de la réalisation et de l'exploitation des lignes à haute tension et des équipements associés dans le but de maintenir, à des niveaux acceptables, les différents types de perturbations décrits dans cette publication.

1.2 Effet couronne sur les conducteurs

Au stade de l'étude, il convient de prêter attention aux caractéristiques géométriques de la ligne afin de s'assurer que les perturbations produites par les conducteurs resteront en dessous d'un niveau acceptable spécifié. Parmi ces caractéristiques, les plus importantes sont le diamètre des conducteurs et le nombre des conducteurs par phase. D'autres paramètres géométriques permettant d'agir sur le niveau de perturbation (distances entre les phases, hauteur des conducteurs au-dessus du sol, espacement des conducteurs d'un faisceau) ont un effet moindre et sont déterminés en pratique par des considérations mécaniques ou d'isolement.

Le paragraphe 5.3 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R.: Caractéristiques des lignes et des équipements à haute tension relatives aux perturbations radioélectriques, Première partie: Description des phénomènes, et l'article 2 ci-après illustrent des lois quantitatives sur le niveau des perturbations radioélectriques émises par l'effet couronne des conducteurs. Ces lois s'appliquent généralement non seulement aux conducteurs lisses, mais aussi aux conducteurs câblés car on a pu démontrer que les irrégularités de surface causées par le câblage n'ont, en général, pas d'effet sensible sur le niveau de perturbation, particulièrement lorsque les conducteurs sont humides ou mouillés. Par contre, la présence de brins cassés ou de dépôts superficiels de matières étrangères, comme des salissures ou des insectes, peuvent provoquer d'importantes perturbations localisées dues aux forts gradients locaux. Cela peut accroître considérablement le niveau de perturbation normal de la ligne. Pour ces raisons, il faut prendre

RADIO INTERFERENCE CHARACTERISTICS OF OVERHEAD POWER LINES AND HIGH-VOLTAGE EQUIPMENT

Part 3: Code of practice for minimizing the generation of radio noise

SCOPE

This publication applies to radio noise from overhead power lines and high-voltage equipment which may cause interference to radio reception, excluding the fields from power line carrier signals.

The frequency range covered is 0.15 MHz to 300 MHz.

1. Practical design of overhead power lines and associated equipment in order to control interference to radio and television reception

1.1 *Introduction*

This clause provides guidance on the techniques that may be applied during the design, construction and operation of high voltage overhead power lines and associated equipment in order to keep the various types of radio noise described in this publication within acceptable levels.

1.2 *Corona on conductors*

During line design, consideration should be given to the geometric parameters of the line, in order to ensure that radio noise due to conductor corona will not exceed a specified acceptable level. The most important parameters are conductor diameter and number of conductors per phase. Others that could be varied, such as distance between phases, height of conductors above ground or spacing of sub-conductors in the bundle, have a smaller effect. In practice they are usually determined by mechanical or insulation requirements.

The quantitative laws that determine the level of radio noise caused by conductor corona are discussed in Sub-clause 5.3 of C.I.S.P.R. Publication 18-1: Radio Interference Characteristics of Overhead Power Lines and High-voltage Equipment, Part 1: Description of Phenomena, and in Clause 2 below. These laws normally apply to both stranded and smooth conductors, since the surface unevenness caused by stranding does not, in general, substantially change the noise level, especially when conductors are damp or wet. The existence of scratched or broken strands or deposits of extraneous substances such as dirt or insects on the surface, on the other hand, may lead to severe localised corona discharges, due to high local voltage gradients. This may considerably increase the noise level of the line. For these reasons it is necessary to avoid damage to the conductor surface during construction. It should be handled with great care in transportation and erection and suitable techniques should be

de grandes précautions pendant la construction de la ligne pour éviter d'endommager la surface des conducteurs en prenant soin de la manutention notamment au cours du transport et du montage, et d'adopter des techniques appropriées évitant que les conducteurs frottent sur le sol ou sur d'autres objets pendant leur installation sur les pylônes. Il est en outre déconseillé de graisser extérieurement les conducteurs pour les protéger pendant le transport et la mise en tension mécanique; lorsque la ligne est mise en service, les conducteurs s'échauffent (particulièrement par temps chaud) et la graisse a tendance à couler et à s'amalgamer avec des poussières en certains points où elle provoque de forts gradients locaux risquant de renforcer nettement les perturbations. Lorsque l'âme d'acier d'un conducteur ou ses couches intérieures sont graissées pour diminuer les risques de corrosion, il convient d'utiliser un type de graisse qui ne risque pas de migrer vers la surface du conducteur, même à la température de service la plus élevée.

1.3 *Effet couronne sur les accessoires métalliques*

Les perturbations radioélectriques dues à l'effet couronne sur les accessoires métalliques tels que pinces de suspension, ancrages, palonniers, anneaux et cornes de garde, entretoises, etc., peuvent être maîtrisées au stade de l'étude en adoptant des formes et des dimensions convenables pour éviter l'apparition de forts gradients de potentiel. Il convient de veiller à ce que les arêtes soient convenablement arrondies, à ce que les têtes des boulons de serrage soient noyées et, d'une manière générale, à éviter les angles vifs et les saillies aiguës. Il est en outre important que les accessoires galvanisés aient une surface lisse, surtout aux points de gradient de potentiel maximal.

Les dispositifs de garde, outre leur fonction de protection de la chaîne d'isolateurs contre les effets destructeurs des arcs de puissance et d'amélioration de la distribution du potentiel le long de la chaîne, contribuent à réduire le niveau des perturbations radioélectriques produites par les pinces de suspension car ils font écran autour de leurs pointes et autres saillies. La configuration et les dimensions de ces dispositifs doivent être étudiées afin d'éviter qu'ils ne deviennent eux-mêmes des sources de perturbations. Il faut par exemple éviter d'employer des cornes simples à des tensions dépassant environ 150 kV et le diamètre des tubes formant les anneaux de garde doit être suffisant pour limiter les effluves par temps de pluie. Dans le domaine de très hautes tensions (750 kV et plus), l'expérience disponible est très limitée. Il semble cependant que la conception des anneaux de garde convenables par temps de pluie soit relativement délicate, même en utilisant des tubes multiples; dans ce cas, on pourrait avoir recours à des palonniers de configurations particulières permettant au faisceau de conducteurs de faire écran directement autour de la chaîne d'isolateurs qui serait alors protégée contre les arcs par des dispositifs appropriés montés sur les conducteurs du faisceau.

Comme dans le cas des conducteurs, il faut manipuler les accessoires avec le plus grand soin pour éviter de les endommager, que ce soit au cours de leur fabrication, leur transport, leur montage ou leur entretien.

1.4 *Décharges superficielles sur les isolateurs*

1.4.1 *Isolateurs propres ou légèrement pollués*

Les perturbations produites par temps sec peuvent être réduites:

- en utilisant des isolateurs spécialement étudiés (surtout en ce qui concerne leurs caractéristiques géométriques et les propriétés du matériau au voisinage des zones les plus critiques), ou
- en employant des dispositifs d'équipotentialité étudiés pour améliorer la distribution du potentiel à la surface de l'isolateur ou le long de la chaîne d'isolateurs.

used to avoid contact of the conductor with the ground or other objects during stringing. It is also advisable to avoid external greasing of the conductor for protection during transportation and tensioning; when the conductor is loaded, the increase in temperature, especially in hot weather, will cause this grease to run to the outside, gathering dirt and leading to areas with high local gradient and consequent radio noise. When the steel core or inside layers are greased for corrosion protection, a type of grease should be selected that will not migrate to the surface of the conductor even at the highest temperature.

1.3 *Corona on metal fittings*

Radio noise due to corona on metal fittings, such as suspension clamps, dead-end clamps, yokes, guard rings, horns, spacers, etc., can be controlled. Appropriate shapes and dimensions may be specified during the design stage in order to avoid points of high voltage gradient. All edges and corners should be well rounded, bolt heads should be rounded or shielded and sharp points and protrusions should be avoided. It is also important that the protective galvanized finish on fittings be smooth, particularly at points of maximum voltage gradient.

Guard devices are sometimes installed to protect an insulator string from the destructive effects of a power arc and to improve the distribution of the potential along the string. They also contribute to the reduction of the level of radio noise from the conductor clamps, since they screen sharp points or protrusions on the clamps. The type and dimensions of the guard devices should be chosen in such a way that they do not themselves produce radio noise. For example, the use of simple horns should be avoided at voltages exceeding about 150 kV, and the diameter of tubes forming guard rings should be sufficiently large to ensure that no corona occurs during rain. In the ultra high voltage range, 750 kV and above, experience is limited. Present knowledge seems to indicate, however, that it may be relatively difficult to design guard rings suitable for rainy conditions, even if they are made of multiple tubes. In which case, it may be necessary to devise special arrangements for the yoke so that the string is screened directly by the conductor bundle and is protected from power arcs by suitable devices on the sub-conductors of the bundle.

As in the case of conductors, it is important to avoid damage to the fittings during manufacture, transportation, construction and maintenance by handling them with great care at all times.

1.4 *Surface discharges on insulators*

1.4.1 *Clean or slightly polluted insulators*

The radio noise produced by these insulators under dry conditions can be controlled by:

- the use of insulators of suitable design, especially as regards their geometry and the characteristics of the material at the more critical areas, or
- the use of guard devices designed to improve the distribution of voltage on the surface of the insulator or along the insulator string.

En ce qui concerne la conception des isolateurs, on peut par exemple utiliser un émail semi-conducteur améliorant la distribution des gradients à la surface de l'isolant. En ce qui concerne les dispositifs de garde, l'emploi d'un anneau métallique aussi près que possible du premier élément, ou au moins des deux ou trois premiers éléments, du côté ligne, de la chaîne isolante, peut améliorer nettement la distribution du potentiel à la surface de l'isolateur ou le long de la chaîne d'isolateurs. Il en résultera une réduction du niveau de perturbation. L'anneau doit toutefois être compatible avec d'autres impératifs liés au niveau d'isolement qui peut ainsi être réduit, à la protection contre les arcs de puissance, à l'effet d'écran autour des pinces, etc. (voir paragraphe 1.3).

Par temps humide, brouillard ou pluie, le niveau de perturbation est généralement plus difficile à maîtriser que par temps sec, mais ce phénomène n'intervient que rarement dans l'étude de la ligne car l'augmentation des perturbations causées par la présence de gouttelettes d'eau sur les isolateurs est généralement moins importante que l'augmentation correspondant des perturbations dues aux conducteurs.

1.4.2 *Isolateurs très pollués*

Ainsi qu'on l'a déjà vu dans le paragraphe 6.1 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R., par temps sec, aux perturbations normalement produites par l'isolateur propre peuvent se superposer d'autres phénomènes du type effet couronne dus à l'irrégularité des surfaces provenant des dépôts de pollution. Dans ces conditions, l'influence de la conception des différentes parties de l'isolateur est moins marquée, tandis que des accessoires d'équipotentialité, en améliorant la distribution du potentiel à la surface de l'isolateur ou le long de la chaîne d'isolateurs, peuvent réduire très sensiblement les niveaux de perturbation radioélectrique.

Lorsque la surface polluée d'un isolateur est humide, les perturbations sont produites, comme indiqué au paragraphe 6.1 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R., par des arcs sur les bandes sèches causés par les courants de fuite. Ces perturbations ont parfois des composantes de fréquences très élevées affectant les émissions radiophoniques et de télévision, et il peut être difficile d'y remédier. La seule solution pratique consiste à limiter les courants de fuite qui cheminent à la surface de l'isolateur pollué. A cet effet, on peut:

- a) diminuer le champ électrique auquel sont soumis les isolateurs (par exemple en utilisant des lignes de fuite de longueurs supérieures à la valeur minimale imposée par la tenue aux contraintes électriques);
- b) utiliser des isolateurs de types spéciaux (par exemple en matière organique ou revêtus d'un émail semi-conducteur ou encore ayant de longues lignes de fuite, isolateurs antipollution ou de formes spéciales, etc.);
- c) enduire les isolateurs d'une graisse de silicone.

1.5 *Arcs et micro-arcs dus aux mauvais contacts, effets de commutation*

Des méthodes pour éliminer ou réduire ces types de perturbations sont décrites respectivement dans l'article 3 ci-après et au paragraphe 8.4 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R.

1.6 *Défauts des lignes d'énergie ou des équipements associés en service*

Même lorsque toutes les précautions possibles ont été prises au stade de l'étude et de la construction d'une ligne d'énergie ou d'un poste pour maintenir les perturbations à des niveaux acceptables, il peut se faire que des sources de perturbations intolérables apparaissent à la suite de défauts occasionnels tels que ruptures de brins, de pinces ou d'isolateurs, ou accumulation de pollution sur les conducteurs et les isolateurs. En général, ces défauts, qu'ils soient ou non des causes de perturbations, doivent être éliminés pour maintenir un bon fonctionnement de l'installation; par ailleurs, ces perturbations occasionnelles facilitent la détection et la localisation des défaillances potentielles des ouvrages.

In insulator design, the use of conducting glaze, for example, improves the distribution of the surface voltage gradient on the insulator. In the design of a guard device, a metal ring as close as possible to the insulator, or to at least the first two or three insulators at the line end of an insulator string, may considerably improve the voltage distribution on the insulator or along the insulator string and reduce radio noise. The ring, however, must remain compatible with other requirements such as insulation withstand, protection of the insulators from power arcs, screening of the clamps, etc. (see Sub-clause 1.3).

The radio noise produced in damp weather, fog or rain is usually more difficult to control than the noise under dry conditions. It is, however, seldom a critical factor in line design, since the increase in noise due to water droplets on the insulators is usually less important than the corresponding increase in noise produced by the conductors.

1.4.2 *Very polluted insulators*

Under dry conditions, in addition to the phenomena that cause noise on a clean insulator, other phenomena of the corona type may occur due to surface unevenness created by pollution deposits, as mentioned in Sub-clause 6.1 of C.I.S.P.R. Publication 18-1. Under these conditions even careful design of the various parts of an insulator may be of little benefit. Stress control devices suitable for improving the voltage distribution on the insulator or along the insulator string, however, may considerably improve the radio noise performance.

When the polluted insulator surface is wet, radio noise is generated by sparks across the dry bands, created by the leakage currents, as discussed in Sub-clause 6.1 of C.I.S.P.R. Publication 18-1. Occasionally, this noise has very high frequency components. It may affect both sound and television reception and is difficult to control. The only practical remedy is to limit the leakage current activity on the surface of the polluted insulator. This may be achieved by:

- a) diminishing the voltage stress on the insulator – for example by using a longer surface creepage path than is necessary for electrical withstand;
- b) using special types of insulators such as those made of organic material or coated with semi-conducting glaze, or designs with a longer creepage path such as fog type units, special shapes, etc.;
- c) coating the insulators with silicone grease.

1.5 *Sparks and microsparks due to bad contacts, commutation effects*

Remedial measures for eliminating or reducing these types of radio noise are described in Clause 3 below and in Sub-clause 8.4 of C.I.S.P.R. Publication 18-1 respectively.

1.6 *Defects on power lines and associated equipment in service*

Even if all possible precautions have been taken during design and construction of a power line or substation to keep radio noise within acceptable limits, defects may occasionally occur during operation, resulting in intolerable noise. This may be caused by breakage of strands on the conductors, damage to clamps or insulators or accumulation of pollution on conductors and insulators. In general, these defects must be eliminated in order that the power system may operate properly, whether or not they are sources of radio noise. In fact, the occasional noise caused by such defects may result in detection and location of potential power system faults.

Ces sources de perturbations anormales peuvent être localisées par différents moyens, tels que des récepteurs de mesure de perturbations, des récepteurs de télévision, des détecteurs d'ultrasons ou des appareils optiques. La localisation est souvent plus aisée dans des bandes de télévision car, à ces fréquences très élevées, les affaiblissements longitudinaux sont très importants. Lorsque les émissions radiophoniques à basses et moyennes fréquences sont seules affectées, la localisation de la source perturbatrice peut nécessiter un enregistrement de l'affaiblissement longitudinal du champ perturbateur radioélectrique combiné avec l'emploi d'appareils optiques ou de détecteurs d'ultrasons (voir article 3).

2. Méthodes de prédétermination du niveau perturbateur de référence d'une ligne aérienne

Introduction

Cette publication a été rédigée de façon à fournir à l'ingénieur praticien les bases théoriques et pratiques nécessaires pour régler les problèmes de perturbation radiophonique. Les aspects techniques ont été présentés dans la première partie et un bon nombre de ces points sont repris dans le présent article d'une manière simplifiée, afin de combiner les bases théoriques et les aspects pratiques.

Généralités

Le niveau de référence d'une ligne est le niveau du champ perturbateur à la fréquence de référence de 500 kHz et à une distance de 20 m du conducteur le plus proche. Si le gradient électrique dans l'air à la surface des conducteurs d'une ligne normale est supérieur à environ 12-14 kV/cm selon le diamètre du conducteur, le niveau perturbateur de la ligne est déterminé par les conducteurs eux-mêmes. Le nombre et le diamètre des conducteurs par phase d'une ligne projetée sont fréquemment choisis en fonction de la capacité de transport nécessaire ou des considérations économiques. Il en résulte qu'une prédétermination du niveau perturbateur de référence est nécessaire pour des conditions climatiques données. Si la ligne a été conçue avec des conducteurs tels que le gradient superficiel soit relativement élevé, il n'existe pratiquement pas de remède pour réduire le niveau perturbateur, une fois la ligne construite.

La figure B12 de l'annexe B de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R. donne les corrections à appliquer au niveau perturbateur pour une fréquence de mesure différente de 500 kHz.

Si le gradient électrique dans l'air à la surface des conducteurs d'une ligne est inférieur à environ 12 kV/cm, le niveau perturbateur est généralement déterminé par les isolateurs et le matériel d'équipement. Dans ce cas, le niveau perturbateur de la ligne est intrinsèquement bas et il est donc intéressant de préserver cette bonne qualité par un choix adéquat des isolateurs et du matériel d'équipement. La plupart des méthodes de prédétermination se rapporte au niveau perturbateur des conducteurs et ne s'applique donc pas aux lignes pour lesquelles les conducteurs ont un faible gradient superficiel. Aucune de ces méthodes ne peut s'appliquer aux sources perturbatrices du type mauvais contacts.

2.1 *Rappel des données techniques exposées dans les articles précédents de la publication*

a) Méthodes de prédétermination du niveau perturbateur dû aux conducteurs

Le paragraphe 5.3 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R. présente une revue des méthodes de prédétermination analytique, semi-empiriques, empiriques ou comparatives. La méthode analytique est basée sur les résultats obtenus sur un échantillon de faible longueur

These abnormal noise sources may be located by various instruments such as radio noise measuring sets, television receivers or ultrasonic and optical detectors. Location will often be easier when the noise affects television reception, since at very high frequencies longitudinal attenuation along the line is very high. When only low and medium frequency radio broadcasts are affected, location of the noise source may require the recording of the longitudinal attenuation of the radio noise field, combined with optical or ultrasonic devices, as discussed in Clause 3.

2. Methods of prediction of the reference level of an overhead line

Introduction

This publication has been written to provide the engineer in the field with the theoretical and practical background necessary to deal with radio interference problems. Technical aspects have been dealt with in Part 1 and many of the aspects discussed are dealt with in this clause in a simplified manner to bring together the theoretical and practical issues.

General

The reference level of a line is the strength of the radio noise field at a reference frequency of 500 kHz and at a distance of 20 m from the nearest conductor of the line. Where the voltage gradient in the air at the surfaces of the conductors of a normal line is greater than about 12-14 kV/cm, depending on conductor diameter, the radio noise performance of the line is determined by the performance of the conductors. The number and diameter of the conductors per phase of a proposed line are often decided by the current-carrying capacity required or by economic considerations and usually a prediction of the reference level is required for a particular weather condition. If a line is designed with the conductors at a high surface gradient very little can be done to reduce the noise level once the line has been constructed.

Figure B12 of Appendix B of C.I.S.P.R. Publication 18-1 gives the correction to be applied to a radio noise level relating to a measurement frequency other than 500 kHz.

Where the voltage gradient in the air at the surfaces of the conductors of a line is less than about 12 kV/cm, the radio noise level is usually determined by the insulators and fittings. In this case the radio noise performance of the line is inherently good and it is usually desirable to preserve this good quality by selecting insulators and fittings of a matching quality. Most of the methods of prediction or predetermination are concerned with the conductor noise and do not apply to lines where the conductors are at a low surface gradient. None of the methods applies to sparking sources at loose or imperfect contacts.

2.1. *Correlation of data given elsewhere in this publication*

a) Methods relating to noise from conductors

Sub-clause 5.3 of C.I.S.P.R. Publication 18-1 gives a survey of methods of prediction or predetermination, both analytical or semi-empirical and empirical or comparative. The analytical method relies on the results of measurements carried out on a short length of

d'un conducteur installé dans une nasse et elle nécessite des calculs complexes. L'échantillon de conducteur peut être essayé avec différents états de surface et la tension perturbatrice mesurée selon les modalités proposées au paragraphe 1.3 de la Publication 18-2 du C.I.S.P.R.: Caractéristiques des lignes et des équipements à haute tension relatives aux perturbations radioélectriques, Deuxième partie: Méthodes de mesure et procédure d'établissement des limites. Cependant, une prédétermination valable du niveau perturbateur dû à l'effet couronne du conducteur ne peut être calculée qu'à partir des essais effectués sous pluie. En effet, seulement dans ce cas, le nombre de sources individuelles d'effet couronne par unité de longueur est suffisamment élevé pour fournir une représentation statistiquement satisfaisante du conducteur de ligne. Pour les lignes à courant continu, on se reportera au paragraphe 8.2 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R. pour le calcul des niveaux perturbateurs.

Les formules comparatives simples présentées au paragraphe 5.3 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R. sont basées sur les résultats des mesures du champ perturbateur effectuées sur une ligne existante de conception voisine. Ces formules tiennent compte de l'influence de toutes les différences entre la ligne de référence et la ligne en étude telles que: gradient superficiel, diamètre du conducteur. Si la conception de la ligne de référence et de la ligne en étude sont identiques, ainsi que les conditions d'exploitation, telles que pollution de l'air, etc., une prédétermination assez précise peut être obtenue du niveau perturbateur de la ligne projetée, dû à l'effet couronne des conducteurs. Les influences climatiques peuvent également être prises en compte, lorsque les mesures effectuées sur la ligne de référence l'ont été pour diverses catégories de temps.

Au paragraphe 5.4 et dans l'annexe B de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R., on présente un catalogue de profils du champ perturbateur dû à l'effet couronne des conducteurs pour un certain nombre de configurations de lignes aériennes à un seul circuit. Ces profils sont valables tant que le gradient superficiel dans l'air des conducteurs est suffisamment élevé pour engendrer un niveau perturbateur. Les valeurs du champ perturbateur sont présentées pour une fréquence de mesure de 500 kHz, d'une part sous forte pluie et d'autre part, par beau temps. Le niveau sous forte pluie est plus élevé d'environ 17 dB à 25 dB. Les profils montrent l'atténuation du champ perturbateur perpendiculairement à la ligne pour des distances n'excédant pas 150 m.

b) Méthode d'évaluation du bruit perturbateur des isolateurs et/ou du matériel d'équipement

Le paragraphe 6.2 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R. donne la corrélation entre la tension perturbatrice produite par une pièce du matériel de ligne, mesurée selon la procédure exposée au paragraphe 1.3 de la Publication 18-2 du C.I.S.P.R. et le niveau perturbateur de référence de la ligne. Cette corrélation s'applique lorsqu'il n'existe qu'une source sur la ligne (par exemple un isolateur brisé) ou lorsque de nombreuses sources sont distribuées uniformément le long de la ligne. Cette méthode, qui comporte une formule semi-empirique, est particulièrement utile quand les conducteurs de la ligne étudiée sont prévus pour fonctionner à un gradient superficiel faible et que la prédétermination du niveau global de la ligne doit prendre en compte le bruit des isolateurs. En général, les mesures sont effectuées selon la procédure indiquée au paragraphe 1.3 de la Publication 18-2 du C.I.S.P.R. sur des isolateurs secs et propres puisque c'est la condition habituellement spécifiée. Mais cette procédure n'est pas limitée aux mesures sur des objets secs et propres mais peut être appliquée à des isolateurs témoins, pollués spécialement et essayés à sec et dans des conditions de forte humidité. Les résultats peuvent alors être utilisés pour la prédétermination du niveau perturbateur de référence d'une ligne projetée.

sample conductor in a test cage and involves highly complex analyses. The sample conductor can be tested with any desired surface condition and the radio noise voltage measured by a circuit given in Sub-clause 1.3 of C.I.S.P.R. Publication 18-2: Radio Interference Characteristics of Overhead Power Lines and High-voltage Equipment, Part 2: Methods of Measurement and Procedure for Determining Limits. However, a reliable prediction of the reference level due to conductor corona can be calculated only from the wet test since in this case the number of individual corona sources per unit length is sufficiently high to represent a statistically satisfactory sample. For d.c. lines, reference should be made to Sub-clause 8.2 of C.I.S.P.R. Publication 18-1 for the calculation of the noise level.

The simple comparative formulae referred to in Sub-clause 5.3 of C.I.S.P.R. Publication 18-1 rely on the results of radio noise field strength measurement carried out on an existing line of similar design. These formulae take into account the effects of any difference between the reference and proposed lines such as the differences in surface voltage gradient or conductor diameter. If the design of the reference and the proposed lines are similar and the operating conditions, such as air pollution, etc., are also similar a fairly accurate prediction may be obtained of the reference level to be expected from the proposed line due to conductor corona. The effects of weather may also be determined by taking measurements on the reference line in a variety of weather conditions.

In Sub-clause 5.4 and Appendix B of C.I.S.P.R. Publication 18-1 is given a catalogue of radio noise field strength profiles resulting from conductor corona for certain designs of single circuit overhead line. These profiles are correct when the values of the voltage gradient in the air at the surfaces of the conductors of the lines are sufficiently high to produce radio noise and the values of the field strength, at a measurement frequency of 500 kHz, are given for both heavy rain and average fair weather conditions; the heavy rain conditions producing a higher field strength of between 17 dB and 25 dB. The profiles show the attenuation of the field with distance normal to the lines for distances out to 150 m.

b) Method relating to noise from insulators and or fittings

Sub-clause 6.2 of C.I.S.P.R. Publication 18-1 gives a correlation between the radio noise voltage generated by a fitting or component of a line, when measured in accordance with the procedure given in Sub-clause 1.3 of C.I.S.P.R. Publication 18-2, and the level of the reference field. This correlation applies where the line has a single noise source, for example a broken insulator, or where multiple sources are uniformly distributed along the line. The method, which includes a semi-empirical formula, is particularly useful where the conductors of a proposed line are to operate at a low surface gradient and a prediction is required of the reference level to be expected from the insulators of the line. When the measurement procedure given in Sub-clause 1.3 of C.I.S.P.R. Publication 18-2 is carried out on insulators they are usually in a clean and dry condition, since this condition is normally specified, but the procedure is not restricted to measurements on clean and dry objects and specially polluted sample insulators could be tested when damp and when dry and the results inserted into the formula to predict the reference level of a proposed line.

c) *Méthodes pour combiner le niveau perturbateur des conducteurs, des isolateurs et/ou du matériel de ligne*

Le paragraphe 5.2 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R. donne des informations sur l'emploi des lignes expérimentales. Lorsque la configuration d'une ligne projetée est telle qu'elle ne peut être comparée aux lignes existantes, son niveau perturbateur peut être déterminé sur une ligne expérimentale relativement courte. Des mesures sur lignes expérimentales sont particulièrement utiles lorsqu'un nouveau réseau, devant fonctionner à une tension très supérieure aux lignes existantes, est en projet. Le niveau perturbateur de la ligne expérimentale est mesuré sous différentes conditions atmosphériques de façon à en déduire le niveau perturbateur de la ligne projetée dans les conditions de service. Cette méthode permet de prendre en compte les effets de pollution des isolateurs. D'autres données importantes telles que: pertes par effet couronne ou niveau de bruit acoustique, peuvent également être obtenues simultanément à partir de cette ligne expérimentale.

Dans l'article 2 de la Publication 18-2 du C.I.S.P.R., on propose une méthode pour déterminer le niveau perturbateur de référence d'une ligne qui donnera, à une certaine distance de celle-ci, une protection des émissions radiophoniques pendant 80% du temps avec une probabilité de 80%.

2.2 Formule CIGRÉ

Niveau perturbateur dû aux conducteurs

Une formule simple a été établie pour prédéterminer directement le niveau perturbateur d'une ligne dû aux conducteurs. Cette formule, établie expérimentalement, donne le niveau perturbateur le plus probable auquel on peut s'attendre avec des conducteurs vieillis, par temps sec, à une distance de 20 m du conducteur le plus proche, à une fréquence de mesure de 500 kHz. La formule a été établie à partir des mesures effectuées sous des lignes de 200 kV à 765 kV avec un gradient maximal compris entre 12 kV/cm et 20 kV/cm. Strictement parlant, cette formule fournit le niveau perturbateur d'une seule phase mais les effets des autres phases peuvent être pris en compte par une méthode de sommation. Cependant, pour un certain nombre de configurations de lignes dans les gammes ci-dessus, on montre qu'en pratique on n'introduit qu'une faible erreur si l'on ne tient compte que de la phase qui produit le niveau le plus élevé au point de mesure; en pratique, il s'agit de la phase d'une ligne triphasée la plus proche, mais cela n'est pas valable dans tous les cas.

Cette formule s'écrit comme suit:

$$E = 3,5 g_{\max} + 12r - 30 \text{ (dB/1 } \mu\text{V/m)}$$

où:

E = niveau perturbateur à une distance de 20 m du conducteur le plus proche de la ligne considérée

$g_{\max}$ = gradient maximal à la surface du conducteur, en kilovolts efficaces par centimètre

r = rayon du conducteur ou du sous-conducteur, en centimètres

L'application de cette formule est exposée en détail dans l'annexe A.

2.3 Détermination du niveau 80%

Le niveau 80% d'une ligne peut être déterminé par le calcul [16, 59]* ou, si la ligne existe, par la mesure avec une bonne précision. On donne ci-dessous des méthodes pour déterminer le niveau 80%:

* Les chiffres entre crochets se rapportent respectivement aux «Bibliographie et références» de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R. (pages 69 à 71) et de la Publication 18-2 du C.I.S.P.R. (page 57).

c) Methods relating to aggregate noise from the conductors, insulators and/or fittings

Sub-clause 5.2 of C.I.S.P.R. Publication 18-1 gives information on the use of test lines. Where conditions relating to a new design of line are such that they cannot be related to data available from an existing line the expected performance is sometimes studied on a relatively short test line. Such test line studies are particularly useful when a new system, for operation at a much higher voltage than hitherto, is in the planning stage. The radio noise performance of the experimental line is monitored in a range of weather and atmospheric conditions so that the performance of the proposed line can be assessed under the conditions which it will experience in service. This could also include the effects of insulator pollution. Other important data, such as corona loss and acoustic noise performance, can also be obtained from the test line at the same time.

In Clause 2 of C.I.S.P.R. Publication 18-2 is given a method whereby the reference level of a line may be found which will protect a given broadcast signal strength at a given distance from the line for 80% of the time with 80% confidence.

2.2 CIGRÉ formula

Relating to noise from conductors

A simple direct formula has also been evolved for predicting the level of the radio noise field to be expected from the conductors of a line. The formula, which is empirically based, gives the most probable level to be expected from aged conductors in dry weather at a distance of 20 m from the nearest conductor at a measurement frequency of 500 kHz. The formula is derived from lines operating at voltages between 200 kV and 765 kV and at maximum voltage gradients between 12 kV/cm and 20 kV/cm. Strictly, the formula gives the noise from one phase conductor or bundle of a line and the effects of the other conductors may be taken into account by a summation process; however, for a number of designs of lines within these ranges, it is found that only a small error is introduced if only the conductor producing the highest noise at the measuring point of a three-phase line is considered; usually this is the nearest conductor but not necessarily so in all cases.

The formula is:

$$E = 3.5 g_{\max} + 12r - 30 \text{ (dB/1 } \mu\text{V/m)}$$

where:

E = radio noise field strength at a distance of 20 m from nearest conductor of proposed line
 $g_{\max}$ = maximum voltage gradient at the conductor surface, in kilovolts r.m.s. per centimetre
 r = radius of conductor or sub-conductor, in centimetres

This matter is considered in more detail in Appendix A.

2.3 Determination of 80% level

The 80% level for a line may be predicted by calculation [16, 59]* or, if the line exists, the 80% level may be determined with a high degree of confidence, by measurement. Methods of determining the 80% level are as follows:

* The figures in square brackets refer to "Bibliography and references" in C.I.S.P.R. Publication 18-1 (pages 69 to 71) and in C.I.S.P.R. Publication 18-2 (page 57) respectively.

- 1) Pour une ligne existante, le niveau 80% peut être déterminé avec une bonne précision à partir de la courbe de fréquence cumulée «tous temps» obtenue par des mesures effectuées pendant une période d'une année.
- 2) Si cette courbe de fréquence cumulée «tous temps» n'est pas disponible, ou dans le cas d'une ligne projetée, on peut utiliser les résultats des mesures effectuées sur une ligne de configuration identique fonctionnant dans des conditions climatiques et de pollution identiques.
- 3) A partir des valeurs proposées dans le paragraphe 4.2 de la Publication 18-1 du C.I.S.P.R., on remarque que, en moyenne, le niveau 80% d'une ligne est de 10 dB supérieur à son niveau 50%. De ce fait, le niveau 80% peut être déduit du niveau 50% lorsque celui-ci est connu.
- 4) Le niveau 80% peut être déterminé en ajoutant 5 dB à 15 dB, selon le climat, au niveau perturbateur par beau temps, estimé à partir de la formule simple proposée au paragraphe 2.2 ci-dessus.

2.4 Conclusions

La méthode de prédétermination à employer dans le cas d'une ligne étudiée va dépendre de la cause prépondérante du niveau perturbateur: conducteurs ou isolateurs et/ou matériel d'équipement, c'est-à-dire selon que le gradient superficiel des conducteurs est supérieur à environ 14 kV/cm ou inférieur à environ 12 kV/cm. Pour des gradients compris entre ces deux valeurs, les conducteurs et les isolateurs peuvent contribuer simultanément au niveau perturbateur global de la ligne étudiée.

Les formules comparatives simples proposées au point *a*) du paragraphe 2.1, le catalogue des profils du niveau perturbateur également proposé au point *a*) du paragraphe 2.1 et la formule CIGRÉ donnée au paragraphe 2.2 sont toutes relativement simples à utiliser et, dans la mesure où ces méthodes ne sont employées qu'à l'intérieur de leurs limitations, elles permettent d'obtenir des indications suffisamment précises sur le niveau perturbateur de référence que l'on peut attendre des conducteurs d'une ligne projetée. Il faut cependant remarquer que, à cause de la nature aléatoire du niveau perturbateur et de l'influence des conditions climatiques, atmosphériques, de la pollution, etc., il est souvent difficile de mesurer le niveau de référence d'une ligne avec un haut degré de précision et de reproductibilité.

La méthode proposée au point *b*) du paragraphe 2.1 pour évaluer le niveau perturbateur des isolateurs et/ou du matériel d'équipement n'a pas, jusqu'à présent, de base expérimentale suffisante pour le cas d'isolateurs pollués intentionnellement pour des essais, mais ce point sera développé ultérieurement. Si une ligne expérimentale est disponible et si l'on dispose du temps nécessaire pour effectuer les mesures (voir point *c*) du paragraphe 2.1) le niveau de référence d'une ligne projetée peut être obtenu avec une bonne précision, en fonction des conducteurs, isolateurs et matériel d'équipement envisagés.

3. Méthodes de détection et de localisation des mauvais contacts et remèdes possibles contre les perturbations qui en résultent

C'est surtout par temps sec qu'apparaissent des perturbations dues aux mauvais contacts (contacts mal serrés ou imparfaits) car, par temps humide, les intervalles relativement petits qui sont à leur origine sont court-circuités par l'humidité.

- 1) For an existing line the 80% level may be determined, with a high degree of confidence, from the all-weather distribution curve obtained by measurements made over a period of one year.
- 2) If the all-weather distribution curve is not available, or in the case of a proposed line, the results of measurements made on a line of similar design in a similar climate and pollution environment could be used.
- 3) From the figures given in Sub-clause 4.2 of C.I.S.P.R. Publication 18-1 it is seen that, on average, the 80% level for a line is 10 dB greater than the 50% level. Therefore, if the 50% level is known the 80% level may be estimated.
- 4) The 80% level may be predicted by adding 5 dB to 15 dB, depending on the climate, to the fair-weather level estimated from the simple formula given in Sub-clause 2.2 above.

2.4 Conclusions

The particular method of prediction to use in the case of a particular proposed line will depend on whether the interest is in conductor corona or noise due to insulators and/or fittings, that is whether the conductors are to operate at a voltage gradient greater than about 14 kV/cm or less than about 12 kV/cm. For voltage gradients in between these values both the conductors and the insulators may contribute to the noise level of the proposed line.

The simple comparative formula referred to in Item *a*) of Sub-clause 2.1, the catalogue of radio noise field strength profiles referred to also in Item *a*) of Sub-clause 2.1 and the CIGRÉ formula given in Sub-clause 2.2 are all simple to use and, provided they are used within their inherent limitations, they should give reasonably accurate indications of the reference level to be expected from the conductors of a proposed line. It should be borne in mind that owing to the variable nature of radio noise and its dependency on the effects of weather, atmospheric conditions, pollution, etc., it is often difficult to measure the reference level of a line with any high degree of accuracy and reproducibility.

The method referred to in Item *b*) of Sub-clause 2.1 relating to noise from insulators and/or fittings has not, as yet, become established practice for the case of specially polluted test insulators but the method would appear to have promise for this case. If a test line, referred to in Item *c*) of Sub-clause 2.1, is available, together with the time required to carry out experimental work, the likely reference level from a proposed line may be obtained with a good degree of accuracy for the particular conductor, insulators and fittings proposed.

3. Preventive and remedial measures to minimize radio noise generated by bad contacts and their detection and location

Radio noise generated by sparking at bad, that is loose or imperfect, contacts occurs mainly in dry weather since in wet weather the comparatively small gaps involved usually became bridged with moisture.

3.1 Mesures préventives et correctives

Dans la réalisation du matériel à haute tension, il est important:

- a) d'assurer un serrage énergique de toutes les pièces métalliques de la structure, et
- b) de relier les éléments conducteurs, autant que faire se peut, soit à la terre, soit au conducteur sous tension.

Sur les lignes de distribution, l'important est de relier les surfaces métalliques contigües, mais il n'est pas impératif de relier les surfaces métalliques à la terre ou au conducteur sous tension pour supprimer les amorçages. Si la liaison n'est pas possible d'un côté (par exemple au niveau des tiges ou des chapes des isolateurs d'une chaîne isolante), il faut que les éléments conducteurs adjacents forment un bon contact métal sur métal et que l'ensemble soit parfaitement isolé des autres pièces métalliques de la structure. Il faut prendre garde au fait que même des éléments neufs peuvent être recouverts d'une couche anti-corrosion en carbonate de zinc. Cependant, après avoir été exposées aux intempéries, les pièces s'oxydent et il peut se former un interstice de corrosion qui devient le siège d'amorçage du type éclateur. Ce phénomène peut se produire sur les chaînes d'isolateurs de suspension qui supportent une charge mécanique inadéquate.

Plusieurs méthodes préventives et correctives se sont avérées efficaces:

a) Graisse et pâte conductrices

Une méthode rapide et économique consiste à appliquer de la graisse conductrice au niveau des tiges ou chapes des isolateurs. Ce palliatif n'a cependant qu'un effet temporaire et l'application de graisse doit être périodiquement renouvelée. Une pâte de cuivre donne généralement, mais pas toujours, des résultats plus durables que la graisse conductrice. Dans tous les cas, il faut évidemment prendre des précautions pour éviter que la graisse ou la pâte ne coule ultérieurement à la surface de l'isolateur.

L'application d'une graisse non conductrice, ordinaire sur des surfaces récemment galvanisées empêche la corrosion.

b) Balais de liaison

L'emploi d'un balai métallique formé de brins d'acier inoxydable permet de remédier au défaut de continuité pendant une période de trois à cinq ans. Le balai assure un contact métal sur métal au niveau de la rotule ou de la chape.

c) Agrafe de liaison

Il est facile de poser des agrafes métalliques entre les isolateurs, au niveau de la tige ou de la chape. Il est indispensable que ces agrafes soient installées entre la pince de suspension et le premier isolateur. Différents modèles d'agrafes, exerçant une pression suffisante pour traverser la couche d'oxyde, peuvent être insérés entre l'œillet et la rotule.

d) Liaison permanente

Les meilleurs résultats sont généralement obtenus avec des liaisons souples permanentes entre chacune des pièces métalliques de la chaîne d'isolateurs et entre le dernier isolateur et la poutre du pylône, ainsi qu'entre la pince de suspension et le premier isolateur. Ces liaisons peuvent être assurées par des câbles toronnés en acier inoxydable ou en cuivre soudés ou vissés. Le câble de liaison doit être muni d'une gaine plastique évitant l'écartement des brins rompus.

3.1 *Preventive and remedial measures*

When constructing high voltage equipment it is important

- a) to ensure that all fixing bolts are securely tightened, and
- b) to bond conducting elements, as far as is possible, either to earth or conductor potential.

On distribution lines, bonding adjacent metal surfaces is important but bonding to earth or conductor potential is not required for spark suppression. If bonding to one side is not possible (for example at the pin and clevis, or ball and socket, couplings of an insulator string), the adjacent conducting elements should have good metal-to-metal contact and the whole assembly should be well insulated from other metallic parts of the equipment. It should be borne in mind that even when equipment is new, galvanized metallic parts can have a corrosion coating of zinc carbonate. When the surfaces have weathered, additional oxides and sulphides may be present and an imperfect contact may result leading to the possibility of gap-type discharges. The phenomenon may occur when suspension insulator strings have inadequate mechanical loading.

The following preventive and remedial measures have been found to be effective:

a) *Conductive grease and paste*

A quick and economical method is the application of conductive grease to the socket or clevis area of insulators. This is a temporary cure, however, and it is necessary to re-apply the grease at a later date. The use of a copper paste, instead of conductive grease, promises to be a more lasting remedy but care must be taken to ensure that the grease or paste does not find its way on to an insulating surface.

Ordinary, non-conductive grease applied to freshly galvanized surfaces will inhibit corrosion.

b) *Bonding brush*

The application of a bonding brush, with stainless steel bristles, is a temporary cure, lasting for some three to five years, by providing metal-to-metal contact in the pin and clevis, or ball and socket, area.

c) *Bonding clip*

Where pin and clevis type insulators are used, bonding clips can easily be installed in the pin and clevis area. It is especially important that these be installed in the conductor clamp connection with the line end insulator. There are several types of clip suitable for insertion between ball and socket which maintain sufficient pressure to break down the oxide film.

d) *Permanent bonding*

The best results are likely to be obtained with a permanent flexible bond across each individual metallic link of the insulator string, together with bonds from the earth end insulator to the cross-arm and from the conductor clamp to the line end insulator. The bonds should consist of stranded stainless steel or copper cable and can either be welded or fastened by screws. The cable should have a plastic covering to prevent bird caging of broken strands.

e) *Masses métalliques pour chaînes d'isolateurs à charge mécanique inadéquate*

Pour assurer un bon contact entre les différentes pièces métalliques de la chaîne isolante, on peut charger l'extrémité inférieure de la chaîne avec des masses métalliques, de forme arrondie pour éviter l'effet couronne.

f) *Rondelles de freinage (métalliques ou en plastique)*

Dans une construction en bois, il y a quelque avantage à utiliser des rondelles de freinage. Ainsi, les rondelles élastiques suffisent généralement à éviter le desserrage des accessoires montés sur les poteaux et les poutres sous l'effet du retrait du bois. De même, des rondelles d'acétate ou de nylon permettent généralement d'éviter le desserrage des écrous. Lorsqu'on emploie des écrous indesserrables ou des rondelles plastiques, il faut évidemment prendre soin de ne pas former d'intervalle isolant entre des pièces métalliques. On n'utilise d'habitude ce type de rondelle qu'entre un écrou et un poteau ou une poutre.

g) *Isolateurs monoblocs*

L'emploi d'isolateurs monoblocs permet de réduire les risques d'apparition de sources perturbatrices.

h) *Isolateurs à tige avec émail conducteur*

Avec les isolateurs à tige, il se produit parfois des micro-arcs superficiels dans la zone de contact du conducteur, ou de l'attache de suspension, avec la gorge (supérieure ou latérale) de l'isolateur. Cet inconvénient peut être éliminé en appliquant des peintures conductrices ou en métallisant la zone de contact de l'isolateur. Ces agents de métallisation ne sont efficaces que s'ils sont appliqués avec le vernis de surface au cours de la fabrication de l'isolateur. Dans le cas des isolateurs à tige, si la tige est directement vissée dans le trou de la porcelaine, il faut traiter la surface de ce dernier avec une peinture conductrice. En variante, on peut sceller une cuvette métallique vissée au fond du trou. Il est cependant préférable d'employer des isolateurs dont le trou a été émaillé au cours de la fabrication.

Lorsqu'on utilise des conducteurs isolés au PCV, des décharges peuvent se produire au niveau des isolateurs supports. On peut les éviter en entourant la gaine PCV d'un ruban semi-conducteur. Pour une ligne à 11 kV, ce ruban doit être appliqué sur 600 mm de part et d'autre de l'isolateur.

i) *Colliers en plastique et cavaliers isolés*

L'emploi de colliers en plastique ou de cavaliers isolés pour fixer le fil de mise à la terre le long d'un poteau en bois évitera l'apparition de micro-arcs entre le fil et ses attaches en cas de desserrage ou de corrosion de ces dernières.

3.2 *Méthodes de détection et de localisation des mauvais contacts*

Lorsque les perturbations radioélectriques sont provoquées par de mauvais contacts, le problème est moins de mesurer leur intensité, que de détecter et de localiser exactement la source perturbatrice. Cet article décrit des méthodes pratiques de détection et de localisation des mauvais contacts. Les observations et les mesures sont normalement effectuées par temps sec.

Du fait que les lignes à haute tension et les équipements associés émettent souvent des rayonnements radioélectriques différents, il faut commencer la recherche du bruit au niveau du récepteur perturbé. La première étape de la recherche consiste à obtenir une indication auditive et/ou visuelle du bruit au moyen d'un haut-parleur ou d'un casque et d'un oscilloscope ou d'un récepteur de télévision.

e) Metal weights for insulator strings with inadequate mechanical loading

In order to ensure good contact between the caps and pins of adjacent insulator units, the strings should be loaded with metal weights which are well-rounded to prevent corona discharges.

f) Spring and plastic washers

If a wooden construction is used there is some merit in using spring or plastic washers. The spring washers are capable of preventing loose hardware on poles and cross-arms due to wood shrinkage. A plastic washer of acetate or nylon also improves tightness of the nuts. Where these "shakeproof"-type nuts or plastic washers are used, care should be taken to ensure that there are no insulating gaps between metallic parts. Such a washer is generally used only between a nut and a wood pole or arm.

g) Single insulator

The use of a single insulator has the advantage of having fewer possible radio noise sources.

h) Pin-type insulators with conducting glaze

With pin-type insulators, sparking may occur on the surface where the conductor rests in the top groove and at the tie-wire or stirrups in the side groove of the insulator. This problem may be overcome by using conductive paints or metallization of the insulator surface in the area of contact. These metallizing agents are effective only if applied together with the glaze during manufacture of the insulator. In the case of pin-type insulators, if the pin screws directly into a threaded hole in the porcelain, the porcelain threads should be treated with conductive paint. As an alternative, a threaded metal insert can be cemented into the pin-hole; although the best solution is to purchase insulators with the pin-hole glazed during manufacture.

If a PVC insulated conductor is used, there is a possibility of local discharges occurring at the supporting insulators. These discharges can be avoided by wrapping the PVC with semi-conducting tape. For an 11 kV line, the tape should extend for 600 mm on either side of the insulator.

i) Plastic fasteners and insulated staples

The use of plastic fasteners or insulated staples to secure the earth wire to a wood pole will avoid sparking between the earth wire and its fasteners, particularly if the fasteners became loose or corrosion is present.

3.2 *Methods of detecting and locating bad contacts*

When bad contacts are present in a power line or substation, the detection and exact location of the radio noise source(s) are more important than the measurement of the resulting field strength. Practical methods for the detection and location of these bad contacts are described below. Measurements and observations should normally be made in dry weather.

Since a high voltage power line and associated equipment is often the source of different radio frequency fields, it is necessary to trace the radio noise by starting at the disturbed receiver. The first step in the investigation is to obtain an aural and/or visual indication of the radio noise, by using a loudspeaker or headphones and an oscilloscope or television receiver.

Pour localiser les perturbations causées par les mauvais contacts, il est avantageux d'utiliser la plus haute fréquence perceptible car l'affaiblissement le long d'une ligne est plus rapide. Bien qu'il soit préférable d'utiliser un matériel capable de couvrir toute la plage des fréquences de bruit radioélectrique, peu d'instruments sont capables de le faire. Peu d'instruments ont été spécialement conçus pour la localisation des sources perturbatrices et l'on est généralement contraint de modifier des appareils du commerce.

Les appareils suivants seront utiles pour la localisation des mauvais contacts:

- a) Un récepteur à plage de fréquence générale (modulation d'amplitude) accordable entre 500 kHz et 18 MHz au moins.
- b) Un mesureur de champ VHF équipé d'une antenne à large bande à deux éléments et d'un préamplificateur VHF. La sortie son doit être amplifiée pour alimenter un haut-parleur et un oscilloscope.
- c) Un oscilloscope suffisamment lumineux pour pouvoir être utilisé en plein jour et ayant une fréquence de balayage d'environ 500 Hz.
- d) Un mesureur de champ UHF avec deux antennes Yagi interchangeables, l'une pour 500 MHz, l'autre pour 800 MHz. Une sortie son est nécessaire pour alimenter un haut-parleur. Une préamplification HF est nécessaire et un réglage du gain FI préférable. L'ensemble doit pouvoir être porté par un seul homme.
- e) Un petit détecteur de fréquences radioélectriques à large bande (P.O. à VHF) sans réglage automatique de volume.
- f) Un petit récepteur d'émissions radiophoniques en modulation d'amplitude sans réglage de volume manuel ou automatique, monté dans une boîte métallique. Pour modifier la sensibilité HF (c'est-à-dire pour ajuster le gain), on utilisera une antenne télescopique ou, mieux, un récepteur équipé d'une antenne à ferrite, en découpant dans la boîte métallique une ouverture allongée parallèle et sensiblement de même longueur que le barreau. La boîte est fixée à l'extrémité d'une perche isolante tubulaire de quelques mètres et d'un diamètre de 3 cm à 6 cm. Le haut-parleur du récepteur doit être dirigé vers l'intérieur de la perche à l'autre extrémité de laquelle est monté un microphone destiné à capter le signal sonore. Le microphone est relié à un amplificateur dont la sortie alimente un casque ou un haut-parleur. Cet appareil permet d'amener le récepteur à proximité de la source perturbatrice et, avec certaines précautions, il peut même être utilisé sur du matériel haute tension en service.
Les propriétés isolantes et la longueur de la perche doivent être en accord avec des règles de sécurité applicables pour la tension de la ligne.
- g) Un détecteur d'ultrasons sensible à réflecteur parabolique. Dans le cas où les sources perturbatrices sont nombreuses et relativement proches (par exemple dans un poste), cet instrument peut se révéler très utile, mais son emploi est limité au temps sec. Il faut avoir présent à l'esprit que cet instrument est également sensible aux sources de perturbations dues à l'effet couronne.

Il est suggéré de procéder comme suit pour localiser une ou plusieurs sources de perturbations engendrées par les mauvais contacts:

- i) Procéder à une identification auditive et/ou visuelle du signal de bruit au niveau du récepteur perturbé à l'aide du matériel d'analyse. Rechercher la plage de fréquence sur laquelle se manifeste le bruit en balayant rapidement le spectre radioélectrique.
- ii) S'il s'agit d'un bruit à large bande, utiliser la fréquence la plus haute possible pour la recherche. Si l'on constate, en se déplaçant le long de la ligne, que la perturbation peut être détectée à une fréquence de plus en plus haute, c'est qu'on s'approche de la source. Au voisinage immédiat de la source, le signal perturbateur affecte pratiquement toutes