

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

61000-5-2

Première édition
First edition
1997-11

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

**Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation –
Section 2: Mise à la terre et câblage**

Electromagnetic compatibility (EMC) –

**Part 5: Installation and mitigation guidelines –
Section 2: Earthing and cabling**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61000-5-2:1997

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant des amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Accès en ligne*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Accès en ligne)*

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

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 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from the 1st January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
On-line access*
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line access)*

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

* See web site address on title page.

**RAPPORT
TECHNIQUE – TYPE 3**

**CEI
IEC**

**TECHNICAL
REPORT – TYPE 3**

61000-5-2

Première édition
First edition
1997-11

Compatibilité électromagnétique (CEM) –

**Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation –
Section 2: Mise à la terre et câblage**

Electromagnetic compatibility (EMC) –

**Part 5: Installation and mitigation guidelines –
Section 2: Earthing and cabling**

© IEC 1997 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

3, rue de Varembeé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XB**

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	8
INTRODUCTION	12
Articles	
1 Domaine d'application	16
2 Documents de référence	16
3 Définitions.....	16
4 Considérations générales de CEM sur l'implantation des réseaux de terre et des câblages.....	22
4.1 Généralités.....	22
4.2 CEM et prescriptions de sécurité (isolement) de l'installation.....	24
4.3 Accès des matériels et installations	24
5 Mise à la terre et mise au même potentiel	24
5.1 Prescriptions concernant la sécurité	24
5.2 Prescriptions concernant la CEM	26
5.3 Conception du système de terre.....	28
6 Mise au même potentiel	40
6.1 Généralités.....	40
6.2 Conducteurs de mise au même potentiel	42
6.3 Connexions	44
6.4 Mise au même potentiel de matériels spécifiques.....	46
6.5 Procédures destinées aux utilisateurs.....	48
7 Câbles et fils.....	50
7.1 Généralités.....	50
7.2 Circuit de mode différentiel et de mode commun, impédance de transfert Z_t	52
7.3 Règles de CEM pour l'implantation des câbles et des fils	56
7.4 Types de câbles et leur utilisation dans le contexte de la CEM	60
7.5 Types de conducteurs de terre parallèles (PEC).....	62
7.6 Raccordement et mise à la terre des câbles et des conducteurs de terre parallèles	68
7.7 Topologie générale du câblage	70
7.8 Faisceaux de câbles.....	76
7.9 Câbles alimentant des accès de puissance	78
7.10 Câbles alimentant des accès de type signal ou contrôle	80
8 Autres méthodes d'atténuation des perturbations.....	86
8.1 Ferrite de mode commun.....	86
8.2 Séparation électrique.....	88
9 Méthodes de mesure et d'essai	92
9.1 Mise et à la terre et mise au même potentiel.....	92
9.2 Câbles et installation	94

CONTENTS

	Page
FOREWORD	9
INTRODUCTION	13
Clause	
1 Scope	17
2 Reference documents	17
3 Definitions.....	17
4 General EMC considerations on installation of earthing and cabling systems	23
4.1 General	23
4.2 EMC and safety (insulation) installation requirements.....	25
4.3 Equipment and installation ports	25
5 Earthing and bonding	25
5.1 Requirements concerning safety	25
5.2 Requirements concerning EMC.....	27
5.3 Design of the earthing system.....	29
6 Bonding	41
6.1 General	41
6.2 Bonding straps	43
6.3 Connections	45
6.4 Bonding of specific equipment	47
6.5 Procedures for users	49
7 Cables and wires	51
7.1 General	51
7.2 Differential and common mode circuit, transfer impedance Z_t	53
7.3 Set of EMC rules for cable and wire installation.....	57
7.4 Types of cables and their use with regard to EMC	61
7.5 Types of parallel-earthing conductor (PEC).....	63
7.6 Connecting and earthing of cables and parallel earthed conductors.....	69
7.7 General routing of cables.....	71
7.8 Cable bundles	77
7.9 Cables serving power ports.....	79
7.10 Cables serving signal and control ports.....	81
8 Additional interference mitigation methods	87
8.1 Common-mode ferrite choke.....	87
8.2 Electrical separation	89
9 Measuring and testing methods.....	93
9.1 Earthing and bonding.....	93
9.2 Cables and installation.....	95

Figures

1	Démonstration de l'erreur du concept "d'équipotentialité" considéré comme une règle générale	26
2	Schéma d'une prise de terre typique.....	30
3	Mauvaise conception de prises de terre "spécialisées", "indépendantes" ou "isolées" ..	30
4	Concept de prise de terre unique.....	32
5	Configuration recommandée pour les prises de terre et le réseau de terre	32
6	Boucles faisant intervenir des lignes de signaux et un réseau de terre	34
7	Schéma tridimensionnel de l'approche recommandée pour le réseau de terre.....	36
8	Principes généraux de connexion des parties conductrices de différents appareils ou systèmes au réseau de terre	38
9	Représentation simplifiée d'un conducteur de mise au même potentiel	40
10	Représentation plus réaliste d'un conducteur de mise au même potentiel	42
11	Conducteurs de mise au même potentiel typiques	44
12	Inductance relative de conducteurs plats et ronds.....	44
13	Inductance relative de connexions de mise au même potentiel rondes, plates et doubles.....	44
14	Exemple de mise au même potentiel constituant une connexion protégée amovible ...	46
15	Exemple de mise au même potentiel optimale d'un câble blindé	48
16	Schéma de bâtis interconnectés par des liaisons de terre et des lignes de signaux	48
17	Circuit de mode commun et circuit de mode différentiel	52
18	Effet de la configuration d'un conducteur de terre parallèle sur l'impédance de transfert	62
19	Fentes dans un conduit ou un chemin de câbles.....	64
20	Disposition recommandée des embranchements d'un chemin de câbles	66
21	Position recommandée pour les câbles, parallèlement à une poutre en H, du point de vue de la CEM	66
22	Traversée d'une paroi par un câble blindé	68
23	Chemin de câbles cloisonné	74
24	Exemple de superposition de conduits ou chemins de câbles	74
25	Topologie des circuits avec interrupteurs.....	80
26	Connexion à éviter pour le raccordement d'un câble coaxial	84
27	Utilisations typiques de ferrites de mode commun	86
28	Limites de l'efficacité d'un transformateur d'isolement	90
29	Couplage parasite en haute fréquence	92

Figures

1	Demonstration of the fallacy of the “equipotentiality” concept as a universal rule	27
2	Schematic plan view of a typical earth electrode	31
3	Misconception of “dedicated”, “independent”, or “isolated” earth electrodes	31
4	The concept of a single earth electrode	33
5	Recommended configuration for the earth electrodes and earthing network	33
6	Loops involving signal cables and earthing network	35
7	A three-dimensional schematic of the recommended approach for the earthing network	37
8	General principles for bonding of various apparatus or systems to the earthing network.....	39
9	Simplified representation of a bonding strap	41
10	A more realistic representation of an installed bonding strap.....	43
11	Typical bonding straps	45
12	Relative inductance of flat and round conductors	45
13	Relative inductance of round, flat and double bonding straps	45
14	Example of protected removable connection of a bonding strap	47
15	Example of optimal bonding of a shielded cable to the enclosure	49
16	Schematic of interconnected chassis.....	49
17	Differential mode and common mode circuits with bonding strips and signal cables ...	53
18	Effect of the configuration of a parallel earthing conductor on the transfer impedance.....	63
19	Slits in conduits and cable trays	65
20	Recommended configuration for cable trays with branches	67
21	Recommended cable positions parallel to an H-shaped beam from the EMC point of view	67
22	Penetration of a shielded cable through an enclosure wall	69
23	Tray with partition.....	75
24	Example of stacking for conduits or trays	75
25	Topology of circuits containing switches	81
26	Undesirable connection of a coaxial cable	85
27	Typical implementations of common-mode ferrite chokes	87
28	Limitations in the effectiveness of an isolation transformer	91
29	Parasitic coupling at high frequencies.....	93

Annexes

A – Exemples de systèmes de terre et d'implantation des câbles	96
B – Application de la théorie des câbles en vue d'améliorer la CEM	108
C – Avantages procurés par des conducteurs supplémentaires placés parallèlement à un câble	124
D – Bibliographie	134

Figures en annexe

A.1 – Exemple de configuration d'un réseau de terre hybride	98
A.2 – Enceinte CEM servant à protéger des dispositifs électroniques sensibles	100
A.3 – Système de terre pour un entraînement à convertisseur et équipement électronique associé	102
A.4 – Système de terre d'un réseau électrique comprenant des dispositifs électroniques ..	102
A.5 – Disposition initiale des câbles d'alimentation et de commande	104
A.6 – Conception améliorée du raccordement des blindages	106
B.1 – Transmission asymétrique de signaux	108
B.2 – Comportement de Z'_t en fonction de la fréquence, pour les configurations de câbles coaxiaux	110
B.3 – Système de transmission asymétrique, mis à la terre à l'une de ses extrémités	112
B.4 – Système de transmission symétrique	112
B.5 – Circuits des courants dans un câble coaxial	114
B.6 – Tension de mode différentiel induite par un champ magnétique dans un câble coaxial à écran tressé	116
B.7 – Courants dans le conducteur externe d'un câble coaxial	118
B.8 – Câble bifilaire perturbé par un fil voisin, à la tension U_{ext}	122
C.1 – Câbles coaxiaux avec conducteurs de terre parallèles	124
C.2 – Câble coaxial avec deux conducteurs externes	126
C.3 – Impédances de transfert dans une paire blindée équilibrée	128
C.4 – Exemple de la variation de l'impédance de transfert en fonction de la fréquence	130
C.5 – Inductance mutuelle et champ magnétique pour un conduit ou chemin de câbles	130
C.6 – Couverts isolés placés sur un conduit	132

Annexes

A – Examples of earthing systems and cable implementation	97
B – Applying cable theory to enhance EMC	109
C – Benefits of additional conductors parallel to a cable	125
D – Bibliography	135

Annex figures

A.1 – Example of topology for a hybrid earthing system.....	99
A.2 – EMC cabinet for the protection of sensitive electronics.....	101
A.3 – Earthing system for a drive with converter and associated electronics	103
A.4 – Earthing configuration for a power supply system with associated electronics	103
A.5 – Initial arrangement of the power and control cables.....	105
A.6 – Improved design with appropriate shield connections	107
B.1 – Unbalanced transport of signals.....	109
B.2 – Behaviour of Z'_l as function of frequency for several coaxial cable configurations ...	111
B.3 – Unbalanced transmission system connected to earth at one end	113
B.4 – Balanced transmission system	113
B.5 – Current paths in a coaxial cable	115
B.6 – Differential-mode voltage induced by a magnetic field in a cable with braided shield	117
B.7 – Currents in the outer conductor of a coaxial cable	119
B.8 – A two-lead cable perturbed by a nearby lead at the voltage U_{ext}	123
C.1 – Coaxial cables with parallel earthing conductors	125
C.2 – A coaxial cable with two outer conductors	127
C.3 – Transfer impedances in a shielded balanced pair	129
C.4 – Example of transfer impedance for an aluminum conduit as a function of frequency	131
C.5 – Mutual inductance and magnetic field for a conduit or cable tray	131
C.6 – Insulated covers over a conduit	133

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation – Section 2: Mise à la terre et câblage

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes Internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques, représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes Internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques des types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques du type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 5: Installation and mitigation guidelines –
Section 2: Earthing and cabling**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

La CEI 61000-5-2, rapport technique de type 3, a été établie par le sous-comité 77B: Phénomènes haute fréquence, du comité d'études 77 de la CEI: Compatibilité électro-magnétique.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet de comité	Rapport de vote
77B/168/CDV	77B/183/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport technique.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 61000-5-2:1997

IEC 61000-5-2, which is a technical report of type 3, has been prepared by subcommittee 77B: High frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

The text of this technical report is based on the following documents:

Committee draft	Report on voting
77B/168/CDV	77B/183/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical report can be found in the report on voting indicated in the above table.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 61000-5-2:1997

INTRODUCTION

La CEI 61000-5 fait partie de la série des normes 61000 de la CEI, selon la répartition suivante:

- Partie 1: Généralités
 - Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)
 - Définitions, terminologies
- Partie 2: Environnement
 - Description de l'environnement
 - Classification de l'environnement
 - Niveaux de compatibilité
- Partie 3: Limites
 - Limites d'émission
 - Limite d'immunité (dans la mesure où elles ne relèvent pas des comités de produits)
- Partie 4: Techniques d'essai et de mesure
 - Techniques de mesure
 - Techniques d'essai
- Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation
 - Guide d'installation
 - Méthodes et dispositifs d'installation
- Partie 6: Normes génériques
- Partie 9: Divers

Chaque partie est à son tour subdivisée en sections qui seront publiées soit comme normes internationales, soit comme rapports techniques.

Ces sections de la CEI 61000-5 seront publiées chronologiquement et numérotées en conséquence.

Les recommandations présentées dans le présent rapport technique portent sur les aspects de l'installation liés à la CEM, et non sur la sécurité de cette installation ou sur l'efficacité du transport de l'électricité au sein de cette installation. Ces deux objectifs essentiels sont néanmoins pris en considération dans les recommandations concernant la CEM. Ils peuvent être atteints parallèlement aux objectifs d'amélioration de la CEM d'appareils ou de systèmes sensibles, sans entraîner de conflit. Pour cela, il s'agit d'appliquer les pratiques recommandées dans le présent rapport technique, d'une part, et les prescriptions de sécurité appropriées, celles figurant dans la CEI 60364, par exemple, d'autre part. Chaque installation étant unique, c'est au concepteur qu'il incombe de choisir les recommandations les mieux appropriées à une installation particulière, et de s'assurer de la mise en oeuvre de ces recommandations par l'installateur.

INTRODUCTION

IEC 61000-5 is part of the IEC 61000 series, according to the following structure:

- Part 1: General
 - General considerations (introduction, fundamental principles)
 - Definitions, terminology
- Part 2: Environment
 - Description of the environment
 - Classification of the environment
 - Compatibility levels
- Part 3: Limits
 - Emission limits
 - Immunity limits (insofar as they do not fall under the responsibility of the product committees)
- Part 4: Testing and measurement techniques
 - Measurement techniques
 - Testing techniques
- Part 5: Installation and mitigation guidelines
 - Installation guidelines
 - Mitigation methods and devices
- Part 6: Generic standards
- Part 9: Miscellaneous

Each part is further subdivided into sections which are published either as international standards or as technical reports.

These sections of IEC 61000-5 will be published in chronological order and numbered accordingly.

The recommendations presented in this technical report address the EMC concerns of the installation, not the safety aspects of the installation nor the efficient transportation of power within the installation. Nevertheless, these two prime objectives are taken into consideration in the recommendations concerning EMC. These two primary objectives can be implemented concurrently for enhanced EMC of the installed sensitive apparatus or systems without conflict by applying the recommended practices presented in this technical report and the relevant safety requirements such as those of IEC 60364. As each installation is unique, it is the responsibility of the designer to select the relevant recommendations most appropriate to a particular installation, with corresponding implementation by the installer.

Il importe de noter que les recommandations présentées dans le présent rapport technique ne visent pas à interdire les pratiques d'installation existantes lorsque celles-ci ont fait leurs preuves. En effet, il n'est pas forcément nécessaire d'adopter des méthodes d'atténuation spéciales lorsque les équipements considérés respectent les normes d'émission et d'immunité appropriées. Plus particulièrement, certaines pratiques d'installation, telles que le "réseau en étoile" ou le "réseau de masse isolé", abordent certes la CEM de façon différente, mais s'avèrent satisfaisantes en relation à des installations spécifiques lorsqu'elles font l'objet d'une application correcte et du maintien de la topologie par des spécialistes compétents. L'approche recommandée dans le présent document est néanmoins plus généralement applicable à tous les types d'ouvrages, en particulier lorsque des signaux sont échangés entre différents appareils.

Les articles 1 à 3 présentent des informations générales communes aux documents de la série CEI 61000 sur la CEM.

L'article 4 constitue un aperçu général et une introduction à l'approche globale concernant l'application des concepts de la CEM à la conception des installations.

L'article 5 expose des recommandations relatives à la conception et à la mise en oeuvre des systèmes de terre, y compris la prise de terre et le réseau de terre.

L'article 6 présente des informations de base sur la conception et la réalisation de la liaison d'appareils ou de systèmes à la terre ou au réseau de terre.

L'article 7 contient des recommandations sur le choix et les pratiques d'implantation et de raccordement des câbles utilisés pour l'alimentation électrique basse tension en courant alternatif ou continu, pour les signaux d'entrée et de sortie desservant des installations de contrôle et de commande, ainsi que pour les signaux utilisés pour d'autres formes de communication à l'intérieur des bâtiments.

L'article 8 fournit des informations sur les techniques d'atténuation liées à ces recommandations.

L'article 9 présente des informations sur les méthodes de vérification et d'essai.

Les annexes informatives contiennent des informations sur les concepts de base, et notamment des sources bibliographiques d'où ont été tirées les recommandations du présent rapport technique.

It is important to note that the recommendations presented in this technical report do not seek to preclude existing installation practices, when they have been shown to perform satisfactorily. Special mitigation methods might not be necessary when the equipment satisfy applicable emissions and immunity standards. In particular, some installation practices such as a "Star Network" or "Isolated Bonding Network" for earthing are based on different approaches to EMC that have been found satisfactory for specific installations when correctly applied and the **topology maintained** by competent specialists. Nevertheless, the approach recommended here is more generally applicable to all types of facilities, especially when signals are exchanged between different apparatus.

Clauses 1-3 provide the usual general information of the IEC 61000 documents on EMC.

Clause 4 provides an overview and introduction of the general approach to applying EMC concepts in the design of installations.

Clause 5 provides recommendations on the design and implementation of the earthing system, including the earth electrode and the earthing network.

Clause 6 provides basic information on the design and implementation of bonding for apparatus or systems to earth or to the earthing network.

Clause 7 provides recommendations on the selection, erection, and connection practices for cables used for low-voltage a.c. and d.c. power supply, for input and output signals serving control and command, as well as those used for other communications within the premises.

Clause 8 provides information on related mitigation techniques.

Clause 9 provides information on verification and test methods.

Informative annexes provide information on the supporting concepts, including bibliographic citations, from which the recommendations of this technical report have been drawn.

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation – Section 2: Mise à la terre et câblage

1 Domaine d'application

Le présent rapport technique (type 3) présente des recommandations concernant la mise à la terre et le câblage des systèmes et installations électriques et électroniques, destinées à garantir la compatibilité électromagnétique (CEM) entre les appareils ou systèmes électriques et électroniques. Il porte plus particulièrement sur les pratiques de mise à la terre et sur les câbles utilisés dans des environnements industriels, commerciaux et résidentiels. Ce rapport technique est destiné à être utilisé par les installateurs et les utilisateurs et, dans une certaine mesure, par les fabricants d'installations et de systèmes électriques ou électroniques sensibles, ainsi que d'équipements présentant des niveaux élevés d'émission susceptibles de dégrader l'environnement électromagnétique (EM) en général. Il s'applique principalement aux installations nouvelles. Cependant, lorsque les conditions économiques le permettent, il peut également être appliqué en cas de travaux d'extension ou de modification d'ouvrages existants.

2 Documents de référence

CEI 60050(161):1990, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

CEI 60050(826):1982, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI) – Chapitre 826: Installations électriques des bâtiments*
Amendement 1: 1990
Amendement 2: 1995

CEI 61000-2-5: 1995, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2: Environnement – Section 5: Classification des environnements électromagnétiques. Publication fondamentale en CEM.*

CEI 61000-5-1:1996, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation – Section 1: Considérations générales. Publication fondamentale en CEM.*

CEI 61024-1:1990, *Protection des structures contre la foudre – Partie 1: Principes généraux*

ISO/CEI 11801:1995, *Technologies de l'information – Câblage générique des locaux d'utilisateurs*

Il convient de noter que d'autres documents sont énumérés dans la bibliographie reprise à l'annexe informative D. Cette bibliographie comprend d'autres documents utilisés lors de l'élaboration du présent rapport, ainsi que des documents cités à l'appui d'une recommandation et des documents suggérés comme source complémentaire d'information.

3 Définitions

Pour les besoins du présent rapport technique, les définitions de la CEI 60050(161) et de la CEI 60050(826) s'appliquent, ainsi que les définitions ci-dessous.

Une liste des abréviations est fournie à la fin de cet article.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 5: Installation and mitigation guidelines –

Section 2: Earthing and cabling

1 Scope

This technical report (type 3) covers guidelines for the earthing and cabling of electrical and electronic systems and installations aimed at ensuring electromagnetic compatibility (EMC) among electrical and electronic apparatus or systems. More particularly, it is concerned with earthing practices and with cables used in industrial, commercial, and residential installations. This technical report is intended for use by installers and users, and to some extent, manufacturers of sensitive electrical or electronic installations and systems, and equipment with high emission levels that could degrade the overall electromagnetic (EM) environment. It applies primarily to new installations, but where economically feasible, it may be applied to extensions or modifications to existing facilities.

2 Reference documents

IEC 60050(161):1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

IEC 60050(826):1982, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 826: Electrical installations of buildings*

Amendment 1: 1990

Amendment 2: 1995

IEC 61000-2-5:1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 5: Classification of electromagnetic environments – Basic EMC publication*

IEC 61000-5-1:1996, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 1: General considerations – Basic EMC publication*

IEC 61024-1:1990, *Protection of structures against lightning – Part 1: General principles*

ISO/IEC 11801:1995, *Information technology – Generic cabling for customer premises*

Note that other documents are listed in the Bibliography in informative annex D. This bibliographic listing includes documents that were used in developing the present report, documents cited in support of a recommendation, and documents suggested as further reading for complementary information.

3 Definitions

For the purposes of this technical report, the definitions given in IEC 60050(161) and IEC 60050(826) apply, as well as the definitions listed below.

A list of acronyms is provided at the end of this clause.

3.1

mise au même potentiel

action de relier ensemble des parties conductrices accessibles et les parties conductrices externes d'appareils, systèmes ou installations qui sont au même potentiel [nouveau, GT2]

NOTE – Pour des raisons de sécurité, une liaison équipotentielle implique généralement (mais pas nécessairement) une connexion à l'installation de mise à la terre la plus proche.

3.2

tension en mode commun

moyenne des phaseurs qui représentent les tensions entre chaque conducteur et une référence arbitraire, généralement la terre ou la masse [VEI 161-04-09]

3.3

conversion du mode commun

production d'une tension en mode différentiel en réponse à une tension en mode commun [VEI 161-04-10]

3.4

circuit de mode commun

ensemble de la boucle de courant ou du circuit fermé parcouru par le courant de mode commun; comprend le câble, l'appareil, et les parties adjacentes du réseau de terre [nouveau, GT2]

3.5

tension en mode différentiel

tension entre deux conducteurs donnés d'un ensemble de conducteurs [VEI 161-04-08]

3.6

circuit de mode différentiel

ensemble de la boucle de courant ou du circuit fermé destiné à conduire un signal ou de l'énergie; il comprend un câble et l'appareil qui y est relié aux deux extrémités [nouveau, GT2]

NOTE – Les termes "mode normal" et "mode série" sont parfois utilisés à la place du terme "mode différentiel".

3.7

niveau de perturbation (électromagnétique)

niveau d'une perturbation électromagnétique existant à un endroit donné et résultant de la contribution de toutes les autres sources de perturbation [VEI 161-03-29]

3.8

liaison équipotentielle

liaison électrique mettant au même potentiel, ou à des potentiels voisins, des masses et des éléments conducteurs [VEI 826-04-09]

3.9

terre

masse conductrice de la terre, dont le potentiel électrique en chaque point est pris, par convention, égal à zéro [VEI 826-04-01]

3.10

prise de terre

corps conducteur, ou ensemble de corps conducteurs en contact intime avec le sol et assurant une liaison électrique avec celui-ci [VEI 826-04-02]

3.1**bonding**

the act of connecting together exposed conductive parts and extraneous conductive parts of apparatus, systems, or installations that are at essentially the same potential [new WG2]

NOTE – For safety purposes, bonding generally involves (but not necessarily) a connection to the immediately adjacent earthing system.

3.2**common mode voltage**

the mean of the phasor voltages appearing between each conductor and a specified reference, usually earth or frame [IEV 161-04-09]

3.3**common mode conversion**

the process by which a differential mode voltage is produced in response to a common mode voltage [IEV 161-04-10]

3.4**common mode circuit**

the full current loop or closed circuit for the CM current, including the cable, the apparatus, and the nearby parts of the earthing system [new WG2]

3.5**differential mode voltage**

the voltage between any two of a specified set of active conductors [IEV 161-04-08]

3.6**differential mode circuit**

the full current loop or closed circuit for the intended signal or power, including a cable and the apparatus connected to it at both ends [new WG2]

NOTE – Instead of “differential mode”, the terms “normal mode” and “serial mode” are sometimes used.

3.7**(electromagnetic) disturbance level**

the level of an electromagnetic disturbance existing at a given location, which results from all contributing disturbance sources [IEV 161-03-29]

3.8**equipotential bonding**

electrical connection putting various exposed conductive parts and extraneous conductive parts at a substantially equal potential [IEV 826-04-09]

3.9**earth; ground (USA)**

the conductive mass of the earth, whose electric potential at any point is conventionally taken as equal to zero [IEV 826-04-01]

3.10**earth electrode**

a conductive part or a group of conductive parts in intimate contact with and providing an electrical connection with earth [IEV 826-04-02]

3.11

réseau de terre

ensemble des conducteurs du système de terre, non en contact avec le sol, connectant les appareils, systèmes ou installations à la prise de terre ou à d'autres moyens de mise à la terre [nouveau, GT2]

3.12

mise à la terre

action de relier des parties métalliques accessibles (masses) ou d'autres conducteurs d'appareils, systèmes ou installations à la prise de terre ou à l'installation de mise à la terre [nouveau, GT2]

3.13

système de terre

circuit électrique tridimensionnel qui réalise la mise à la terre [nouveau, GT2]

NOTE – Le système de terre comprend deux parties: la prise de terre et le réseau de terre.

3.14

prises de terre électriquement distinctes (prises de terre indépendantes)

prises de terre suffisamment éloignées les unes des autres pour que le courant maximal susceptible d'être écoulé par l'une d'entre elles ne modifie pas sensiblement le potentiel des autres [VEI 826-04-04]

3.15

niveau de compatibilité (électromagnétique)

niveau de perturbation électromagnétique utilisé comme niveau de référence pour assurer la coordination de l'établissement des limites d'émission et d'immunité [VEI 161-03-10]

3.16

ouvrage

quelque chose (comme un hôpital, une usine, une machine...) qui est construit, installé ou destiné à effectuer une fonction particulière ou à servir ou atteindre un but particulier [nouveau, GT2]

3.17

marge d'immunité

rapport de la limite d'immunité au niveau de compatibilité électromagnétique [VEI 161-03-16]

3.18

niveau d'immunité

niveau maximal d'une perturbation électromagnétique de forme donnée, agissant sur un dispositif, un appareil ou un système particulier d'une manière spécifiée, de manière à n'engendrer aucune dégradation du fonctionnement [VEI 161-03-14]

3.19

conducteur de terre parallèle (PEC)

conducteur généralement placé le long du câblage afin de constituer une connexion à faible impédance entre les systèmes de terres situés aux extrémités du câblage [nouveau, GT2]

3.20

accès

interface particulière de l'appareil spécifié avec l'environnement électromagnétique extérieur

3.11**earthing network**

conductors of the earthing system, not in contact with the soil, connecting apparatus, systems, or installations to the earth electrode or to other means of earthing [new WG2]

3.12**earthing**

the act of connecting exposed conductive parts of apparatus, systems or installations to the earth electrode or other elements of the earthing system [new WG2]

3.13**earthing system**

the three-dimensional electrical circuit which performs the earthing [new WG2]

NOTE – The earthing system includes two parts: the earth electrode and the earthing network.

3.14**electrically independent earth electrodes**

earth electrodes located at such a distance from one another that the maximum current likely to traverse one of them does not significantly affect the potential of the others [IEV 826-04-04]

3.15**(electromagnetic) compatibility level**

the specified electromagnetic disturbance level used as a reference level for co-ordination in the setting of emission and immunity limits [IEV 161-03-10]

3.16**facility**

something (as a hospital, factory, machinery...) that is built, constructed, installed or established to perform some particular function or to serve or facilitate some particular end [new WG2]

3.17**immunity margin**

the ratio of the immunity limit to the electromagnetic compatibility level [IEV 161-03-16]

3.18**immunity level**

the maximum level of a given electromagnetic disturbance, incident in a specified way on a particular device, equipment or system, at which no degradation of operation occurs [IEV 161-03-14]

3.19**parallel-earthing conductor (PEC)**

a conductor usually laid along the cable route to provide a low-impedance connection between the earthing arrangements at the ends of the cable route [new WG2]

3.20**port**

specific interface of the specified apparatus with the external electromagnetic environment

3.21**impédance linéique de transfert (d'une ligne coaxiale)**

quotient de la tension induite par unité de longueur, dans le conducteur central d'une ligne coaxiale, par le courant dans le conducteur extérieur [VEI 161-04-15]

3.22**impédance de transfert (Z_t)**

rapport de la tension couplée sur un circuit au courant apparaissant dans un autre circuit ou une autre partie du même circuit [nouveau, GT2]

NOTE 1 – Pour les besoins du présent rapport technique, les circuits distincts peuvent être des câbles séparés, mais proches, ou bien les mêmes câbles fonctionnant dans modes différents.

NOTE 2 – Le câble lui-même et l'appareil sont la source de différentes contributions localisées.

3.23**abréviations**

BF	basse fréquence	HF	haute fréquence
c.a.	courant alternatif	MI	mode intermédiaire
c.c.	courant continu	MC	mode commun
CEM	compatibilité électromagnétique	MD	mode différentiel
EM	électromagnétique	PEC	conducteur de terre parallèle
		TP	terre de protection

4 Considérations générales de CEM sur l'implantation des réseaux de terre et des câblages

4.1 Généralités

Il existe différents types de normes définissant des conditions de respect des prescriptions de compatibilité électromagnétique applicables aux produits électriques et électroniques, qui vont des normes fondamentales aux normes de produits spécifiques. Cependant, ces documents ne sont pas forcément suffisants ou appropriés lorsqu'il s'agit de la CEM appliquée aux installations sensibles. Il importe donc d'établir des recommandations d'installations adaptées au plus grand nombre possible de situations. On peut éventuellement se passer de méthodes d'atténuation lorsque l'équipement concerné possède lui-même un ou des niveaux d'immunité suffisants.

En ce qui concerne la CEM, trois grands ensembles peuvent être pris en considération:

- les sources: sources des perturbations, influencées par la conception de l'appareil;
- les vecteurs de couplage: influencés par les pratiques d'installation;
- les récepteurs: victimes potentielles, influencées par la conception de l'appareil.

Selon les besoins, il convient de mettre en oeuvre trois types de mesures pour garantir la CEM:

- au niveau de la source des perturbations: réduction des émissions;
- au niveau du couplage: réduction du couplage;
- au niveau du récepteur: amélioration de l'immunité.

Le présent rapport technique porte principalement sur l'atténuation qui peut être obtenue par la réduction du couplage grâce à des pratiques appropriées quant à la réalisation du système de terre et de la mise à la terre, ainsi que par le choix et l'installation des différents câbles utilisés dans les ouvrages envisagés.

3.21**surface transfer impedance (of a coaxial line)**

the quotient of the voltage induced in the centre conductor of a coaxial line per unit length by the current on the external surface of the coaxial line [IEV 161-04-15]

3.22**transfer impedance (Z_t)**

the ratio of the voltage coupled into one circuit to the current appearing in another circuit or another part of the same circuit [New WG2]

NOTE 1 – For the purposes of this technical report, the separate circuits may be physically separated but closely spaced cables, or the same cables operating in different modes.

NOTE 2 – Different localized contributions stem from the cable proper and from the apparatus.

3.23**acronyms**

a.c.	alternating current	HF	high frequency
CM	common mode	IM	intermediate mode
d.c.	direct current	LF	low frequency
DM	differential mode	PE	protective earth
EM	electromagnetic	PEC	parallel-earthing conductor
EMC	electromagnetic compatibility		

4 General EMC considerations on installation of earthing and cabling systems**4.1 General**

Different types of standards are available to define conditions for compliance with EMC requirements for electrical and electronic products, ranging from basic standards to dedicated product standards. However, these standards might not be sufficient, or appropriate, when EMC for sensitive installations is concerned. Therefore, installation guidelines are necessary to adapt to a maximum of situations. Mitigation methods might not be necessary when the equipment themselves have sufficiently high immunity levels.

Three main areas can be considered with regard to EMC:

- emitters: the source of the disturbances, influenced by the apparatus design;
- coupling paths: influenced by installation practices;
- susceptors: the potential victims, influenced by the apparatus design.

In order to assure EMC, three types of steps should be applied as necessary:

- at the source of disturbances: reduction of emissions;
- at the coupling: reduction of coupling;
- at the victim: increase of immunity.

This technical report addresses principally the mitigation achievable by reduction of the coupling through appropriate practices on the implementation of earthing and bonding, and the selection and installation of the various cables used in the facility.

4.2 CEM et prescriptions de sécurité (isolement) de l'installation

Il convient de noter que la protection relative à la CEM et les prescriptions d'isolement et de sécurité peuvent présenter des aspects communs: la mise à la terre et la protection contre les surtensions et les coups de foudre, par exemple. A cet égard, il importe de garder à l'esprit que les procédures de sécurité destinées à garantir la protection du personnel ont priorité sur les procédures de protection relevant de la CEM. Dans certains cas, on pourrait penser qu'il existe un conflit entre les procédures de sécurité et les procédures de CEM. ***La sécurité doit toujours l'emporter. Dans ces cas, il faut donc rechercher d'autres solutions pour la CEM.***

4.3 Accès des matériels et installations

Il peut être utile de se pencher sur le concept d'accès, présenté dans la CEI 61000-5-1, pour fournir une transition entre, d'une part, le concept général de couplage entre l'environnement et l'appareil et, d'autre part, les aspects spécifiques de la CEM. L'identification de ces accès permet de présenter des mesures de protection spécifiquement liées à la nature du phénomène EM, à son trajet de couplage et à son incidence sur les éléments fonctionnels de l'appareil (immunité) ou sur l'environnement (émissions).

Les documents de la CEI 61000-5 traitent en détail des pratiques d'installation et d'atténuation en tenant compte des accès et des phénomènes CEM qui les affectent. Dans le présent rapport technique, les articles 5 et 6 traitent de l'accès de mise à la terre, et l'article 7 des accès de puissance et de commande.

5 Mise à la terre et mise au même potentiel

5.1 Prescriptions concernant la sécurité

La fonction principale d'un réseau de terre consiste à assurer la sécurité du personnel et la protection des installations contre les sinistres. Deux phénomènes importants doivent être pris en considération: les coups de foudre et les défauts du réseau électrique. En effet, ils peuvent se traduire par la circulation de courants forts, susceptibles de générer des tensions dangereuses dans les structures des installations. Il importe de noter que ces deux phénomènes sont en général extérieurs à ces installations et que la terre (le sol) constitue la seule voie de retour de ces courants à leur source. Dans certains cas, ces courants peuvent également transiter par le conducteur de neutre.

L'amplitude des courants générés par les défauts du réseau électrique et les coups de foudre est comprise entre quelques ampères et quelques dizaines de milliers d'ampères. En ce qui concerne le spectre de fréquence, ces deux phénomènes produisent des signaux dont les fréquences sont comprises entre 50/60 Hz et quelques mégahertz.

Dans ces conditions, le réseau de terre doit constituer un chemin qui permette à ces courants d'atteindre le sol tout en maintenant à un niveau aussi bas que possible les différences de tension entre deux points donnés d'une installation (tension de toucher et tension de pas). Les réglementations nationales spécifient généralement des tensions maximales compatibles avec la sécurité du personnel et prévoient notamment des dispositions pour les pratiques concernant les conducteurs de terre de protection. Cependant, ces conducteurs ne peuvent en général pas satisfaire à eux seuls les exigences de CEM.

4.2 EMC and safety (insulation) installation requirements

Attention is drawn to the fact that EMC protection and insulation/safety requirements can have common aspects, such as earthing and protection against overvoltages and lightning. It is important to bear in mind that the safety aspects procedures for personnel protection take precedence over EMC protection procedures. In some cases, there might be an alleged conflict between safety-related procedures and EMC-related procedures. ***Safety must always prevail, so that in such cases alternate EMC-related measures must be sought.***

4.3 Equipment and installation ports

To provide a transition from the overall concept of coupling between environment and apparatus to the detailed specifics, it is useful to consider the concept of “ports”, as discussed in IEC 61000-5-1. By identifying such ports, protective steps can be specifically related to the nature of the EM phenomenon, its coupling path, and its impact on the functional elements of the apparatus (immunity) or its impact on the environment (emissions).

The IEC 61000-5 documents address in detail the mitigation and installation practices with consideration the ports and the associated EM phenomena. In the present technical report, clauses 5 and 6 deal with the earth port, and clause 7 deals with the power ports and the signal and control ports.

5 Earthing and bonding

5.1 Requirements concerning safety

The primary goal of an earthing system is to assure personnel safety and protection of installations against damage. Two important phenomena are lightning and power system faults. These can cause circulation of large currents, which might create hazardous voltages in installation structures. An important point to be noted is that these two phenomena are external to installations (as a general rule for the power system) and the earth (soil) is the only path for currents to return to the sources. In some countries the neutral conductor is also a path for these currents.

The amplitude of currents is comprised between a few amperes and tens of kiloamperes for power system faults and lightning. From the frequency spectrum viewpoint, these two phenomena produce signals whose frequencies are between 50/60 Hz to several megahertz.

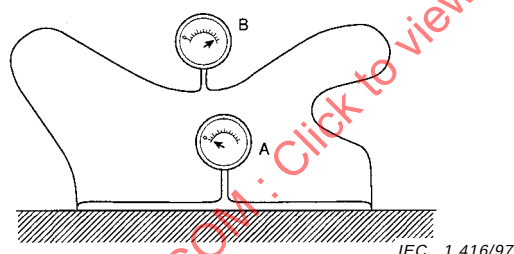
The task of the earthing system, in these conditions, is to be a path to the soil for currents, while maintaining voltage differences between any two points of an installation (touch and step voltages) as low as possible. Generally, national regulations specify maximum voltage values for personnel safety including provision for protective earth (PE) conductor practices. However, these PE conductors alone are generally not sufficient to fulfill the EMC requirements.

Par le passé, on définissait généralement le réseau de terre en fonction du courant de défaut du réseau (Kouteynikoff, 1980 [1]; Kuussaari, 1978 [2]; Lu, 1981 [3])¹. Cette situation a entraîné une conséquence fâcheuse: la résistance de ce circuit est devenue le critère usuel en la matière. Cette approche reste bien correcte pour les phénomènes de fréquence typique 50 Hz ou 60 Hz, mais elle ne convient pas aux phénomènes à haute fréquence, lorsque les phénomènes inductifs peuvent être prédominants dans le circuit. Aujourd'hui, il serait préférable de caractériser le système de terre par son impédance.

5.2 Prescriptions concernant la CEM

La seconde fonction d'un réseau de terre consiste, pour les installations comportant des systèmes électroniques et électriques sensibles et interconnectés, à servir de référence commune de tension et à contribuer à l'atténuation des perturbations.

Comme le montre la figure 1 (cas A), l'objectif attendu d'un système de terre, qui présente, quelle que soit la situation, une référence absolue de tension, ne peut être atteint qu'en théorie. Il arrive que l'on tente de décrire l'objectif idéal d'une différence de zéro volt entre deux points donnés au moyen du terme "équipotentiel". En fait, le concept de potentiel ne peut être appliqué qu'en électricité statique et en courant continu. En pratique, la tension entre deux points donnés est plus grande que zéro du fait de l'induction. Dans le cas B de la figure 1, le chemin parcouru par les fils du voltmètre ajoute ainsi une tension inductive à la tension proche de zéro du cas A. De même, les connexions reliant des équipements séparés par une certaine distance mais exigeant une référence commune, peuvent être acheminées comme dans le cas A ou comme dans le cas B. La tension parasite induite dans la boucle du cas B peut alors produire une différence de potentiel reflétant l'acheminement des câbles. Même lorsque la fréquence est de 50 Hz ou 60 Hz, cette situation se rencontre déjà dans les systèmes de terre. En théorie, la tension de référence ne pourrait se concevoir que mesurée sur un plan étendu, massif et bon conducteur. Cette condition ne serait en outre mesurable que si les fils du voltmètre étaient placés immédiatement sur ce plan de référence. Ce concept sera envisagé plus loin et appliqué à l'article 7.



NOTE – Dans le cas A, les fils du voltmètre sont maintenus à proximité du plan de référence et la différence de tension affichée par le voltmètre est faible. Dans le cas B, le long chemin parcouru par les fils du voltmètre permet l'induction d'une tension d'origine extérieure dans la boucle.

Figure 1 – Démonstration de l'erreur du concept "d'équipotentialité" considéré comme une règle générale, en particulier pour les hautes fréquences

Le système de terre contribue à l'atténuation des perturbations en ceci qu'il constitue, d'une part, le chemin de retour des courants entre une source de perturbations (voir la CEI 61000-2-5 pour une liste et une description des sources) et des appareils ou systèmes électroniques sensibles et, d'autre part, une référence de tension pour les dispositifs de protection (filtres, par exemple). En d'autres termes, les perturbations peuvent être décrites en termes de courants et ce, même en cas de champs rayonnés dans lesquels l'énergie électromagnétique est transformée en courant par les appareils ou systèmes sensibles qui fonctionnent comme des antennes.

En ce qui concerne la CEM, les appareils ou systèmes électroniques modernes sont sensibles à des courants et à des tensions inférieurs de plusieurs ordres de grandeur à ceux pris en considération pour la sécurité du personnel. Il convient de tenir compte de cette différence de point de vue, en particulier dans le cadre de technologies utilisant des signaux à bas niveau

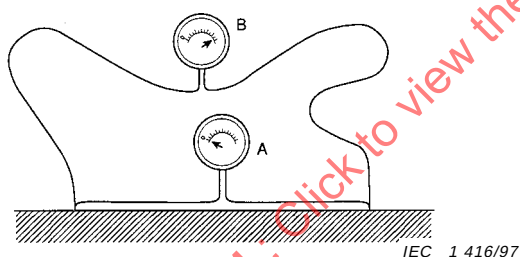
¹ Les chiffres entre crochets renvoient à l'annexe D – Bibliographie.

In the past, the power system fault current was generally used to define the earthing system (Kouteynikoff, 1980 [1]; Kuussaari, 1978 [2]; Lu, 1980 [3])¹. An unfortunate consequence of this situation is the fact that the resistance of this path became the usual criterion. This approach may still be correct for phenomena with a typical frequency of 50 Hz or 60 Hz but is certainly inappropriate for high-frequency aspects, where the inductive phenomena along the path may be predominant. Today, it would be better to characterize the earthing system by its impedance.

5.2 Requirements concerning EMC

The secondary goal of an earthing system is to serve as a common voltage reference and to contribute to the mitigation of disturbances in installations with sensitive and interconnected electronic and electrical systems.

The objective of an earthing system which presents, in all situations, an absolute voltage reference is obtainable only in theory, as shown in figure 1 (case A). Sometimes, an attempt is made to describe the ideal objective of zero volt voltage difference between any two points by the word "equipotential". However, the concept of potential is applicable to static electricity and d.c. only. In practice, induction makes the voltage between any two points greater than zero. In the case B of figure 1, the path followed by the voltmeter leads adds an inductive voltage to the near-zero voltage of case A. Likewise, interconnections between equipment, located some distance away from each other, and depending upon having a common reference, might be routed as in case A or as in case B. The extraneous voltage induced in the loop of case B can then produce a shift in the reference voltages which will depend on the actual routing. Even at 50 Hz or 60 Hz, this situation already exists in earthing systems. In theory, only a large, solid, well-conducting plane could be considered as a voltage reference. This condition would be measurable only if the voltmeter leads were run tightly against the reference plane. This concept will be discussed further and applied in clause 7.



NOTE – In case A, the voltmeter leads are maintained close to the reference plane, and the difference of voltage indicated by the voltmeter is low. In case B, the lengthy path of the voltmeter leads allows induction of an extraneous voltage in the loop.

Figure 1 – Demonstration of the fallacy of the "equipotentiality" concept as a universal rule, especially at high frequency

The earthing system contributes to the mitigation of disturbances by the fact it is the path for return currents, between a source of disturbances (see IEC 61000-2-5 for a list and description of sources) and sensitive electronic apparatus or systems and also a voltage reference for protective devices (filters, etc...). In other words, disturbances may be described in terms of currents, even in the case of radiated fields where the electromagnetic energy is transformed into current by the sensitive apparatus or systems which act as an antenna.

For the EMC aspects, modern electronic apparatus or systems are sensitive to currents and voltages many decades lower than those taken in consideration for personnel safety. This difference of point of view should be recognized, especially for technologies depending on low-level signals.

¹ Figures in square brackets refer to the bibliography given in annex D.

5.3 Conception du système de terre

Les prescriptions mentionnées en 5.1 et 5.2, à savoir la dérivation des courants de défaut à la fréquence industrielle et des courants à haute fréquence, d'une part, et la réduction de la différence de tension entre deux points de l'installation, d'autre part, valent aussi bien pour:

- les coups de foudre;
- la sécurité du personnel;
- la protection de l'installation;
- la CEM.

Chacun de ces quatre domaines à considérer fait peser des contraintes sur la conception:

- les coups de foudre et la sécurité du personnel jouent sur la conception de la prise de terre;
- la sécurité du personnel et la protection de l'installation dictent les dimensions des conducteurs de mise à la terre;
- les exigences en matière de CEM déterminent la topologie du réseau de terre.

5.3.1 Prise de terre

La première étape de la conception de la prise de terre consiste à connaître la résistivité du sol. Celle-ci dépend notamment de la nature et de l'homogénéité du sol, des conditions climatiques, etc. La résistivité du sol varie très fortement en fonction de la nature du sol: de quelques ohm·mètres à 10 000 $\Omega\cdot m$. Pour plus de détails, voir la bibliographie (annexe D).

Il convient d'adapter la géométrie de la prise de terre à l'importance de l'installation. Une prise de terre de faible importance (un câble ou un piquet, par exemple) ne peut être utilisée que dans le cas d'installations de très petite taille: un local, un appareil ou un système séparé, par exemple.

En général, la meilleure solution concernant la prise de terre des bâtiments ou des usines est constituée par un réseau maillé enterré dans les fondations et autour du bâtiment ou de l'usine en question. Dans les bâtiments anciens, pour lesquels cet objectif est difficile à atteindre, il faudra recourir à d'autres mesures et prêter une plus grande attention aux impératifs de CEM. Il convient toutefois de noter que la présente recommandation n'a pas pour objet de remettre en cause les pratiques d'installation existantes lorsque celles-ci ont apporté la preuve de leur efficacité.

Le réseau maillé de la prise de terre est souvent complété par des câbles radiaux et/ou des piquets de terre placés aux points de connexion des câbles provenant de paratonnerres, d'appareils ou de systèmes sous haute tension et d'appareils ou de systèmes présentant d'importants courants de défaut qui doivent retourner à leur source via le système de terre.

En règle générale, il convient de placer la prise de terre dans le sol naturel, et si possible dans de la terre humide et non pas dans des matériaux de remblayage. La figure 2 donne un exemple du schéma de principe d'une prise de terre pour un environnement industriel.

Certains aspects pratiques sont importants dans la mesure où ils influencent la qualité de la prise de terre au cours du temps:

- Il est préférable d'utiliser des conducteurs pleins dans la mesure où ceux-ci sont moins sujets à la corrosion que les conducteurs toronnés.
- Pour la même raison (corrosion), les connexions entre les conducteurs sont soudées et non pas faites par des pinces mécaniques. Certains bâtiments possèdent une prise de terre noyée dans du béton. Cette électrode est logée à l'intérieur – et dans la partie inférieure – d'un élément de fondation placé en contact direct avec le sol. Cette solution, qui convient aux usages résidentiels et aux immeubles de bureaux, ne satisfait pas forcément à elle seule aux exigences applicables aux bâtiments industriels.

5.3 Design of the earthing system

The requirements described in 5.1 and 5.2, that is, shunting of unwanted power-frequency and high-frequency currents, and lowering the voltage difference between two points of the system, are the same for:

- lightning;
- personnel safety;
- installation protection;
- EMC.

Each one of these considerations places constraints on the design:

- lightning and personnel safety dictate the design of the earth electrode;
- safety and installation protection dictate the size for the earthing conductors;
- the EMC behaviour requirements determine the layout of the earthing network.

5.3.1 Earth electrode

For the earth electrode design, the first step should be the knowledge of the resistivity of the soil. This resistivity is a function of nature and homogeneity of soil, climatic conditions etc. Soil resistivity values versus nature of soil vary on a large scale, from a few ohm·meters to 10 000 $\Omega\cdot\text{m}$. For more details see the documents listed in the bibliography (annex D).

The earth electrode geometry should be adapted to the importance of the installation. A limited earth electrode (such as a cable or rod) may be used only in the case of very small installations such as a room or stand-alone apparatus or system.

In general, for buildings or plants, the best solution for the electrode is a meshed network buried under and around the building or the plant. In old buildings where these objectives may be difficult to attain, other measures and more careful attention to EMC concerns will be necessary. It is important to note that this recommendation does not seek to preclude existing installation practices, when they have shown to perform satisfactorily.

The meshed network of the earth electrode is often complemented by radial cables and/or earth rods at connection points of cables coming from lightning rods, high-voltage apparatus or systems, and apparatus or systems with large fault currents returning through the earthing system.

The earth electrode as a general rule should be set in natural soil, not in backfill materials and, if possible, in damp earth. Figure 2 gives an example of an earth electrode principle diagram for a plant.

Some practical points are important because they influence the long-term electrode quality.

- Solid conductors are preferably used because they are less subject to corrosion than stranded conductors.
- For the same reason (corrosion), connections between conductors are welded and not implemented by mechanical clamping. Some buildings have a concrete-encased earth electrode. This electrode is located within, and near the bottom of a concrete foundation that is in direct contact with the soil. This solution, correct for residential or office buildings, might not, on its own, have the performances required for industrial buildings.

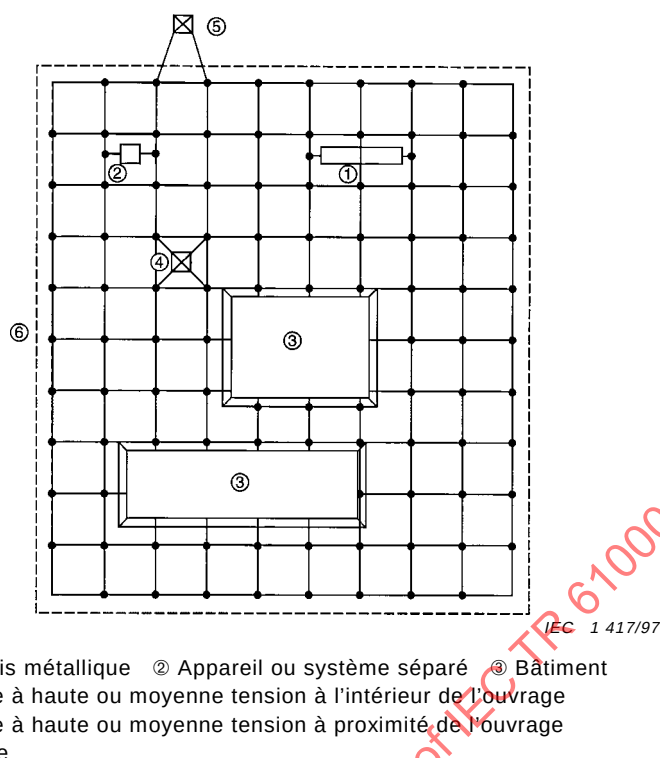
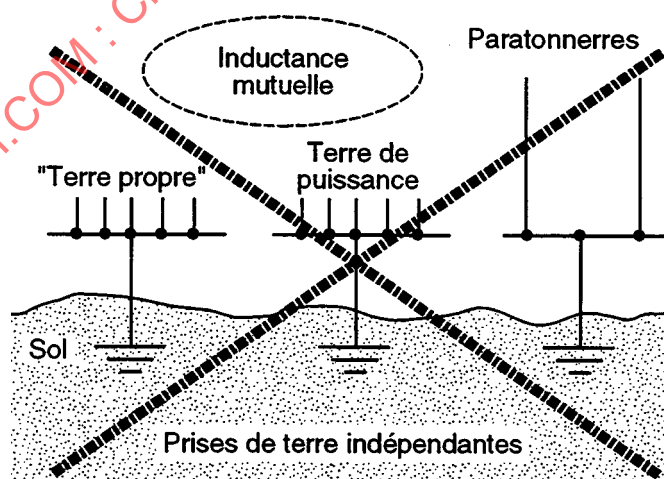


Figure 2 – Schéma d'une prise de terre typique

L'utilisation de prises de terre indépendantes et "isolées" (voir la définition de ce terme en 3.14) destinées aux systèmes informatiques ou électroniques (figure 3) n'est pas recommandée (et peut être interdite dans certains pays). En effet il existe toujours dans l'installation des liaisons électriques, par le sol ou par des éléments parasites (capacités et inductances mutuelles). En cas de coup de foudre ou de défaut sur le réseau d'énergie, des tensions transitoires dangereuses (pour la sécurité du personnel comme pour la CEM) peuvent alors se manifester entre ce système de terre isolé et d'autres parties de l'installation.



NOTE – Dans une tentative d'obtenir un réseau de terre "propre" destiné à servir, par exemple, de référence pour des signaux, les prises de terre n'ont pas été reliées. Cette approche ne satisfait pas aux exigences de la CEM et constitue un risque pour la sécurité. De fait, les codes réglementaires de certains pays interdisent cette configuration.

Figure 3 – Mauvaise conception de prises de terre "spécialisées", "indépendantes" ou "isolées"

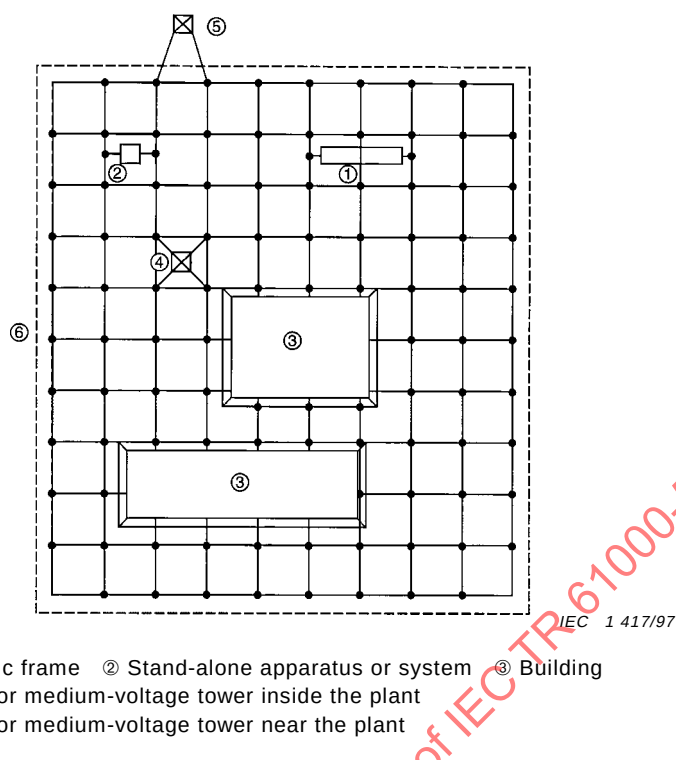
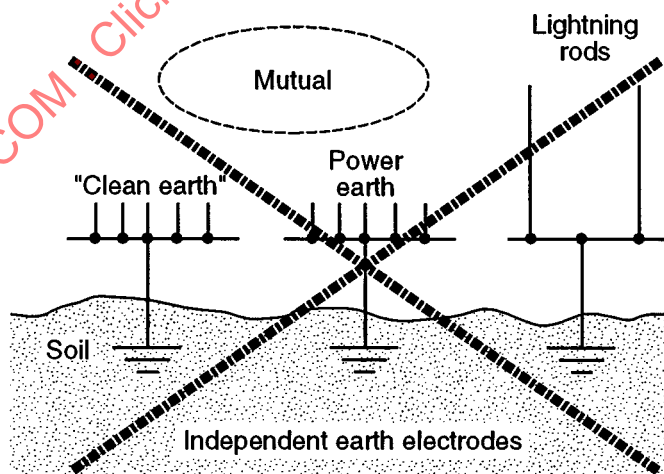


Figure 2 – Schematic plan view of a typical earth electrode

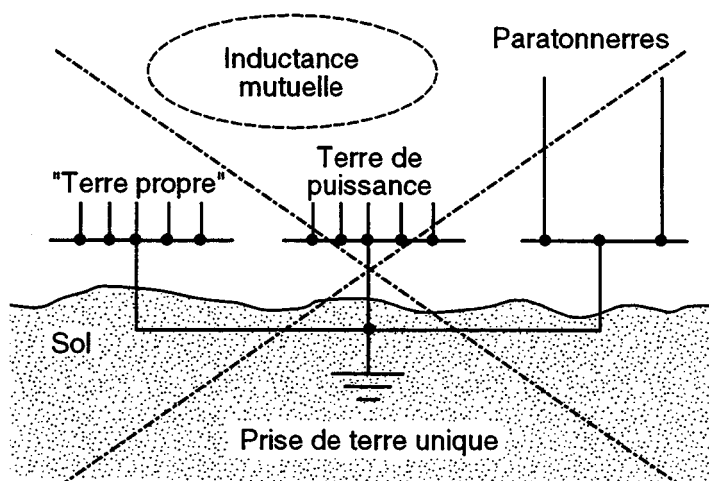
The use of independent, "isolated" (see definition in 3.14) earth electrodes for computer or electronic systems (figure 3) is not recommended (and may be forbidden in some countries). There are always links by the soil or by parasitic elements (capacitances and mutual inductances) in the installation. In case of lightning or power system fault, dangerous transient voltages (for personnel safety and for EMC) can occur between this isolated earthing system and other parts of the installation.



IEC 1 418/97

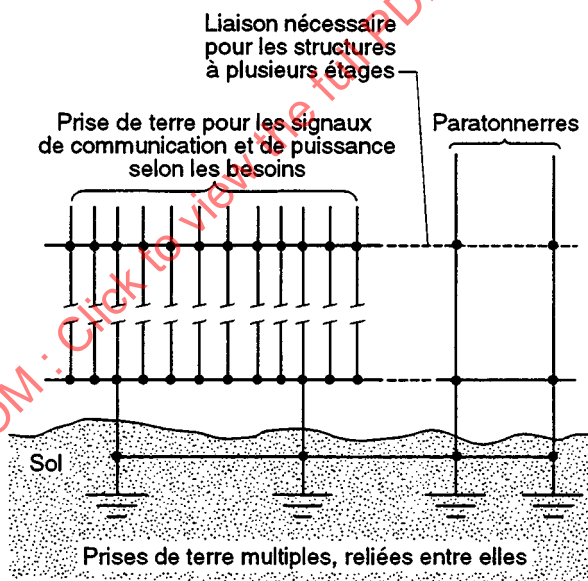
NOTE – In an attempt to obtain a "clean" earthing network, for example to be used as a reference for signals, the earth electrodes have not been bonded. This approach is not suitable for EMC, and is a safety hazard; in fact, regulatory codes prohibit this practice in some countries.

Figure 3 – Misconception of "dedicated", "independent", or "isolated" earth electrodes



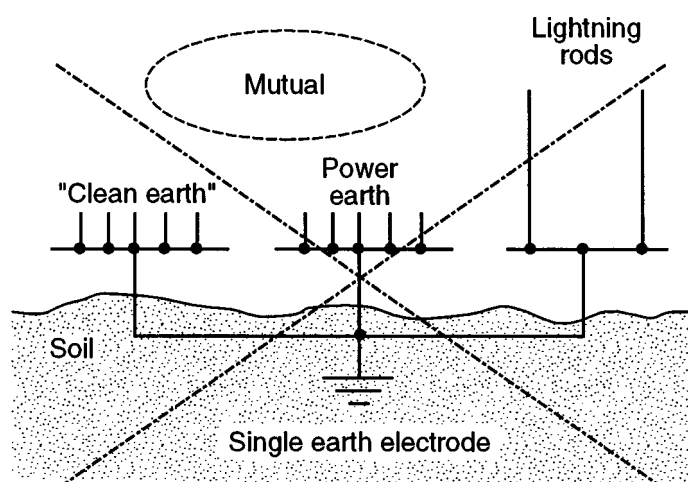
NOTE – Dans une tentative d'obtenir un réseau de terre "propre" ou "électronique" destiné à servir, par exemple, de référence pour les signaux, le réseau de terre est séparé en un réseau de terre de signaux et un réseau de terre de puissance. Cette approche peut s'avérer satisfaisante, sous réserve d'une mise en oeuvre appropriée et du **maintien de cette topologie**. Cependant, sa généralisation n'est pas recommandée. Si elle est satisfaisante du point de vue de la sécurité (B la fréquence industrielle), elle ne l'est généralement pas du point de vue de la CEM à haute fréquence.

Figure 4 – Concept de prise de terre unique



NOTE – Cette représentation conceptuelle bidimensionnelle, de format similaire à celui des figures 3 et 4, constitue en réalité un réseau tridimensionnel, comme le montre la figure 7. Cette approche est celle recommandée dans le cas général pour assurer la sécurité comme la CEM. Toutefois, comme mentionné dans le cas de la figure 4, elle n'exclut pas le recours à d'autres configurations particulières ayant fait leurs preuves et dont la topologie est respectée.

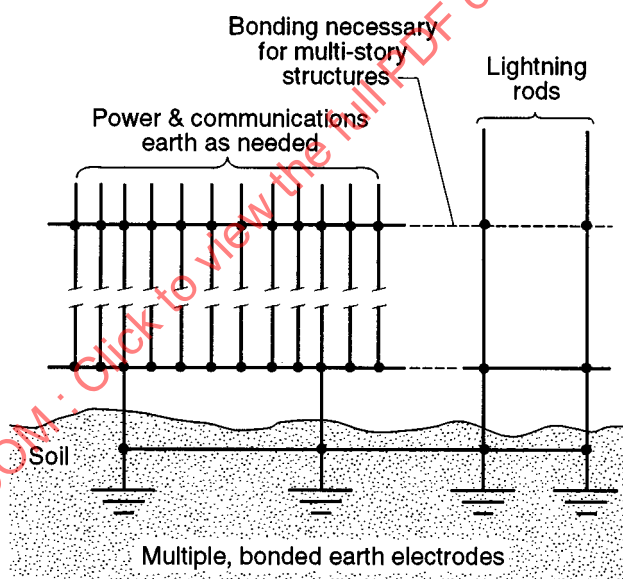
Figure 5 – Configuration recommandée pour les prises de terre et le réseau de terre



IEC 1 419/97

NOTE – In an attempt to obtain a so-called "clean" or "instrument" earthing network, for example to be used as a reference for signals, the earthing network is separated into a signal and a power earthing network. When properly installed **and the topology maintained**, this approach has been found satisfactory, but it is not recommended for general use. It is suitable for safety (at power frequencies); it is generally not suitable for high-frequency EMC concerns.

Figure 4 – The concept of a single earth electrode



IEC 1 420/97

NOTE – This two-dimensional conceptual representation, similar in format to figures 3 and 4, is actually a three-dimensional network, as shown in figure 7. It is the recommended approach in the general case, for safety as well as for EMC. As noted for figure 4, this recommendation does not exclude other, well-demonstrated and well-maintained special configurations.

Figure 5 – Recommended configuration for the earth electrodes and earthing network

5.3.2 Réseau de terre

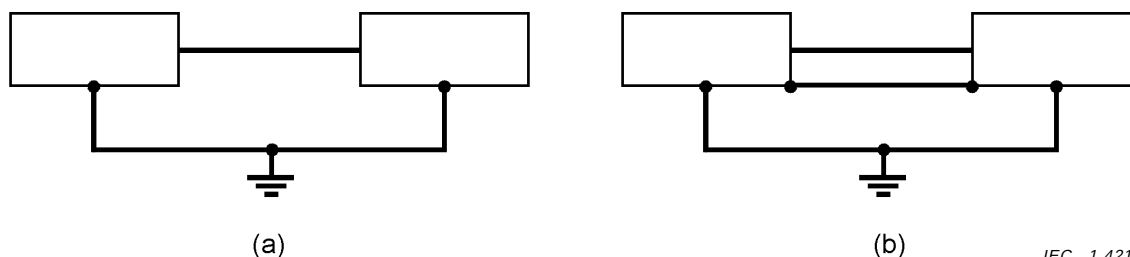
En règle générale, le réseau de terre conçu et réalisé par le constructeur du bâtiment doit avoir une impédance aussi faible que possible, de façon à pouvoir détourner les courants de défaut ainsi que les courants à haute fréquence des appareils ou systèmes électroniques. Différentes configurations de réseaux de terre sont susceptibles de donner satisfaction à leurs utilisateurs. Néanmoins, pour être pleinement efficaces, certaines de ces configurations supposent que des conditions spécifiques soient satisfaites. Ainsi, une grande administration ou grande entreprise disposant des structures adéquates peut concevoir et gérer tous les aspects d'un système de terre: des mesures de la résistivité du sol au contrôle final. Plus particulièrement, certaines pratiques de mise à la terre, telles que le "réseau en étoile" ou le "réseau de masse isolé", abordent certes la CEM de façon différente, mais s'avèrent satisfaisantes sur des installations spécifiques **lorsqu'elles font l'objet d'une application correcte et du maintien de la topologie, assurés par des spécialistes compétents.**

Néanmoins, ces conditions particulières ne sont généralement pas remplies par l'utilisateur type d'une installation. Les conseils donnés dans le présent rapport technique sont donc destinés à cet utilisateur type, plutôt qu'aux organismes ayant mis en place des approches confirmées et réussies.

L'approche consistant à utiliser des prises de terre indépendantes et spécialisées (par exemple selon la définition de 3.14, illustrée par la figure 3) desservant chacune un réseau de terre distinct est une erreur de conception qui, non seulement, ne garantit pas la CEM, mais constitue en outre un grave risque pour la sécurité. Les codes de certains pays interdisent cette disposition. Par ailleurs, l'utilisation séparée d'un réseau de terre "propre" pour les signaux électroniques et d'un réseau de terre "sale" pour l'énergie électrique n'est pas non plus recommandée pour assurer la CEM et ce, même en recourant à une prise de terre unique (figure 4). Même s'il n'est pas accepté universellement, le paragraphe 3.1.2 b) de la CEI 61024-1 prescrit des mises au même potentiel "à des espacements verticaux non supérieurs à 20 m sur les structures de plus de 20 m de hauteur. Les barres de liaison doivent être reliées au ceinturage horizontal raccordant les descentes entre elles". La figure 5 représente une illustration schématique de cette disposition.

De fait, certaines des recommandations du présent rapport technique peuvent se révéler difficiles à réaliser dans un bâtiment ancien. Certaines améliorations peuvent néanmoins être apportées au réseau de masse. On peut, par exemple, utiliser un faux plancher avec un réseau de terre maillé placé en dessous, ou interconnecter tous les châssis des appareils échangeant des signaux (figure 6). Ces solutions peuvent être complétées par d'autres méthodes d'atténuation.

Une critique souvent adressée aux réseaux de terre maillés consiste à observer que cette configuration se traduit par la formation de boucles de terre, situation souvent considérée comme indésirable du fait de problèmes de bruit électrique. De fait, ces problèmes peuvent être limités par les méthodes décrites à l'article 7. En tout état de cause, l'idée selon laquelle il est nécessaire de séparer les réseaux de terre pour éviter les problèmes de bruit ne doit jamais conduire à adopter des pratiques dangereuses.



IEC 1 421/97

NOTE – La boucle figurée en (a) est formée au moyen du blindage de la ligne de signaux, ce qui n'est pas souhaitable. La boucle figurée en (b) entre les châssis atténue le rôle du blindage de la ligne de signaux.

Figure 6 – Boucles faisant intervenir des lignes de signaux et un réseau de terre

5.3.2 Earthing network

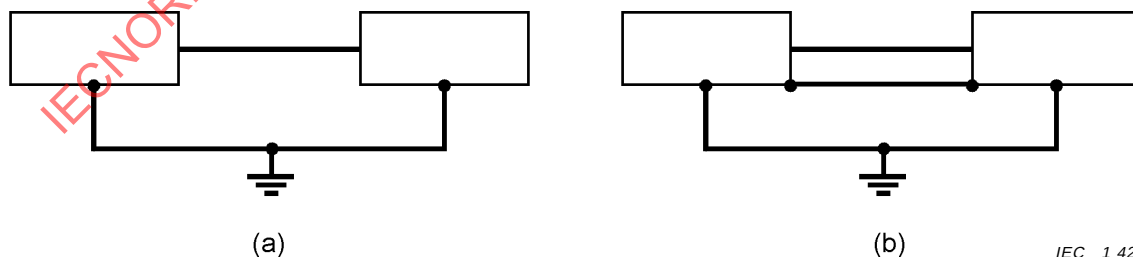
The earthing network is generally designed and implemented by the facility builder to have an impedance as low as possible in order to divert the power fault currents as well the HF currents without passing through the electronic apparatus or systems. Different earthing network layouts exist and may give satisfaction to their users. But some of these earthing network layouts require observing specific conditions to be effective. For example, a central administration or large organization with appropriate structures may design and maintain every aspect of an earthing system from soil resistivity measurement to the final control. In particular, some installation practices such as a "Star Network" or "Isolated Bonding Network" for earthing are based on different approaches to EMC that have been found satisfactory for specific installations **when correctly applied and the topology maintained by competent specialists.**

These specific conditions are generally not fulfilled by the typical user of an installation. Therefore, the guidance given in this technical report is intended for this typical user, rather than the organizations with established and successful approaches.

The concept of independent, dedicated earth electrodes (presumably in accordance with definition 3.14, illustrated by figure 3), each serving a separate earthing network, is a misconception that not only will not promote EMC, but is a serious safety hazard. In some countries, national codes prohibit such practice. The use of a separate "clean" electronic earthing network and a "dirty" power earthing network is not recommended to achieve EMC, even with the use of a single earth electrode (figure 4). Although not universally accepted, IEC 61024-1 subclause 3.1.2b) requires bonding *"at vertical intervals not exceeding 20 m for structures of more than 20 m in height. Bonding bars shall be connected to the horizontal ring conductors which bond the down-conductors"*. This arrangement is shown schematically in figure 5.

It is recognized that some of the recommendations of this technical report might be difficult to implement in an old building. Nevertheless, some improvements of the earthing network are possible. Examples include a raised floor with meshed earthing network underneath, or the interconnection of all the chassis of the apparatus exchanging signals (figure 6). Other installation mitigation methods can also complement these.

One often-cited objection to a meshed earthing network is that this approach results in earth loops, a situation viewed as undesirable because of noise problems. In fact, the noise problems can be reduced by the methods described in clause 7. In any event, a perceived need for separating earthing networks because of noise problems should never lead to adopting unsafe practices.

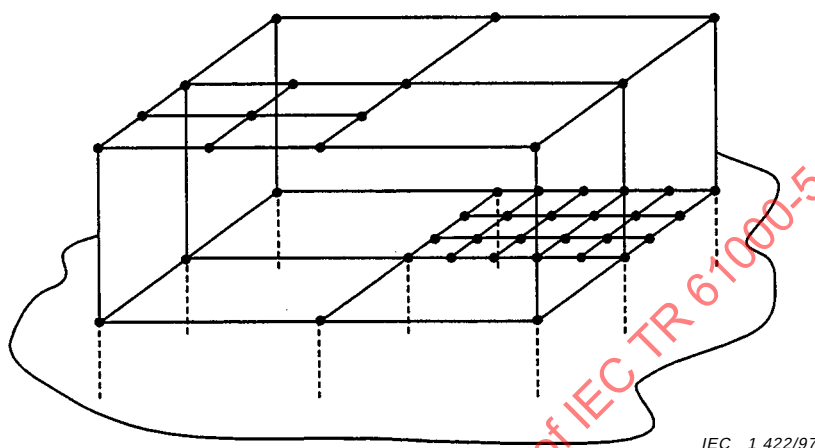


IEC 1 421/97

NOTE – In (a), a loop is formed that involves the signal cable shield, an undesirable situation. In (b), the loop between the two chassis mitigates the involvement of the signal cable.

Figure 6 – Loops involving signal cables and earthing network

Sachant qu'une installation typique peut s'étendre sur de nombreux étages, il convient que chaque niveau dispose de son propre réseau de terre (généralement maillé, voir figure 7). Il convient que ces réseaux soient ensuite reliés les uns aux autres et à la prise de terre. Le nombre minimal de connexions nécessaires est de deux (redondance intrinsèque) afin de garantir qu'aucune partie du réseau de terre ne se trouve isolée en cas de rupture d'un conducteur. En pratique, le nombre de connexions est supérieur à deux, ce qui permet une meilleure symétrie de la circulation du courant, une réduction des différences de tension et une baisse de l'impédance globale entre deux étages.



NOTE – Chaque étage dispose d'un réseau maillé, ces réseaux étant interconnectés en différents points situés entre les étages. Certaines parties des réseaux sont également renforcées, afin de satisfaire aux besoins particuliers de certains locaux.

Figure 7 – Schéma tridimensionnel de l'approche recommandée pour le réseau de terre

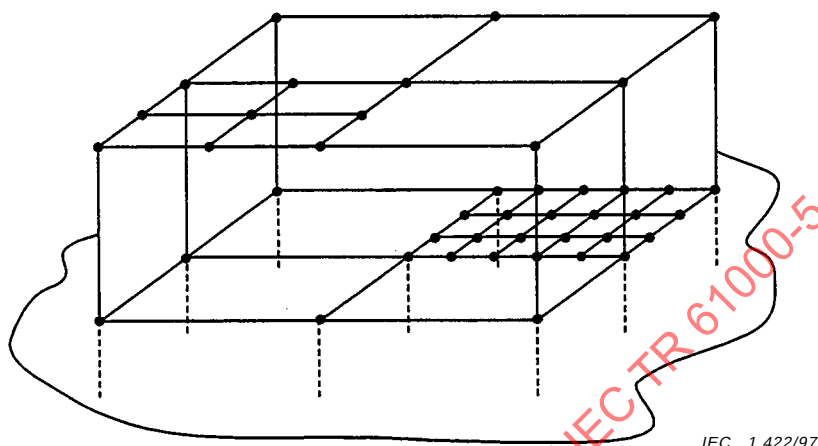
Ces multiples liaisons en parallèle présentent différentes fréquences de résonance. De ce fait, s'il existe, pour une fréquence donnée, une liaison à haute impédance, celle-ci a toutes les chances d'être shuntée par une autre liaison dont la fréquence de résonance est différente. Globalement, sur un spectre de fréquence étendu (du c.c. à plusieurs dizaines de mégahertz) l'existence d'une multitude de liaisons permet d'aboutir à un système à faible impédance.

Il convient que chaque pièce du bâtiment dispose de conducteurs de terre permettant de relier les appareils ou les systèmes, les chemins de câbles et les structures (armature du béton des bâtiments, conduites d'eau, gouttières, supports, charpentes, etc.). Dans certains cas particuliers, salle de commande ou local informatique avec plancher surélevé, par exemple, il est possible d'utiliser un plan de terre de référence ou des interconnexions de terre à proximité de systèmes électroniques pour améliorer la mise à la terre des appareils sensibles et pour protéger les câbles d'interconnexions.

La mise en place dans le bâtiment d'appareils ou de systèmes sensibles ou de forte puissance peut nécessiter de renforcer localement le réseau de terre. C'est par exemple le cas dans une salle de commande, ou d'un local informatique à proximité d'un transformateur de puissance. Le couplage entre les sources de brouillage électromagnétique et un appareil peut, par exemple, être réduit par la distance. Il convient d'appliquer ce principe au réseau de terre. Il convient ainsi de créer des zones différentes: zone électronique, zone des machines, etc. Ces zones sont ensuite interconnectées au moyen du réseau de terre, mais la topologie de l'installation doit faire en sorte que la distance soit aussi grande que possible entre les sources et les appareils ou systèmes sensibles. C'est ce que montre la figure 8.

Il est recommandé de ne pas relier un moteur électrique susceptible de générer un fort courant de défaut à un conducteur de mise à la terre également partagé par des appareils ou systèmes électroniques sensibles (le couplage par une impédance commune doit être soigneusement évité). Pour améliorer les performances en CEM de l'installation, il convient de relier les différents appareils aux nœuds du réseau de terre.

As a typical installation may have many floors, each floor should have its own earthing network (generally implemented as a mesh, see figure 7), and all these networks should be connected to one another and to the earth electrode. A minimum of two connections are required (redundancy should be built-in) to be sure, in case one of the conductors breaks, that no part of the earthing network becomes isolated. Practically, more than two connections are used to have a better symmetry for current circulation, to minimize voltages differences, and to decrease the global impedance between two floor levels.



IEC 1422/97

NOTE – Each floor has its mesh grid, the grids are interconnected at several points between floors, and some floor grids are reinforced as needed in some areas.

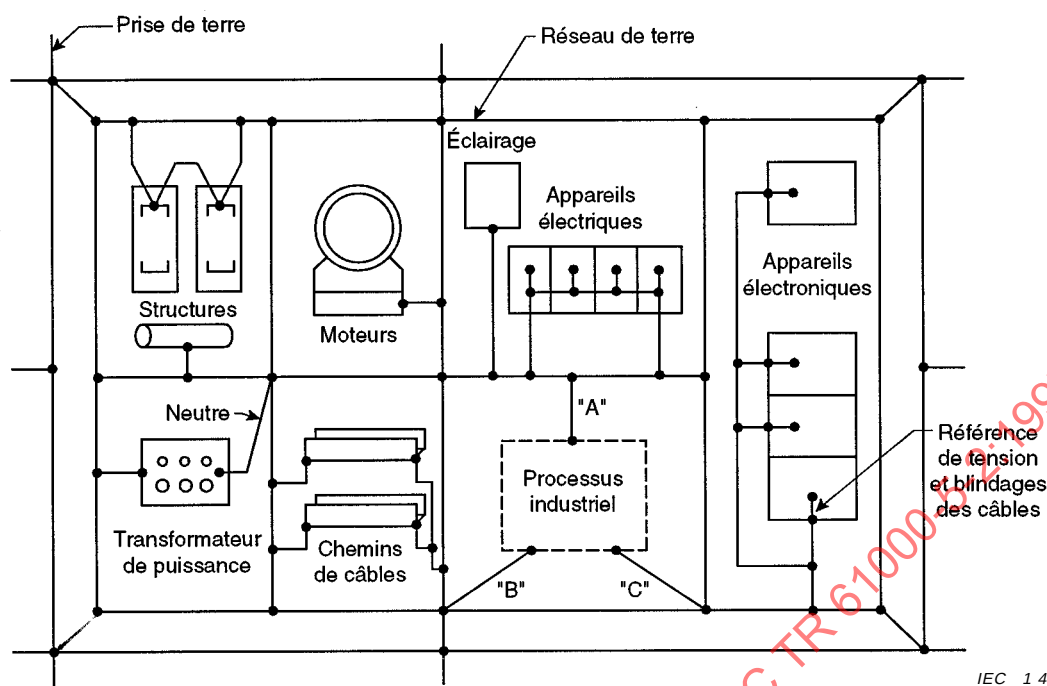
Figure 7 – A three-dimensional schematic of the recommended approach for the earthing network

These multiple and parallel paths have different resonance frequencies. So, if there is for a given frequency a path with a high impedance, this path is certainly shunted by another which has not the same resonance frequency. Globally, over a large frequency spectrum (d.c. to tens of megahertz), a multitude of paths gives a low impedance system.

Each room of the building should have earthing network conductors to allow bonding of apparatus or systems, cable trays, structures: slab reinforcement of buildings, water pipes, gutters, supports, frames etc. In particular cases, such as control or computer rooms with raised floor, an earth reference plane or earthing straps in the area of electronic systems can be used to improve the earthing of sensitive equipment and to protect the interconnecting cables.

The arrangement of sensitive or high-power apparatus or system to be installed in the building may require local reinforcement of the earthing network, for example: in control or computer rooms, near a power transformer, etc. A way to decrease coupling between electromagnetic interference (EMI) sources and a sensitive device is distance. This principle should be also applied to the earthing network. Different zones should be created, for example: electronic zone, machine zone, etc. These zones are interconnected by the earthing network, but layout of the installation should be such that distance should be as large as possible between sources and sensitive apparatus or systems as shown in figure 8.

A motor with a potentially large fault current should not be bonded on the same earthing conductor as sensitive electronics (common impedance coupling should be carefully avoided). It is recommended to connect the various apparatus at the nodes of the earthing network in order to improve the EMC performance of the installation.



NOTE – La topologie des raccordements "B" et "C" est plus efficace du point de vue de la CEM que la topologie "A". Le détail des raccordements peut varier selon les cas.

Figure 8 – Principes généraux de connexion des parties conductrices de différents appareils ou systèmes au réseau de terre

Certains organismes ou entreprises disposant d'une ingénierie centralisée, qui permet de contrôler de près la conception et la réalisation, appliquent avec succès une démarche dans laquelle chaque étage possède son propre réseau de terre maillé isolé, appelé "terre hybride" (Montandon, 1992 [4]) (voir figure A.1). Cette configuration se caractérise par un concept rigoureux de la topologie du câblage, qui exige que tous les câbles entrent dans le système considéré par une seule interface, comme dans l'exemple de la figure A.2 (topologiquement équivalente). Cette approche présente l'avantage de réduire les problèmes de bruit parfois associés à la présence d'un réseau maillé intégral. Elle impose néanmoins de maintenir soigneusement l'isolation entre les différents réseaux maillés isolés et les éléments conducteurs étrangers à l'installation.

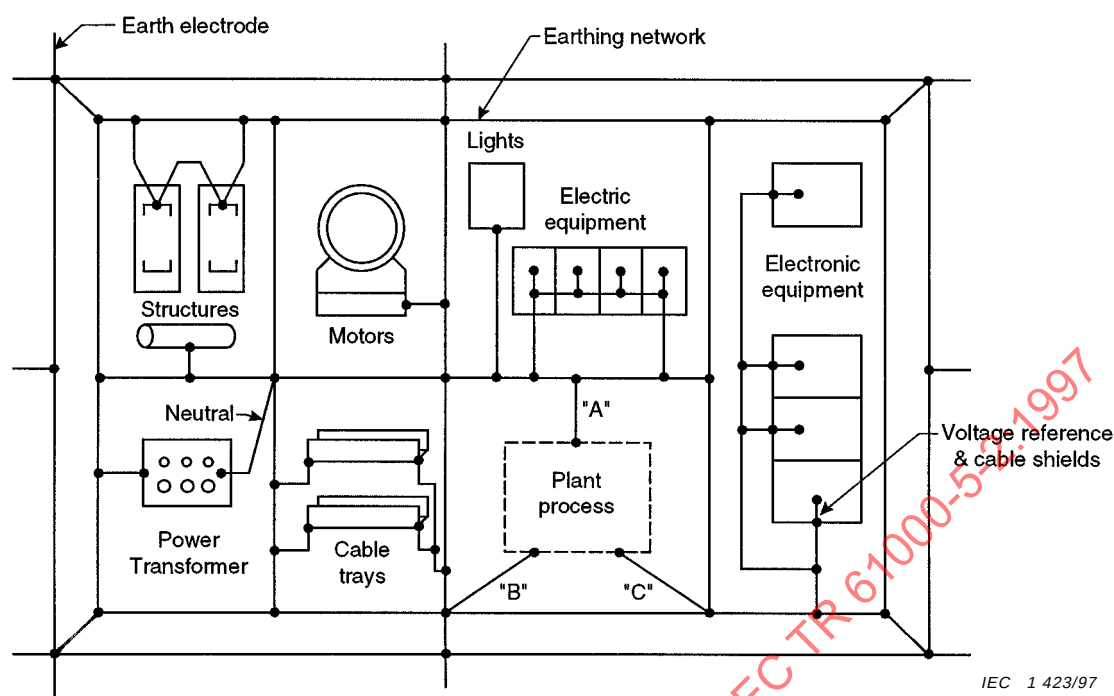
Sur le plan matériel, la principale différence entre la prise de terre et le réseau de terre concerne leur réalisation. Il y a (généralement) peu de risques de corrosion à l'intérieur des bâtiments, ce qui permet l'utilisation de câbles toronés en guise de conducteurs et de fixations mécaniques pour le raccordement des conducteurs.

5.3.3 Conducteurs de descente de paratonnerres

Ces conducteurs, qui font partie du réseau de terre, sont spécifiques à bien des égards. L'amplitude et les fréquences équivalentes des courants de foudre imposent de mettre en place au moins deux conducteurs pour chaque paratonnerre:

- pour diminuer l'impédance de la liaison;
- pour limiter le courant traversant un conducteur;
- pour éviter le risque que la liaison entre un paratonnerre et le conducteur de descente ne soit interrompue.

Sur le plan de la CEM, ces conducteurs multiples ont pour avantage de limiter les effets inductifs à l'intérieur du bâtiment, si la configuration de l'installation est telle que ces conducteurs ne sont pas trop proches d'appareils ou de systèmes électroniques sensibles (l'atténuation des champs électriques et magnétiques procurée par les murs des bâtiments est généralement médiocre).



NOTE – The topology of connections "B" and "C" provides better EMC performance than the topology "A". Details of connections may vary with specific cases.

Figure 8 – General principles for bonding of various apparatus or systems to the earthing network

Some organizations, where central engineering has made tight control of the design and implementation possible, have successfully applied an approach where each floor has its own isolated meshed earthing network, the so-called "Hybrid-Earth" [4] (see figure A.1). A main feature is the strict cable routing concept which demands that all cables enter the specific system at one interface, similar to the example of figure A.2 (which is topologically equivalent). This approach offers the advantage of minimizing noise problems sometimes associated with an integral meshed network, but it requires carefully maintaining the isolation between the specific isolated meshed network and extraneous conductive parts.

The main physical difference between the earth electrode and the earthing network concerns their implementation. There is little risk of corrosion inside buildings (generally) so that it is possible to use stranded cables for conductors and mechanical tightening for the connection of conductors.

5.3.3 Lightning rod down-conductors

These conductors, which are part of the earthing network, are specific for many reasons. The amplitude and the equivalent frequencies of the lightning currents require that more than one down conductor be used for each lightning rod:

- to decrease the impedance of the path;
- to limit the current in one conductor;
- to avoid the risk of a lightning rod becoming disconnected from the down conductor.

From the EMC point of view, these multiple conductors present the advantage of limiting the inductive effects inside the building if the layout of the installation is such that these conductors are not too close to sensitive electronic apparatus or systems (there is generally poor attenuation from building walls for electric and magnetic fields).

Ces éléments étant généralement placés à l'extérieur du bâtiment, on utilise des conducteurs pleins (massifs), qui présentent une meilleure résistance à la corrosion. Normalement, pour les bâtiments ayant un petit nombre d'étages, la prise de terre est le seul élément de raccordement entre les paratonnerres et le réseau de terre implanté à l'intérieur du bâtiment (principe de la distance). Cette disposition peut être difficile à obtenir dans le cas de bâtiments industriels à structures métalliques ou de bâtiments possédant un grand nombre d'étages. Dans ces cas particuliers, il est préférable, pour la CEM, de ne pas isoler les conducteurs de descente des structures et de les relier au réseau de terre de chaque étage, ou au moins tous les quelques étages (voir figure 5).

Dans cette dernière configuration, compte tenu du fait que le courant de foudre est un courant transitoire, la majeure partie du courant de foudre restera sur les conducteurs externes de descente du fait de l'interaction des champs électromagnétiques. Seuls des courants faibles, strictement nécessaires pour "l'égalisation des potentiels", s'écouleront à l'intérieur du bâtiment, excluant ainsi le risque d'amorçage latéral entre les conducteurs de descente d'un paratonnerre et des appareils reliés à la terre à l'intérieur du bâtiment. Ce dernier point relève certes davantage du domaine de la sécurité que de celui de la CEM, mais on peut créer une situation dangereuse en tentant de maintenir, du fait de préoccupations de CEM, les courants de foudre **totale**ment à l'extérieur du bâtiment.

En outre, il convient de garder à l'esprit que dans la plupart des bâtiments à usage commercial ou industriel, de nombreux objets reliés à la terre (éclairage, climatisation, ventilation, antennes de communication, etc.) sont situés au sommet du bâtiment et peuvent donc agir de façon intempestive comme des paratonnerres, avec la foudre utilisant leurs conducteurs de communication, d'énergie ou de terre de protection comme des conducteurs de descente au lieu de ceux prévus à cet effet.

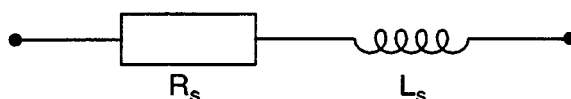
L'interaction électromagnétique entre les champs engendrés par les courants de foudre s'écoulant dans plusieurs conducteurs de descente répartis autour du bâtiment permet de garantir que la majeure partie de la composante haute fréquence du courant de foudre s'écoule via les conducteurs externes, c'est-à-dire par les conducteurs de descente *ad hoc*, par l'acier de construction ou par les barres d'armature, plutôt que via les conducteurs internes, qui ne sont donc parcourus que par une très faible partie du front d'impulsion du courant de foudre (Schnetzler et Fischer, 1992 [5]).

6 Mise au même potentiel

La liaison de toutes les parties métalliques conductrices d'une installation et leur connexion au réseau de terre permet de satisfaire aux exigences de sécurité (tensions de contact et de pas). Sur le schéma de la figure 8, envisagée plus haut, différents appareils ou systèmes sont reliés au réseau de terre dans une installation industrielle. Cette connexion peut être réalisée de façon à permettre non seulement de satisfaire aux prescriptions de sécurité, mais aussi d'améliorer les performances de l'installation en termes de CEM.

6.1 Généralités

Les interconnexions entre les appareils ou systèmes et le réseau de terre peuvent être représentées par le circuit équivalent de la figure 9. R_s et L_s représentent le conducteur de mise au même potentiel lui-même. Néanmoins, des éléments parasites, tels que les capacités C_p des appareils ou des systèmes par rapport au réseau de terre, ou les impédances de contact des interconnexions, Z_c , viennent compliquer cette situation (figure 10).



IEC 1 424/97

Figure 9 – Représentation simplifiée d'un conducteur de mise au même potentiel

Generally installed outside the building, solid conductors are used to better resist corrosion. Normally, for buildings with a small number of floors, the earth electrode is the only connection between the lightning conductors and the earthing network inside the building (distance principle). This arrangement may be difficult to obtain for industrial buildings with metallic structures or buildings with a large number of floors, so for these specific cases a preferred solution, with regards to EMC, is to have lightning conductors not insulated from structures and have them connected to the earthing network on each floor, or at least every few floors (see figure 5).

In this last configuration, considering that lightning current is a transient current, the major part of the initial lightning current will stay on the external conductors as a result of the electromagnetic field interaction. Only the small currents strictly necessary for "potential equalization" will flow inside the building, thus avoiding the hazard of a side flash between the lightning down-conductors and earthed apparatus inside the building. The latter concern is more a safety issue than an EMC issue, but an unsafe situation can be created by misguided EMC-inspired attempts to keep lightning currents **completely** out of the building.

Furthermore, it should be kept in mind that, for most commercial and industrial buildings, many earthed objects (lighting, air-conditioning, ventilation, communications antennae, etc.) are located at the top of the building and can unwittingly act as lightning rods, involving their communications, power, or protective earth conductors rather than the lightning-rod down-conductors intended for that purpose.

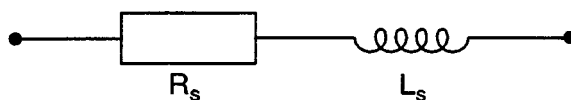
Electromagnetic interaction between the fields established by the lightning currents flowing in several down conductors distributed around the building ensures that most of the initial current will flow on the outside conductors, the intended down-conductors, building steel or rebars, rather than the inside conductors that see very little of the front of the lightning current impulse (Schnetzer and Fischer, 1992 [5]).

6 Bonding

Bonding all exposed metallic parts of an installation and connecting them to the earthing network is a way for meeting safety requirements (touch and step voltages). Figure 8, discussed above, shows a schematic diagram of various apparatus or systems connected to the earthing network in an industrial installation. This connection can be implemented in a manner that will not only satisfy safety requirements, but also enhance the EMC performance of the installation.

6.1 General

The straps between apparatus or systems and the earthing network may be represented by the equivalent circuit of figure 9. R_s and L_s are representative of the bonding conductor itself. Nevertheless, parasitic elements such capacitances of the apparatus or systems versus earthing network, C_p , or strap contact impedances, Z_c , modify this simple situation (figure 10).



IEC 1 424/97

Figure 9 – Simplified representation of a bonding strap

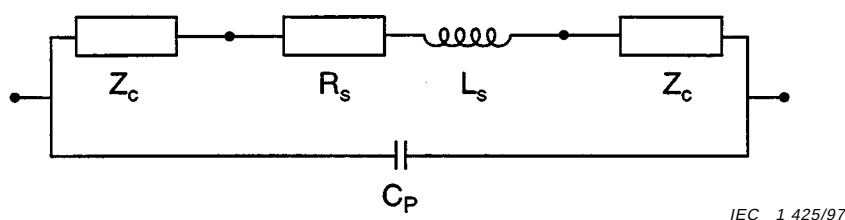


Figure 10 – Représentation plus réaliste d'un conducteur de mise au même potentiel

Pour obtenir une impédance faible, les valeurs de R_s et L_s qui dépendent directement de la longueur et de la forme du conducteur doivent être minimales. En pratique, cela signifie qu'il convient de toujours relier les appareils ou les systèmes au conducteur du réseau de terre le plus proche. Celui-ci doit lui-même être suffisamment proche des appareils ou systèmes en question (aspect à garder présent à l'esprit au moment de définir la configuration de l'installation).

L'impédance de contact Z_c doit être aussi faible que possible. Cette impédance concerne non seulement le réseau de terre, mais aussi les appareils ou systèmes à interconnecter et la manière de réaliser la mise au même potentiel. L'utilisation de matériaux différents pour le réseau de terre, les conducteurs de mise au même potentiel et les appareils ou systèmes à lier peuvent constituer une source de problèmes en raison de phénomènes électrochimiques. Il convient donc d'effectuer des contrôles périodiques dès lors qu'une telle situation est inévitable.

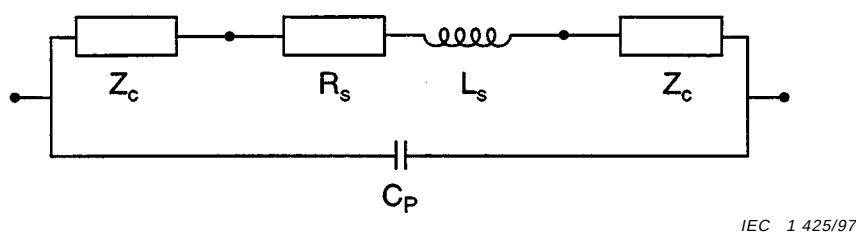
Les équipements sont concernés par cet aspect dans la mesure où le point de connexion fait souvent partie de la structure des appareils ou des systèmes. Malheureusement, dans la mesure où il fait partie de cette structure, ce point peut, initialement, être recouvert de peinture ou avoir subi un traitement galvanoplastique, qui lui confère une impédance de contact médiocre. Il convient d'accorder une attention particulière à cet aspect.

La réalisation de la liaison équipotentielle a une influence directe sur la valeur de Z_c et sur la stabilité de cette valeur au cours du temps (corrosion). Plusieurs méthodes sont utilisées:

- connexion soudée;
- connexion brasée;
- connexion vissée ou boulonnée;
- connexion rivetée;
- connexion sertie;
- connexion accrochée;
- etc.

6.2 Conducteurs de mise au même potentiel

Pour réaliser les conducteurs de mise au même potentiel, les conducteurs appropriés peuvent être des bandes métalliques, des tresses plates ou des câbles ronds. Pour les systèmes à haute fréquence considérés, les bandes métalliques ou les tresses plates sont préférables (effet de peau). Le rapport typique recommandé entre la longueur et la largeur de ces interconnexions est inférieur à cinq. La figure 11 présente des exemples de réalisation.



IEC 1 425/97

Figure 10 – A more realistic representation of an installed bonding strap

For a low bonding impedance, R_s and L_s , which are a direct function of the length and shape of the strap, should be minimum. In practice this implies that apparatus or systems should always be connected to the nearest earthing network conductor, which should be sufficiently close to the equipment (a point to keep in mind when designing the installation layout).

The impedance Z_c should be as low as possible. This impedance involves not only the earthing network, but also the apparatus or systems to be connected, and the way of implementing bonding.

Dissimilar materials for earthing network, bonding straps and apparatus or systems to be bonded can cause problems due to electrochemical effects, and should be monitored if this is unavoidable.

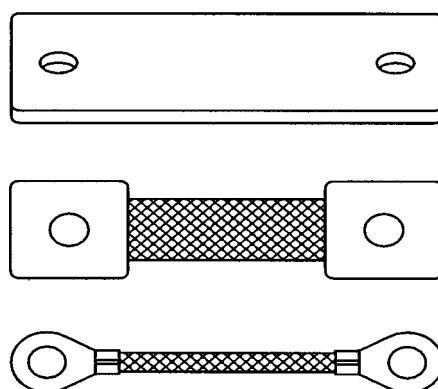
Equipment is concerned, since the connecting point is often part of the apparatus or systems structures. Unfortunately, as part of the structure, this point may be initially covered by paint or electroplating treatment which gives poor contact impedances. Special care should be exercised on this point.

The method of bonding has direct influence on the Z_c value and on the stability of this value with time (corrosion). Several methods have been used:

- welded connection;
- soldered connection;
- screwed or bolted connection;
- riveted connection;
- crimped connection;
- clamped connection;
- etc.

6.2 Bonding straps

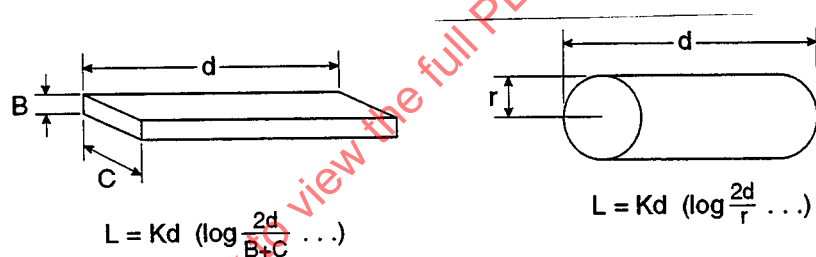
For bonding straps, suitable conductors include metal strips, metal mesh straps or round cables. For these high frequency systems, metal strips or braided straps are better (skin effect). A typical dimensional length/width ratio for these straps should be less than five. Figure 11 shows examples of implementation.



IEC 1 426/97

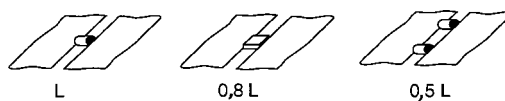
Figure 11 – Conducteurs de mise au même potentiel typiques

Du point de vue de la CEM, les câbles ronds ne constituent pas des conducteurs de mise au même potentiel efficaces dans les systèmes dans lesquels des fréquences supérieures à 10 MHz sont produites ou traitées, ni dans les systèmes susceptibles d'être affectés par ces fréquences. Pour les hautes fréquences, un conducteur rond possède une impédance supérieure à celle d'un conducteur plat de même section transversale (figure 12). Il convient toutefois de noter que l'on insiste parfois exagérément sur la différence d'effet produite par l'utilisation d'une interconnexion plate de préférence à un câble rond. L'utilisation de connexions multiples permet d'obtenir une impédance encore plus faible (figure 13).



IEC 1 427/97

Figure 12 – Inductance relative de conducteurs plats et ronds



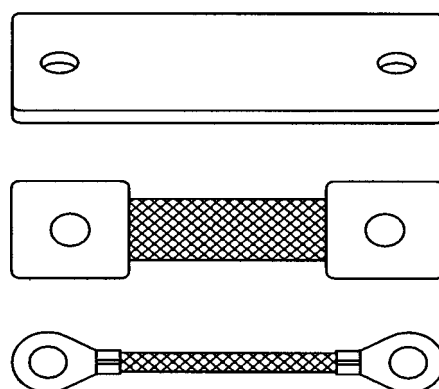
IEC 1 428/97

Figure 13 – Inductance relative de connexions de mise au même potentiel rondes, plates et doubles de même section totale

6.3 Connexions

6.3.1 Connexions permanentes

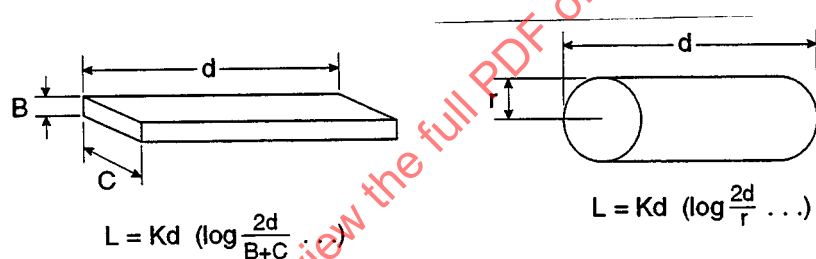
Les connexions permanentes réalisées par soudage ou par brasage ont pour avantage de présenter la valeur la plus faible en terme d'impédance de contact et ce, avec une bonne stabilité au cours du temps. Les connexions rivetées et serties peuvent fournir la pression de contact nécessaire pour obtenir un couplage fiable et durable. Néanmoins, ces méthodes nécessitent des surfaces métalliques propres et des précautions appropriées pour éviter la corrosion.



IEC 1 426/97

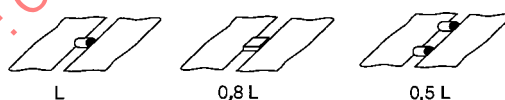
Figure 11 – Typical bonding straps

From the EMC point of view, round cables are not effective for bonding straps in systems where frequencies above 10 MHz are generated or processed, or in systems which may be affected by such frequencies. A round conductor has, at high frequency, a higher impedance than a flat conductor with the same material cross-section (figure 12). Note, however, that the effect of using a flat strap rather than a round cable is sometimes over-emphasized. A still lower impedance can be achieved by multiple bonds (figure 13).



IEC 1 427/97

Figure 12 - Relative inductance of flat and round conductors



IEC 1 428/97

Figure 13 – Relative inductance of round, flat and double bonding straps of same total cross-section

6.3 Connections

6.3.1 Permanent connections

Permanent connections made by welding or soldering present the advantage of having the lowest value for contact impedance, and this with a good stability in time. Rivets and crimped connections may provide the necessary contact pressure to obtain reliable and durable connections. Nevertheless, these methods require clean metal surfaces and due precautions to avoid corrosion.

6.3.2 Connexions amovibles

Les surfaces métalliques propres assurent une bonne conduction et un couplage durable si elles sont mises en contact l'une avec l'autre sous une pression élevée (cette disposition nécessite une maintenance périodique dans les environnements industriels). Le résultat est donc équivalent à celui du soudage, avec en outre la possibilité de déconnecter les deux éléments en cas de besoin.

S'il est impossible d'obtenir des surfaces métalliques propres pour la connexion, il est possible d'utiliser des rondelles, qui pénètrent les couches non conductrices. Cependant, cette solution n'est qu'un palliatif. Si des conducteurs en aluminium sont utilisés, il faut appliquer des joints compound appropriés.

6.3.3 Traitement de surface

Les connexions de terre doivent être en contact avec des surfaces métalliques propres. Il convient donc d'éliminer les couches de protection non conductrices – la peinture, notamment – des surfaces de contact. Il convient que la zone propre soit plus étendue que la zone de contact. Après le couplage des surfaces de contact, il importe d'appliquer un revêtement protecteur, par exemple peinture ou graisse, afin d'empêcher la corrosion des surfaces nettoyées à la périphérie de la zone de contact, ces surfaces étant exposées aux diverses conditions d'environnement à considérer (figure 14).

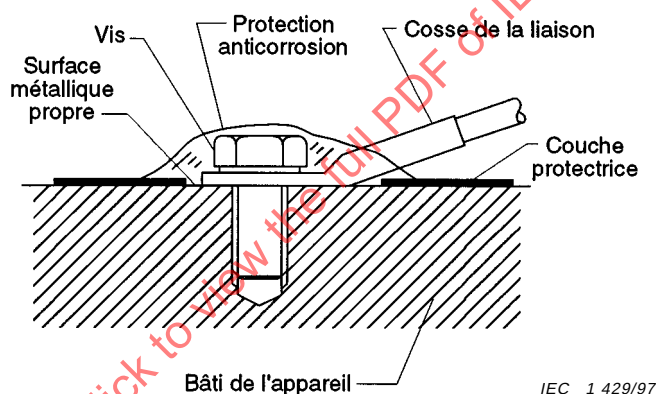


Figure 14 – Exemple de mise au même potentiel constituant une connexion protégée amovible

6.4 Mise au même potentiel de matériels spécifiques

6.4.1 Armoires électroniques

Pour les armoires électroniques, une seule mise au même potentiel est généralement suffisante. Cependant, si les sources de perturbation électromagnétique sont telles que les fréquences les plus élevées qu'elles produisent ont des longueurs d'onde plus courtes que la dimension la plus grande de l'armoire, il convient d'utiliser plusieurs mises au même potentiel. Dans un tel cas, la distance typique entre deux mises au même potentiel quelconques correspond à un dixième de la longueur d'onde la plus courte considérée, une distance minimale étant de 0,3 m. Une distance plus courte n'apporterait pas d'améliorations significatives. Pour une armoire donnée, il est recommandé de placer les points d'entrée des câbles et la mise au même potentiel à proximité les uns des autres (sur la même face de l'armoire) afin d'éviter la circulation de courant à la périphérie ou à l'intérieur de l'armoire.

6.4.2 Câbles blindés

Les blindages des câbles sont reliés au réseau de terre à l'une ou aux deux extrémités, selon les signaux véhiculés et les sources de perturbation électromagnétique. Cependant, dans tous les cas, la meilleure solution en matière de liaison consiste à avoir une connexion sur 360 degrés autour du blindage. Cette solution peut prendre la forme d'un presse-étoupe ou d'une soudure placée à l'interface que constituent les enveloppes (figure 15). Pour plus de détails, se reporter à 7.6.

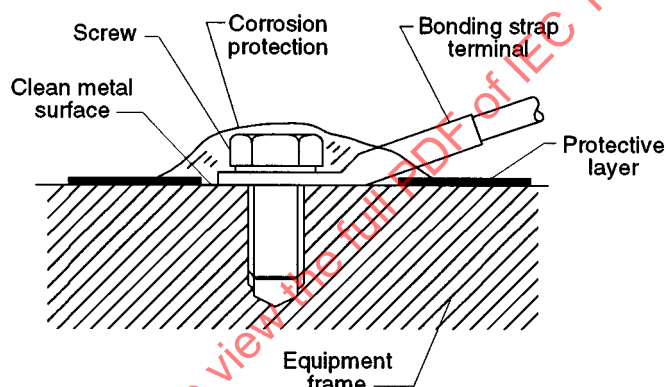
6.3.2 Removable connections

Clean metal surfaces ensure good conduction and durable connections if they are pressed together at high pressure (this arrangement requires periodic maintenance in industrial installations), so the result is equivalent to welding with the added possibility of disconnecting if necessary.

For connections where clean metal surfaces cannot be obtained, washers can be used that penetrate the non-conducting layers. However, it is a palliative solution. If aluminum conductors are used, appropriate joint compounds must be applied.

6.3.3 Surface treatment

Earthing connections require the contact of clean metal surfaces. Paint or other non-conducting protective layers should be removed from the contact areas. The clean area should be larger than the contact area. After the connection of contact surfaces, a protective coating, such as paint or grease, must be applied to prevent corrosion of the cleaned surface outside the contact area, which is exposed to the various environmental conditions which have to be considered (figure 14).



IEC 1 429/97

Figure 14 – Example of protected removable connection of a bonding strap

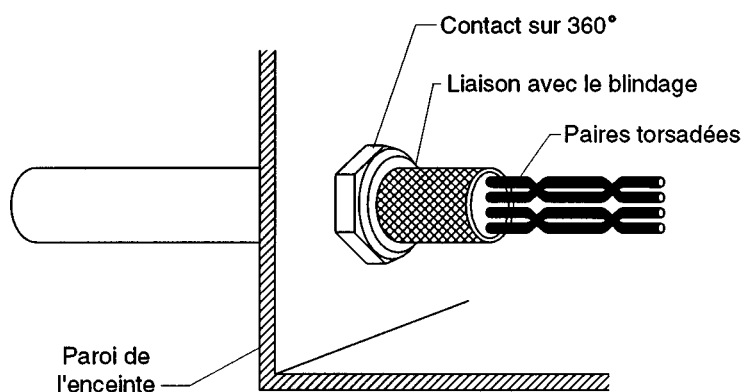
6.4 Bonding of specific equipment

6.4.1 Cubicles

For cubicles, one bonding strap is generally enough. But if electromagnetic interference sources are such that the highest frequencies they produce have wavelengths shorter than the greatest dimension of the cubicle, then multiple bonding straps should be used. In such a case, a typical distance between every bonding strap is one-tenth of the shortest wavelength of interest, with a minimum of 0,3 m for the distance. Insignificant improvements would be obtained for shorter distances. For a given cubicle, cables penetrations and the bonding strap should be close together (on the same side of the cubicle) to avoid current circulation on or in the cubicle enclosure.

6.4.2 Shielded cables

Shields of cables are bonded to the earthing network at one or two extremities depending on the signals being transmitted and on possible electromagnetic interference sources. But in all cases the best solution for bonding is to have a 360-degree connection around the shield. This may be implemented by a suitable metal gland or welding at the entrance of enclosures (figure 15). See 7.6 for more details.



IEC 1 430/97

Figure 15 – Exemple de mise au même potentiel optimale d'un câble blindé à l'enveloppe via un presse-étoupe formant une liaison sur 360 degrés

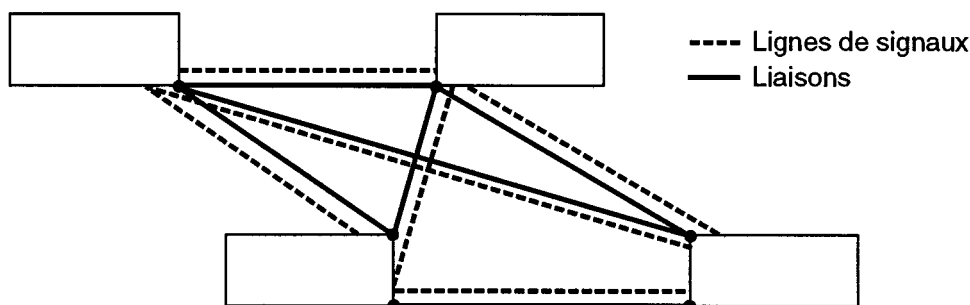
6.5 Procédures destinées aux utilisateurs

Sachant que le système de terre est installé en premier dans un bâtiment ou une usine (avant les appareils ou systèmes nécessaires à l'utilisation finale de cet ouvrage) et qu'il fait souvent partie de la structure de cet ouvrage, il est très difficile, pour les utilisateurs, de l'inspecter ou de le modifier après l'entrée en service de l'ouvrage. De ce fait, il convient que les utilisateurs s'assurent de la conception et de la réalisation correctes du système de terre lors de la conception du bâtiment (prévoir par exemple le mode de maintenance de ce système pendant la durée de vie de l'ouvrage) et du câblage d'origine.

En ce qui concerne la CEM, un bon système de terre ne revient pas cher si les recommandations générales définies dans le présent document sont prises en considération dès la phase de conception. Dans le cas de bâtiments anciens, ou de bâtiments neufs qui n'ont pas été conçus en fonction des impératifs de CEM, le coût peut être plus élevé, mais ces opérations restent nécessaires lorsque des appareils électroniques sensibles sont concernés.

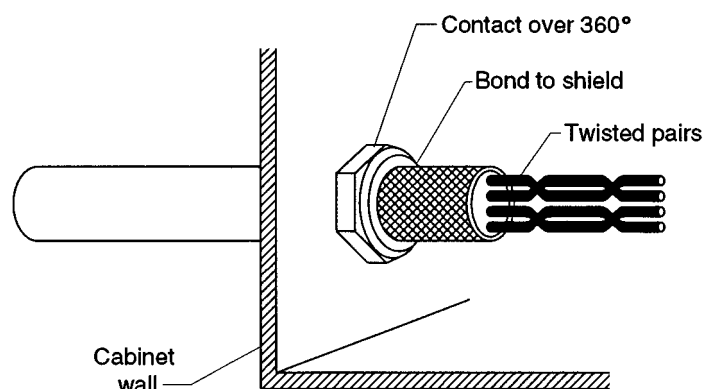
Pour permettre une inspection, seules les connexions vissées ou boulonnées (réseau de terre et liaisons) peuvent être vérifiées pendant la durée de vie active d'un ouvrage. Cette inspection peut être réalisée visuellement, par resserrement systématique de chaque connexion, ou par une mesure en courant continu de part et d'autre de la jonction.

En cas de problèmes de CEM (consécutifs ou non à une modification de l'installation), il peut s'avérer nécessaire d'améliorer localement le réseau de terre. Cette opération est souvent onéreuse et difficile, du fait de la présence d'appareils, systèmes, machines, etc. Elle peut néanmoins être facilitée par l'utilisation de planchers surélevés sous lesquels sont placés les conducteurs du réseau de terre. Une autre approche consiste à interconnecter tous les bâtis au moyen de conducteurs de mise au même potentiel, et d'implanter les lignes de signaux à proximité de ces liaisons, comme le montre le schéma de la figure 16 (voir article 7 pour plus de détails).



IEC 1 431/97

Figure 16 – Schéma de bâtis interconnectés par des liaisons de terre et des lignes de signaux



IEC 1 430/97

Figure 15 – Example of optimal bonding of a shielded cable to the enclosure by a compression fitting providing a 360-degree bond

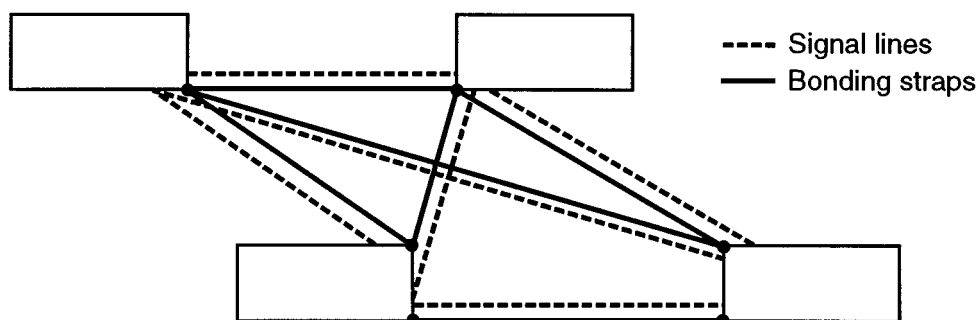
6.5 Procedures for users

Because the earthing system is installed first in a building or a plant (before apparatus or systems needed for the final purpose of the installation) and is often part of the structure of the building, it is very difficult for the users to verify or modify this system once the installation is active. For this reason, users should ensure appropriate design and implementation of this system at the design stage (for example: how to maintain the earthing system during the life of the installation) and initial wiring.

With respect to EMC, a good earthing system is not expensive if the general guidance defined in the present document is taken into consideration at the design stage. In the case of older buildings, or new buildings that were not designed with EMC in mind, the cost can be greater, but still necessary when sensitive electronic equipment is involved.

For verification, only the screwed or bolted connections (earthing network and bonding) can be verified during the active life of an installation. This verification may be performed visually or by systematic tightening of each connection, or by d.c. measurement across the joint.

In case of EMC problems (following or not a modification of the installation) it may be necessary to provide local improvement of the earthing network. This operation is often expensive and difficult to manage due to the presence of apparatus or systems, machines, etc. The operation may be facilitated by the use of raised floors with earthing network conductors underneath. Another approach is to interconnect all chassis with bonding strips, and to route signal cables next to these strips, as schematically represented in figure 16 (see clause 7 for more details).



IEC 1 431/97

Figure 16 – Schematic of interconnected chassis with bonding strips and signal cables

7 Câbles et fils

7.1 Généralités

Pour garantir une compatibilité électromagnétique optimale, le choix d'un câble, la détermination de son mode de couplage aux accès des appareils, ainsi que son cheminement d'une enveloppe d'appareil à une autre, le regroupement de différents câbles en faisceaux et la conception générale de l'installation doivent se fonder sur une approche cohérente en termes de CEM. Dans un environnement électromagnétique (EM) hostile, deux approches peuvent être adoptées pour la configuration du câblage de l'installation:

- Les signaux de grande amplitude peuvent être véhiculés au moyen d'un type de câble sélectionné arbitrairement, dont le cheminement est organisé sans précaution particulière et qui est connecté aux appareils sans tenir compte des procédures recommandées. Dans ce cas, il convient que les accès des appareils soient à même d'accepter ces signaux de grande amplitude et de les distinguer des perturbations induites par le câblage.
- Les signaux de faible amplitude peuvent traverser le même environnement EM hostile via un câble sélectionné avec soin, et dont le cheminement et le raccordement aux appareils sont réalisés correctement. Cette approche peut être utilisée pour optimiser la CEM, mais suppose de respecter les principes de CEM tels que ceux définis dans le présent rapport technique.

De fait, la CEM peut être obtenue d'un certain nombre de manières différentes. Il n'est pas possible de présenter une solution unique et universelle. Dans ces conditions, le présent rapport technique fournit une large palette de recommandations générales. Le respect de ces recommandations permettra d'améliorer la CEM de l'installation considérée.

Le choix d'un câble, de son cheminement et de son couplage aux deux extrémités impose de prendre en considération un certain nombre d'aspects:

a) *Les signaux à véhiculer*

- Ils peuvent être concentrés dans certaines bandes de fréquences ou sous forme d'ondes (quasi) continues; l'énergie véhiculée sous forme de courant continu ou de courant alternatif à 50 Hz ou 60 Hz est assimilée à un signal. En outre, certains signaux émis dans la bande acoustique peuvent s'étendre jusqu'à quelques mégahertz. C'est le cas de la téléphonie à haute vitesse, avec le réseau numérique à intégration de services, ou des signaux vidéo et signaux à haute fréquence (HF).
- Signaux impulsifs: durée, fréquence des répétitions, fréquence des salves, temps de montée et de descente, limites supérieure et inférieure de la plage de fréquence à considérer.
- Le niveau du signal: mesure et contrôle à bas niveau, comme dans le cas de signaux pour thermocouples (plage des microvolts), des signaux informatiques (plage ≤ 24 V), courant alternatif ($\leq 1\,000$ V).

b) *La nature des perturbations auxquelles il faut s'attendre*

Onde entretenue, salve, impulsion, coup de foudre et défaut induit par un coup de foudre; leur nature et leur gravité dépendent de l'application et de l'installation dans l'environnement.

c) *La nature de l'appareil à connecter*

Caractéristiques des accès: impédance en mode différentiel (MD) et en mode commun (MC); branchement des signaux HF sur leur impédance caractéristique; distinction entre les perturbations survenant à l'intérieur de la bande de fréquence du signal utile et celles provenant de l'extérieur de cette bande; comportement non linéaire des accès, leurs caractéristiques en surcharge de MD, MC, pour les ondes entretenues ou les impulsions.

7 Cables and wires

7.1 General

To ensure optimum electromagnetic compatibility, the choice of a cable, its connection to the apparatus ports, its routing from one apparatus enclosure to another, the grouping into bundles of different cables, and the installation in general, should be based on a consistent approach to EMC. In a harsh electromagnetic environment, two approaches may be taken for the configuration of cabling of the installation.

- Large signals may be transported by means of cables of a type selected arbitrarily, routed without particular care, and connected to equipment without observing recommended procedures. The ports of the equipment should then be capable of accepting the large signal and separating it from the disturbances induced by the cabling.
- Small signals can be carried through the same harsh electromagnetic environment, by means of a carefully selected cable, properly routed, and properly connected to the equipment. This approach can be used to optimize EMC but will require observance of EMC principles such as those defined in this technical report.

Actually, EMC can be obtained in a number of different ways. It is not possible to present a unique, single solution. Therefore, this technical report provides guidelines and a broad range of general recommendations. Conformity with these general guidelines and recommendations will enhance the EMC performance of the installation.

In the selection of a cable, its connection at both ends, and its routing, a number of items should be considered.

a) *The signals to be transported*

- They may be concentrated in certain frequency bands or (quasi-) continuous wave (CW) signals; power delivered as d.c., a.c. 50 Hz or 60 Hz is considered as equivalent to a signal. Furthermore, there are signals in the audio frequency band, which may also be extended to a few megahertz, as for instance high-speed telephony, video and high-frequency signals.
- Pulsed signals: duration, repetition rate, burst rate, rise and fall time, upper and lower limit of frequency range of interest.
- The signal level: measurement and control at low level, such as thermocouple signals (microvolt range), computer outputs (24 V range); a.c. power (1 000 V).

b) *The type of disturbances to be expected*

Continuous wave, burst, pulse, lightning and lightning-induced, power faults; the type and severity depend on the application and the installation in the environment.

c) *The type of apparatus to be connected*

Characteristics of the ports: impedance for differential mode (DM) and for common mode (CM); termination of HF signals into characteristic impedance; distinction between disturbances inside the frequency band for intended signal and outside this band; the non-linear behaviour of the ports, the overload characteristics for DM and CM, continuous wave and pulse.

Il faut définir les prescriptions relatives au niveau de perturbation acceptable aux deux extrémités du câble. Ni le câble ni les fils ne doivent dégrader la qualité de fonctionnement souhaitée. Il convient d'insister sur le fait que le niveau de fiabilité obtenu ne peut être que statistique. C'est l'installation dans son ensemble qui détermine le volume de perturbations acceptable. Dans les installations critiques (tranches nucléaires, usine de traitement chimique), aucune interruption du fonctionnement n'est autorisée. Dans les installations moins critiques, une brève interruption peut être acceptée dès lors que le retour à un fonctionnement normal ou sûr est garanti après cette interruption, soit automatiquement, soit par une intervention humaine.

Une fois qu'une approche CEM a été sélectionnée, avec un dimensionnement, un câblage, des connexions et un cheminement appropriés, il convient de la respecter strictement. Les ajouts ou modifications ultérieurs doivent être compatibles avec l'approche choisie. Il est préférable de disposer à tout moment d'un responsable de la CEM possédant les compétences techniques requises et une autorité suffisante, afin d'assurer le maintien de l'approche CEM choisie.

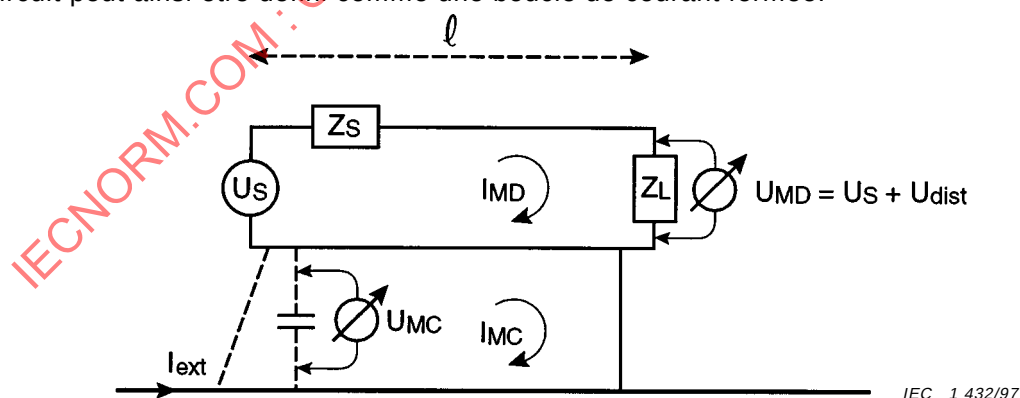
7.2 Circuit de mode différentiel et de mode commun, impédance de transfert Z_t

Un modèle simple sera utilisé sur l'ensemble du présent document concernant le couplage des perturbations le long d'un câble et aux matériels électroniques. Plusieurs livres sont consacrés à cette question; nous en répéterons les aspects essentiels dans ce rapport, dans la mesure où de nombreux ingénieurs – expérimentés ou débutants – peuvent ne pas être familiarisés avec ces questions. L'annexe B et la bibliographie (annexe D) présentent des informations sur ce sujet.

A strictement parler, le modèle présenté n'est valable qu'à basse fréquence. Dans ce cas, la longueur d'onde est nettement supérieure à celle du câble. Les fréquences plus élevées nécessitent des calculs plus précis. Cependant, les mesures d'atténuation indiquées restent valables dans ces conditions; ou, plus exactement, elles deviennent encore plus nécessaires.

7.2.1 Les deux circuits

Une source de signal d'impédance de sortie Z_S est reliée à une charge d'impédance Z_L par un câble de longueur ℓ (figure 17). Toute connexion d'un signal fait intervenir au moins deux fils – signal et retour – entre deux appareils. Les câbles coaxiaux ou bifilaires en sont des exemples classiques. La source, la charge et ces deux fils forment le circuit de *mode différentiel* (MD). Ce circuit peut ainsi être défini comme une boucle de courant fermée.



NOTE – Deux fils interconnectent une source de signal (tension U_S , d'impédance de sortie Z_S et une impédance de charge Z_L). Ces fils, cette source et cette charge constituent le circuit de mode différentiel (MD). Pour simplifier, on suppose que Z_L est nettement supérieure à Z_S . La tension en mode différentiel aux bornes de la charge U_{MD} est importante. U_{MD} se compose d'une fraction de la tension de la source U_S et d'un terme correspondant à la perturbation ajoutée U_{dist} due au couplage avec le circuit de MC via l'impédance de transfert Z_t .

Le circuit de MC peut être refermé par conduction. Sans bouclage conductif (représenté du côté source), la boucle en MC se referme à haute fréquence par le biais de capacités qui sont soit placées à cet endroit de façon délibérée, soit parasites; une tension U_{MC} peut se manifester aux bornes de l'une ou l'autre de ces capacités. Le courant de MC à proprement parler peut provenir d'un courant externe I_{ext} qui s'écoule dans la terre (ligne en trait gras sur la figure) et/ou provenir d'un flux magnétique externe via la boucle de courant de MC.

Figure 17 – Circuit de mode commun et circuit de mode différentiel

The requirements for an acceptable disturbance level at both ends of the cable must be established. Neither the cable nor the wiring should degrade the intended operation. It is stressed that only a statistical confidence level can be obtained. The total installation determines what amount of disturbance is acceptable. In critical installations (nuclear power, chemical process plant), no interruption of functioning is allowed. In less critical installations, a short interruption can be acceptable, as long as normal or safe operation after the interruption is guaranteed, either automatically, or by human action.

Once an EMC approach has been selected, with proper design, cable, connections, and routing, it should be strictly adhered to. Future additions or alterations must be compatible with the approach chosen. It is preferable to have a technically competent person with sufficient authority responsible for the EMC design at all times, to ensure the maintenance of the selected EMC approach.

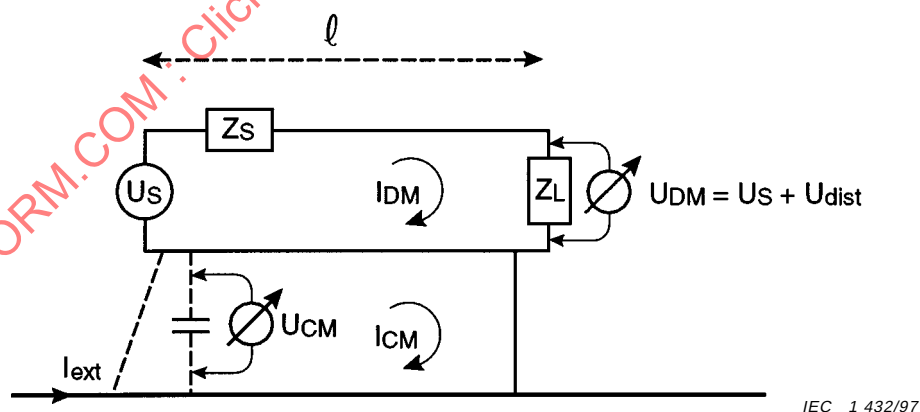
7.2 Differential and common mode circuit, transfer impedance Z_t

A simple model, which will be used throughout this report, is presented for the coupling of disturbances along a cable and to electronic apparatus. Several textbooks also deal with this matter; the essential points are repeated here, because many engineers, experienced as well as newcomers, may not be familiar with the material. More information on the subject is presented in annex B and in the bibliography (annex D).

Strictly speaking, the model is only valid at low frequencies, where the wavelength is much larger than the cable length. At higher frequencies, precise calculations become more involved. However, the mitigation measures presented remain valid, or become even more necessary.

7.2.1 The two circuits

A signal source (output impedance Z_S) is connected to a load (impedance Z_L) by a cable of length ℓ (figure 17). Any signal connection involves at least two leads, signal and return, between equipment. A coaxial cable or a bifilar cable are common examples. The source, load and the two leads form the *differential mode* (DM) circuit. This circuit is now properly defined as a closed current loop.



NOTE – Two leads interconnect a signal source (signal voltage U_S , with output impedance Z_S) and a load with impedance Z_L . The leads, source and load make up the differential mode (DM) circuit. For the sake of simplicity, it is assumed that Z_L is much larger than Z_S . The DM voltage over the load U_{DM} is important; U_{DM} consists of some fraction of the signal source output U_S and an added disturbance term U_{dist} due to the coupling with the CM circuit via the transfer impedance Z_t .

The CM circuit may be closed conductively. Without conductive closure (shown at the source end of the cable), the CM loop closes at HF through capacitances, deliberately put there or parasitic; some voltage U_{CM} may appear over these capacitances. The CM current proper can be driven by an external current I_{ext} which flows through the earth (heavy line) and/or by an external magnetic flux through the CM loop.

Figure 17 – Differential mode circuit and common mode circuit for an unbalanced signal transmission system

En outre, les deux fils forment toujours un second circuit qui se referme dans l'environnement. Ce circuit de *mode commun* (MC) est constitué par un ou par les deux fils, l'appareil et la terre adjacente. Le système de terre dont il est question à l'article 5 forme une partie de ce circuit de MC. Même en l'absence de toute continuité de conduction, le circuit de MC existe et se referme par le biais de capacités locales (placées intentionnellement ou parasites) entre le câble, l'appareil et la terre (voir figure 22). Le courant I_{MC} peut par exemple provenir des sources suivantes:

- chute de tension produite sur la partie considérée du système de terre, du fait de I_{ext} ;
- un flux magnétique traversant la boucle de terre (MC) et causé par un courant dans le système de terre I_{ext} (coup de foudre et défauts sur le réseau électrique, par exemple) ou des sources externes, telles que des transformateurs, des émetteurs ou d'autres appareils générateurs de perturbations.

La répartition de I_{MC} sur les deux fils dépend de:

- la nature du câble: deux fils parallèles ou un câble coaxial, par exemple;
- la connexion électrique aux deux extrémités: symétrique ou asymétrique, ainsi que les impédances de MD et de MC.

Dans certains appareils, il arrive que les parties électriques ou électroniques soient isolées par rapport à l'enveloppe. Dans le cas représenté à la figure 17, on suppose que cette condition est remplie pour la partie électronique de la source de signal. Dans un tel cas, la boucle de MC peut, par exemple, se refermer par le biais de la capacité entre la partie électronique et l'enveloppe, que l'on considère pour l'instant comme métallique. Si l'enveloppe elle-même est reliée à la terre, le principe de la figure 17 reste applicable. On est toujours en présence de la boucle de courant de MC. On observe alors que la tension de MC correspondante se situe entre la partie basse tension de l'électronique et l'enveloppe. Ne retenir qu'un seul courant I_{ext} peut se révéler trop simple lorsque le système de terre devient plus complexe. Voir B.2 pour plus d'informations.

7.2.2 Le couplage entre les circuits

Le couplage entre les circuits de MC et de MD entraîne des perturbations dans le circuit de MD. Ce couplage est décrit au moyen de deux paramètres: l'impédance de transfert Z_t et l'admittance de transfert Y_t . Des contributions séparées à Z_t proviennent:

- a) du câble ou des fils, avec répartition sur toute la longueur;
- b) des bornes de chaque appareil.

Dans l'approximation basse fréquence, la contribution des perturbations à la tension totale de MD U_{dist} au niveau de la charge, du fait du courant dans le circuit de MC, I_{MC} se calcule selon la formule ci-dessous.

$$Z_t = U_{dist} / I_{CM} \quad (1)$$

si Z_L est nettement supérieur à Z_S ; lorsque Z_L et Z_S sont du même ordre, la tension U_{MD} , et donc U_{dist} , doivent être diminués par le facteur $Z_L / (Z_L + Z_S)$. Voir B.3 pour un exemple détaillé.

L'impédance de transfert d'un câble Z'_t est souvent indiquée par unité de longueur. A basse fréquence, l'impédance totale Z_t devient $Z'_{t,\ell}$, ℓ correspondant à la longueur du câble. A haute fréquence, lorsque la longueur d'onde devient comparable à la longueur ℓ , le couplage est calculé pour chaque partie infinitésimale du câble. La valeur finale de U_{dist} est ensuite obtenue par intégration sur la longueur du câble, en tenant compte des temps de propagation (voir par exemple Vance, 1976 [6]). Les impédances de transfert à la source et au niveau de la charge sont souvent déterminées par les connecteurs et par leur montage sur un bâti relié à la terre.

In addition, the two leads always form a second circuit which closes somewhere, even if not included in the immediate vicinity of the circuit. This *common mode* (CM) circuit consists of one or both leads, the apparatus and the nearby earth. The earthing system discussed in clause 5 forms a part of the CM circuit. Even without any conductive continuity, the CM circuit is present and closes through local capacitances (parasitic or placed there intentionally) between the cable, the apparatus and earth (see figure 22). The current I_{CM} stems from sources such as:

- voltage drop over the relevant part of the earthing system due to I_{ext} ;
- a magnetic flux through the earth (CM) loop caused by a current in the earthing system I_{ext} (such as lightning and power faults) or external sources such as transformers, transmitters or other disturbance-generating equipment.

The distribution of I_{CM} over the two leads depends on:

- the type of cable, such as two parallel leads or a coaxial cable;
- the electrical connection at both ends, unbalanced or balanced, and both DM and CM impedance.

In some apparatus the actual electric or electronic parts might be insulated with respect to the enclosure. In figure 17 it was assumed that this held for the electronics of the signal source. In such a case the CM loop closes for instance through the capacitance between the electronics and the enclosure, taken for the moment to be metallic. If the enclosure proper is connected to earth, the idea of figure 17 can still be applied. The CM current loop remains relevant; the corresponding CM voltage is found between the low voltage side of the electronics and the enclosure. Considering a single I_{ext} might be too simple when the earthing system becomes more complex. See B.2 for further information.

7.2.2 Coupling between the circuits

Coupling between the CM and DM circuit causes disturbances in the DM circuit. The coupling is described by two parameters: the transfer impedance Z_t and the transfer admittance Y_t . Separate contributions to Z_t stem from:

- a) the cable or leads, distributed over the entire length;
- b) the terminal connections at each apparatus.

In the LF approximation, the disturbance contribution to the total DM voltage U_{dist} at the load due to the current in the CM circuit I_{CM} is computed according to the following equation (1).

$$Z_t = U_{dist} / I_{CM} \quad (1)$$

when Z_L is much larger than Z_S ; when Z_L and Z_S are of the same magnitude, the voltage U_{DM} and consequently U_{dist} are lowered by a factor $Z_L / (Z_L + Z_S)$. See B.3 for a detailed example.

The transfer impedance of a cable is often specified per unit length, Z'_t . At low frequency, the total Z_t becomes $Z'_{t \cdot \ell}$ with ℓ the length of the cable. At high frequency, when the wavelength becomes comparable to the length ℓ , the coupling is calculated at each infinitesimal part of the cable; the final value of U_{dist} is obtained by integration over the length of the cable, taking delay times into account (see for instance Vance, 1976 [6]). The transfer impedances at source and load are often determined by the connectors, and their mounting on an earthed frame.

Le circuit de MC peut être étendu. Sur les systèmes de terre à faible impédance, il faut tenir compte de forts courants de MC sur une large plage de fréquence. Le couplage de I_{MC} par le biais de Z_t est souvent plus important que l'induction directe par les champs magnétiques dans la petite boucle de MD. Certains accès envisagés à l'article 4 sont des accès non intentionnels et peuvent former une partie de la boucle de MC. L'accès constitué par l'enveloppe en est un exemple.

Une autre forme de couplage peut se produire via une admittance de transfert Y_t . Dans la plupart des cas, Y_t est une capacité parasite, $Y_t = \omega \cdot C_t$. Le couplage via Z_t est souvent plus important. Ainsi, pour un câble coaxial doté d'un conducteur externe (CE) plein, Y_t est égal à zéro quelle que soit la fréquence, tandis que Z_t est proche de la résistance du CE à basse fréquence. Dans de nombreux cas, une faible valeur de Z_t implique une faible valeur de Y_t . Z_t tout comme Y_t varient considérablement en fonction de la nature des câbles. Z_t , en particulier, se comporte différemment en fonction de la fréquence. Pour les câbles blindés, Z_t est principalement déterminée par la constitution matérielle du blindage. L'admittance de transfert Y_t dépend également des paramètres du circuit de MC et du circuit extérieur.

La notion importante à cet égard est qu'il faut prendre **deux** circuits en considération. Les deux paramètres de transfert généralisés ont été définis pour le couplage entre le circuit de MC et le circuit de MD. Ce couplage se produit localement, en tout point des circuits. Le principal avantage de cette description est qu'elle rend manifeste l'effet des mesures locales d'atténuation des perturbations. Pour obtenir le niveau final de perturbation aux deux extrémités d'un câble, il faut calculer la somme ou réaliser l'intégration des contributions locales.

Les deux paramètres de transfert décrivent également le couplage perturbateur dans l'autre sens, c'est-à-dire du mode différentiel vers le mode commun. En d'autres termes, ils fonctionnent dans les deux sens. Des paramètres similaires représentent le couplage entre deux circuits de MD adjacents, par exemple entre signal et énergie, entre différentes lignes de données ou entre entrée et sortie.

Il existe deux manières d'obtenir un couplage faible des perturbations: réduire I_{MC} ou Z_t . La réduction de la valeur globale de Z_t est traitée sur l'ensemble du présent document. Le courant I_{MC} qui s'écoule via le câble de signal peut, quant à lui, être réduit en détournant ce courant via un conducteur parallèle (voir 7.5). Une autre solution consiste à relever l'impédance de la boucle en MC au moyen d'une impédance locale, voire d'une interruption (séparation électrique en c.c.). Il convient d'envisager avec précaution l'emplacement de cette haute impédance locale et son aptitude à résister à une tension élevée. Les dispositifs typiques utilisés pour réaliser cette séparation sont les transformateurs d'isolement, les optocoupleurs ou les fibres optiques. Ces dispositifs sont envisagés à l'article 8.

Il existe également une interaction entre les câbles et les champs électromagnétiques. Les principes de CEM présentés dans le présent document visent à obtenir une faible valeur pour Z_t par rapport aux courants circulant dans les conducteurs adjacents mis à la terre. Une faible valeur pour Z_t implique une faible interaction avec les champs électromagnétiques.

7.3 Règles de CEM pour l'implantation des câbles et des fils

Les recommandations présentées dans le présent rapport technique sont déduites d'un ensemble de principes de CEM détaillés ci-dessous. Le respect de ces principes permet de réduire la susceptibilité tout en accroissant l'immunité aux perturbations. Même si, comme il est indiqué à l'article 4, ce rapport technique ne peut pas fixer de règles impératives, il convient de considérer les principes présentés ici comme des objectifs souhaitables. C'est la raison pour laquelle ils sont formulés comme des règles objectives.

The CM circuit can be large. In low-impedance earthing systems, an intense CM current over a broad frequency range has to be reckoned with. The coupling of I_{CM} through Z_t is often more important than direct induction by the magnetic fields in the small DM loop. Some ports discussed in clause 4 are unintentional ports, and may form a part of the CM loop. The enclosure port is an example.

Another type of coupling occurs via a transfer admittance Y_t ; most often Y_t is a parasitic capacitance, $Y_t = \omega \cdot C_t$. The coupling via Z_t is often more important. For instance, for a coaxial cable with a solid outer conductor Y_t is zero at all frequencies, while Z_t approaches the resistance of the outer conductor at lower frequency. In many cases a low Z_t implies a low Y_t . For different types of cables both Z_t and Y_t vary over a wide range. In particular Z_t behaves differently as function of frequency. For shielded cables Z_t is mainly determined by the construction of the shield. The transfer admittance Y_t also depends on the parameters of the CM and the external circuit.

The important notion is the identification of **two** circuits. The two generalized transfer parameters are coined for the coupling between the CM and the DM circuit. This coupling occurs locally, at each position along the circuits. The main advantage of this description is that the effect of local mitigation measures against interference becomes apparent. In order to obtain the final disturbance level at both ends of a cable, it is necessary to sum or to integrate the local contributions.

The two transfer parameters also describe the disturbance coupling in the other direction, DM to CM; that is, they are reciprocal. Similar parameters represent the coupling between two adjacent DM circuits, for instance between signal and power, between various data lines, or between input and output.

A low coupling of disturbances can be obtained in two ways, a reduction of I_{CM} , or a low Z_t . The reduction of the overall Z_t is treated throughout this report. The current I_{CM} through the signal cable proper can be reduced by rerouting this current via a parallel conductor (see 7.5). Alternatively, the impedance of the CM loop can be made high by a local impedance or even by an interruption (electrical separation at d.c.). The position of this local high impedance, and its capability to withstand a high voltage should be carefully considered. Typical devices to obtain such separation are isolation transformers, optocouplers, or optical fibres; their discussion is deferred to clause 8.

Cables also interact with electromagnetic fields. The EMC guidelines presented in this report aim at obtaining a low value for Z_t with respect to currents in nearby earthed conductors. A low Z_t value implies a low interaction with electromagnetic fields.

7.3 Set of EMC rules for cable and wire installation

The guidelines presented in this report are derived from the following set of EMC principles. Conformity with the principles will decrease susceptibility and will increase immunity for disturbances simultaneously. While this technical report, as discussed in clause 4, cannot present mandatory rules, the principles presented here should be regarded as desirable goals and, therefore, are worded as objective rules.

a) *Prendre en considération des boucles de courant complètes et fermées, pour le circuit de MD comme pour celui de MC, ainsi que pour les circuits extérieurs situés à proximité et susceptibles d'exercer une influence.*

- Comme il est indiqué en 7.1.c), toute interconnexion entre des accès d'appareils différents est toujours considérée comme un accès à deux bornes: une entrée de signal ou de puissance, considérée uniquement dans sa relation avec son retour, qui doit être positionné à proximité immédiate. Le courant et la tension en mode commun au niveau de cet accès sont des paramètres importants. En effet, ils englobent tout d'abord le signal ou la puissance désirés, mais ils véhiculent également des perturbations dues au couplage entre le circuit de MD et le circuit de MC, via Z_t et Y_t .
- Les câbles constituent souvent des antennes importantes et efficaces, qui véhiculent des courants de MC jusqu'aux appareils. Ces courants peuvent causer des perturbations non seulement au niveau des circuits d'entrée et de sortie directement reliés aux fils, mais aussi au niveau de circuits situés plus à l'intérieur des appareils.
- D'autres circuits doivent être pris en considération, notamment les conducteurs formés par les conduites d'eau, les tuyauteries d'un système central de chauffage ou de climatisation. Comme l'indique le paragraphe 4.7 de la CEI 61000-5-1, même un guide d'ondes court peut agir comme une antenne HF et acheminer un courant de MC jusqu'aux appareils.

b) *Rendre tous les circuits de MD compacts afin de les immuniser contre les champs électriques et magnétiques locaux.*

- Cette règle implique que chaque circuit de MD comprenne un câble à paires symétriques, de préférence torsadées; le circuit de MD, quant à lui, peut être symétrique ou asymétrique. Sur un câble coaxial, le courant de MD véhiculé par le conducteur interne retourne à sa source via le conducteur externe; ce câble est compact par nature, sous réserve que le conducteur externe soit connecté aux deux extrémités.
- Les connecteurs situés aux extrémités d'un câble font partie intégrante du circuit de MD; un connecteur médiocre (Z_t élevée) fait perdre tout les avantages d'un câble de bonne qualité. La configuration de la connexion et celle de l'appareil ont une grande influence sur la Z_t globale et sur la qualité de la CEM. Il est préférable de relier les blindages sur toute leur circonférence aux surfaces bien conductrices telles que les parois d'enceintes, au point de pénétration du câble. Les connexions en queue de cochon ne sont pas recommandées à cet endroit (voir également 7.9).

c) *Maintenir les circuits de MD à proximité des éléments mis à la terre.*

De fait, les impératifs de CEM nécessitent une faible impédance de transfert pour le courant traversant l'élément mis à la terre par rapport au circuit de MD. L'impédance de transfert dépend également de la section transversale de l'élément mis à la terre et de la position du câble sur cet élément. La lettre e) et le reste du présent rapport technique détaillent cette question.

d) *Des boucles de terre sont autorisées.*

Dans les systèmes de terre maillés, les boucles de terre constituent une mesure d'atténuation efficace des perturbations causées par les courants et les champs EM provenant de sources externes. Un courant de MC passant par une boucle de terre constituée par un conducteur de terre parallèle est parfaitement acceptable dès lors que l'impédance de transfert de cette boucle est faible par rapport aux circuits de MD adjacents. Voir l'article 5 pour plus de détails sur les systèmes de terre.

e) *Dans les systèmes de terre maillés, il convient d'implanter – parallèlement aux câbles reliant des appareils – un conducteur mis à la terre au moins à ses deux extrémités.*

Dans les systèmes de terre maillés, il convient que le conducteur de terre parallèle (PEC) transporte la principale composante du courant de perturbation I_{MC} et dévie ce courant des câbles de l'installation à proprement parler. Il peut par exemple s'agir d'un fil de terre dans un câble électrique, d'un blindage de câble ou d'un conduit dans lequel des câbles sont placés. La section transversale totale dépend de l'amplitude du courant quasi stationnaire censé traverser le conducteur de terre. L'échauffement par effet Joule doit être suffisamment bas. La forme du conducteur est dictée par les prescriptions de CEM (voir 7.5 et annexe C).

a) *Consider complete and closed current loops, for both the DM circuit and the CM circuit, and also for relevant nearby external circuits.*

- As mentioned in 7.1 c), any connection between ports of different apparatus is always considered as a two-terminal port: a signal or power entrance only in combination with its return which has to be positioned in the immediate vicinity. The DM current and voltage at the port are important. First they comprise the intended signal or power. In addition, disturbances are present which stem from the coupling between the DM and the CM circuit via Z_t and Y_t .
- Cables are often large and effective antennae, carrying CM currents to the apparatus. These currents may cause interference not only at the input and output circuits directly connected to the leads, but also at circuits deeper inside the apparatus.
- Other circuits of concern are formed by conductors such as water pipes, tubes belonging to a central heating or air-conditioning system. As discussed in 4.7 of IEC 61000-5-1, even a short stub may act as a HF antenna, and carry a CM current to the apparatus.

b) *Make all DM circuits compact, and thereby immune to local electric and magnetic fields.*

- This rule implies for each DM circuit an individual balanced pair cable, preferentially twisted; the DM circuit may be balanced or unbalanced. For a coaxial cable, the DM current through the inner conductor returns through the outer conductor; this cable is compact by its nature provided that the outer conductor is connected at both ends.
- Connectors at the ends of a cable are an integral part of the DM circuit; a poor connector (high Z_t) ruins an otherwise good cable. The layout of the connection and the layout in the apparatus has large influence on the overall Z_t and on the EMC quality. Shields are for preference *circumferentially* connected to well-conducting surfaces such as cabinet walls, at the point where the cables enter. Pigtail connections are certainly not recommended at that point (see also 7.9).

c) *Keep DM circuits close to earthed elements.*

Actually, for EMC a low transfer impedance of the current through the earthed element is required with respect to the DM circuit. The transfer impedance also depends on the cross-section of the earthed element, and on the position of the cable on the earthed element. Further elaboration follows under e), and in the rest of this report.

d) *Earth loops are allowed.*

In meshed earthing systems, earth loops are effective mitigation measures against interference caused by currents and EM fields from external sources. A CM current through an earth loop consisting of a parallel earthing conductor is perfectly acceptable, provided that the transfer impedance of that loop with respect to nearby DM circuits is low. See clause 5 for more details on earthing systems.

e) *In meshed earthing systems, a conductor, earthed at least at both ends, should be installed parallel to the cables between apparatus.*

In meshed earthing systems, this parallel-earthing-conductor (PEC) should carry the main part of disturbance current I_{CM} and divert this current from the installation cables proper. Examples are an earth lead in a power cable, a shield of a cable, a conduit in which cables are placed, etc. The total area of the cross-section is governed by the amplitude of the quasi-continuous current expected through the earth conductor. The ohmic heating must be kept acceptably low. The shape of the conductor is dictated by EMC requirements (see 7.5 and annex C).

- f) *Séparer électromagnétiquement les circuits à forte puissance, les circuits à faible puissance et les circuits MD.*

Il existe différentes méthodes d'atténuation de la diaphonie. Cette question est envisagée plus en détail en 7.7 et 7.8. La séparation électromagnétique peut exiger une séparation physique.

- g) *Prendre en compte la totalité de la plage de fréquence dans laquelle des perturbations peuvent être conduites le long d'un câble (en MD comme en MC) plutôt que la bande de fréquence souvent plus étroite des signaux utiles.*

Un claquage (amorçage d'arc) consécutif à l'ouverture ou à la fermeture d'interrupteurs entraîne des transitoires d'une rapidité de l'ordre de la nanoseconde et ce, même dans les lignes électriques en c.c.

- h) *Limitier la plage de fréquence des signaux de MD au strict minimum; limiter la sensibilité des accès à la plage de fréquence absolument nécessaire, par exemple au moyen de filtres.*

- L'utilisation d'un câble plat pour la communication entre une imprimante et un ordinateur constitue un exemple typique (Goedbloed, 1990 [7]; Benda, 1984 [8]). Le transfert des données est relativement lent; il convient de ne pas utiliser d'impulsions plus rapides que ne l'exige la qualité de la communication. Autre exemple: une entrée c.c. ou BF peut aussi être fortement filtrée à l'endroit où elle pénètre dans l'appareil.
- Dans ces conditions, il convient d'optimiser les performances en termes de CEM compte tenu des questions d'économie et de fiabilité. L'implantation de filtres aux accès des appareils peut constituer une solution économique, en particulier si les perturbations attendues sont uniquement hors de la bande utile. L'adoption systématique de mesures d'atténuation au niveau des câbles permet aussi de réduire ce brouillage. Une solution optimale consiste à recourir aux deux approches.

7.4 Types de câbles et leur utilisation dans le contexte de la CEM

Les câbles bifilaires (deux fils parallèles, torsadés ou non) sont souvent utilisés pour les signaux et les commandes BF. Il convient, dans ce cas, d'utiliser les deux fils pour le signal et le retour.

Dans les câbles multifilaires, il convient que chaque conducteur de signal dispose de son retour propre à proximité (voir 7.3 b)). Il est préférable que ces deux conducteurs soient torsadés. En tout état de cause, il convient que le fil de signal et le fil de retour se trouvent dans le même câble. Dans les câbles blindés bifilaires ou multifilaires, le blindage doit être considéré comme un PEC. Ce blindage est en principe mis à la terre aux deux extrémités, et constitue ainsi un chemin pour I_{MC} . Lorsqu'il existe plusieurs blindages, le PEC est constitué par le blindage externe, qu'il convient de mettre à la terre aux deux extrémités. Les blindages internes ou les fils de terre peuvent aussi être mis à la terre à l'une ou aux deux extrémités (voir également 7.6).

Des signaux HF sont souvent véhiculés par des câbles coaxiaux. Il convient alors de relier le conducteur externe aux appareils situés aux deux extrémités du câble, pour refermer ainsi le circuit de MD. Lorsque la basse tension d'un appareil est relié à la terre locale, cette règle implique que le conducteur externe (blindage) soit mis à la terre à cet endroit.

Des câbles coaxiaux à conducteurs externes (CE) multiples sont utilisés lorsque la valeur de Z_t doit être faible. Ces conducteurs externes peuvent être placés directement les uns sur les autres ou isolés les uns par rapport aux autres. La présence de mu-métal ou de ferrite entre les conducteurs externes contribue également à la réduction de la Z_t (câbles à blindage renforcé). En général, les conducteurs externes sont interconnectés aux deux extrémités du câble et mis à la terre. Dans certaines applications, le conducteur situé le plus à l'extérieur sert de PEC, tandis que les conducteurs externes placés à l'intérieur du PEC ne sont connectés qu'au circuit de MD (qui peut être flottant).

Les câbles plats sont souvent utilisés pour le transport de données numériques à bas débit. Dans ce cas, il convient que chaque conducteur de signal dispose de son propre retour à proximité. Il est préférable que ces câbles soient blindés et que leur blindage soit correctement mis à la terre sur les appareils aux deux extrémités.

f) *Separate high-power and low-power or signal DM circuits electromagnetically.*

A number of mitigation methods for cross-talk exists; details are presented in 7.7 and 7.8. Electromagnetic separation may involve a physical separation.

g) *Consider the full frequency range for which disturbances can be conducted along a cable (DM and CM) rather than the often more restricted band of the intended signals.*

When switches open or close, a breakdown (start of arcing) causes nanosecond fast transients, even in d.c. power lines.

h) *Limit the frequency range for the DM signals to the bare minimum; limit the sensitivity of the ports to the absolutely necessary frequency range by filters or other means.*

- A typical example is a flat cable for communication between printer and a computer (Goedbloed, 1990 [7]; Benda, 1994 [8]). The data transfer is rather slow; no faster pulses than necessary for a good communication should be used. As a second example, a d.c. or LF power input can be strongly filtered at the point of entrance into the apparatus.
- Here the EMC performance should be optimized with respect to economics and reliability. Filters at the ports of an apparatus can be an economic solution, especially when only out-of-band disturbances are expected. Extensive EMC measures at the cables also reduce this interference. An optimum solution balances both approaches.

7.4 Types of cables and their use with regard to EMC

For LF signal and control, bifilar cables (two parallel leads, twisted or not twisted) are frequently used. The two leads should be used for the signal and the return.

In multi-lead cables, each signal conductor should have its proper return nearby (see 7.3 b)); the two conductors should be twisted. In any case, the signal and return lead should be in the same cable. In shielded bifilar or multi-lead cables, the shield should be regarded as a PEC. The shield is earthed at both ends in principle, thus providing a path for I_{CM} . When more than one shield is present, the outer shield is the PEC, which should be earthed at both ends. Inner shields or earth leads may also be earthed at one or both ends (see also 7.6).

Signals at high frequency are commonly transported through coaxial cables. At both ends of the cable, the outer conductor should be connected to the apparatus, thus closing the DM circuit. When the low-voltage side of the apparatus port is connected to the local earth, this rule implies that the outer conductor (shield) is earthed there.

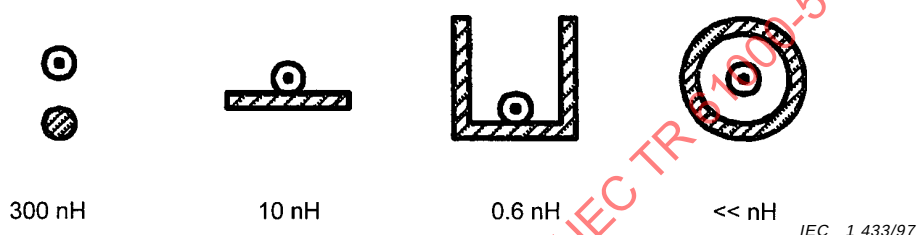
Coaxial cables with multiple outer conductors are used when a low Z_t is required. The outer conductors may be laid directly over each other, or be insulated with respect to each other. Mu-metal or ferrite between the outer conductors further reduces the Z_t (superscreen cables). Most often all outer conductors are interconnected at both ends of the cable, and earthed. In some application the outermost conductor is used as a PEC, and the outer conductors inside are connected to the (perhaps floating) DM circuit only.

Flat ribbon cables are frequently used for transport of slow digital data. Each signal conductor should have its proper return nearby. Such cables are preferably shielded, with the shield properly earthed to the apparatus at both ends.

7.5 Types de conducteurs de terre parallèles (PEC)

En matière de CEM, il est recommandé de faire courir un câble le long d'un PEC relié des deux côtés à la terre locale des appareils. Certains exemples sont mentionnés en 7.3 e). Il convient que le PEC forme une structure métallique continue et bonne conductrice sur toute sa longueur.

Un PEC correctement sélectionné détourne le courant de MC du circuit de MD, qui peut être un câble ou son blindage, avec pour effet de réduire l'impédance de transfert Z_t de la combinaison PEC/blindage. La forme du PEC exerce une forte influence sur Z_t en HF. On peut classer les éléments suivants par ordre décroissant de Z_t en HF: fil, plaque, conduit en U, blindage, ou un tube à paroi pleine. La figure 18 présente des valeurs typiques de la composante HF de Z_t . A haute fréquence, les deux dernières structures assurent une séparation électromagnétique entre l'intérieur et l'extérieur, du fait de l'effet de peau.



NOTE – Les valeurs typiques de Z_t en HF correspondent à une inductance mutuelle M exprimée en nH/m. Ces valeurs dépendent davantage de la configuration que de la section transversale totale du conducteur de terre parallèle (PEC).

Figure 18 – Effet de la configuration d'un conducteur de terre parallèle sur l'impédance de transfert pour un câble coaxial

L'article C.2 donne de plus amples informations sur la valeur de Z_t , notamment pour les conduits. La tension finale de perturbation en MD est calculée conformément à l'article C.1. Entre le PEC et le blindage du câble, une boucle de terre est formée comme circuit intermédiaire. On peut lui conférer une impédance élevée, par exemple en plaçant des ferrites de MC autour du blindage du câble (voir article 9). L'impédance élevée réduit le courant intermédiaire I_{IM} dans ce circuit intermédiaire et donc la tension finale de perturbation en MD à l'extrémité du câble.

Après avoir choisi une configuration particulière de PEC, conformément aux prescriptions minimales requises, il convient de conserver cette configuration de bout en bout, sur toute la longueur. Par exemple, lorsqu'un conduit en U est nécessaire, il convient de le raccorder à l'enceinte sur l'ensemble de la section transversale, aux extrémités. Une connexion unifilaire courte produit une Z_t locale élevée (en particulier en haute fréquence) et dégrade la CEM globale pour tous les câbles placés dans le conduit. Il faut noter que le terme "conduit" inclut les chemins de câbles, s'il y a lieu.

Les blindages de câbles (multifilaires) constituent de très bons PEC. Le câble coaxial représente un cas particulier; le conducteur externe constitue un chemin pour le signal en MD et le courant de MC. L'article B.3 donne des détails sur le couplage des perturbations dans les câbles coaxiaux.

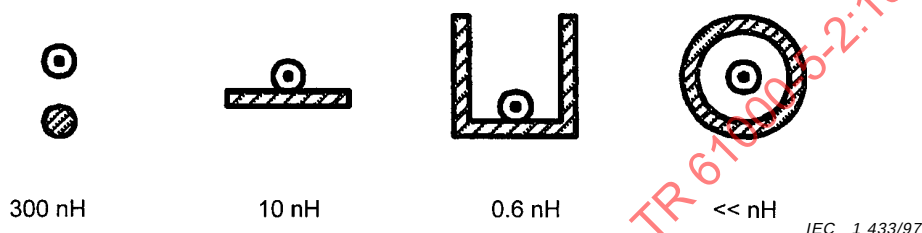
7.5.1 Conduits et chemins de câbles utilisés comme conducteurs de terre parallèles

Il convient qu'un conduit ou chemin de câbles utilisé comme PEC se présente sous la forme d'une structure métallique continue. Lorsqu'un conduit comprend plusieurs éléments plus courts, il convient de veiller à assurer cette continuité par une liaison appropriée entre ces différentes pièces. Les pièces seront de préférence soudées sur toute leur section. Il est admis d'utiliser des joints rivetés ou vissés, à condition que les surfaces en contact soient parfaitement conductrices (pas de peinture) et protégées contre la corrosion.

7.5 Types of parallel-earthing conductor (PEC)

For EMC it is preferred to route a cable along a PEC which is connected at both sides to the local earth of the apparatus. Some examples are mentioned in 7.3 e). The PEC should form a continuous, well-conducting metallic structure over its full length.

A well-chosen PEC diverts the CM current from the DM circuit, a cable or its shield. Effectively this reduces the Z_t of the combination PEC and shield. The shape of the PEC strongly influences the HF Z_t . In order of decreasing HF Z_t are listed: a wire, a plate, a U-shaped conduit, a shield or a solid tube. Typical values for the HF part of Z_t are presented in figure 18. At high frequency, the two latter structures provide an electromagnetic separation between the outside and the inside because of the skin effect.



NOTE – Typical values for the Z_t at HF are given as mutual inductance M in nH/m. The values of the HF Z_t depend on the shape rather than on the total cross-section of the PEC.

Figure 18 – Effect of the configuration of a parallel-earthing conductor on the transfer impedance for coaxial cables

More information on the value of Z_t , in particular on the Z_t of conduits, is given in C.2. The final DM disturbance voltage is calculated according to C.1. Between the PEC and the cable shield an earth loop is formed as an intermediate circuit. The impedance of the loop can be made high, for instance by CM chokes placed around the cable shield (see clause 9). The high impedance reduces the current I_{IM} in that intermediate circuit, and thereby the final DM disturbance voltage at the end of the cable.

Once a particular shape for a PEC is chosen as minimally required, it should be continued throughout, over its full length. For example, when a U-shaped conduit is required, this conduit should be connected over the full cross-section to the cabinet at the ends. A short single lead as connection provides a local high Z_t (particularly at high frequency) and degrades the overall EMC performance for all cables in the conduit. Note that the term conduit includes cable trays where relevant.

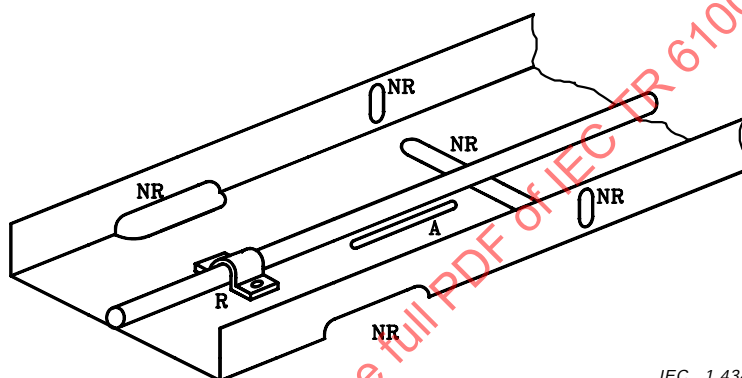
Shields of (multi-lead) cables serve very well as PEC. The coaxial cable is a special case; the outer conductor serves as a path for the DM signal and the CM current. More information about coupling of disturbances into coaxial cables is given in B.3.

7.5.1 Conduits and cable trays as parallel earthed conductors

A conduit or cable tray as PEC should form a continuous metallic structure. When a conduit is made of several shorter parts, care should be taken to ensure this continuity by correct bonding between different parts. Preferably, the parts are welded over their full perimeter. Riveted joints or screwed joints are allowed, provided that the contacting surfaces are good conductors (no paint), and are safeguarded against corrosion.

Il convient de raccorder au conduit de manière appropriée (au point d'entrée) tous les blindages, et d'autres éventuels conducteurs mis à la terre qui pénètrent dans ce conduit, de façon à permettre un échange de courants de mode commun entre ces câbles et le conduit. Dans la mesure où le courant de mode commun circule dans un circuit qui se referme à l'extérieur du conduit, ce courant a également tendance à circuler à l'extérieur, et non à pénétrer dans le conduit.

Les conduits comportent souvent des fentes qui facilitent la pose des câbles. Les moins nuisibles sont les petits trous (figure 19) obturés par des boulons. Une disposition moins favorable pour les fentes est la disposition parallèle au conduit, à une certaine distance des câbles. Les longues fentes parallèles perturbent légèrement la forme du courant de MC et produisent un certain couplage, néanmoins limité. Il convient de ne pas positionner les fentes aux angles d'un conduit, sachant que le courant de perturbation a tendance à s'y concentrer. Les fentes perpendiculaires à l'axe du conduit contraignent ce courant, qui traverse le conduit, à faire un large détour et donc à produire un couplage important. Il est recommandé de ne pas utiliser ce type de fentes.



IEC 1 434/97

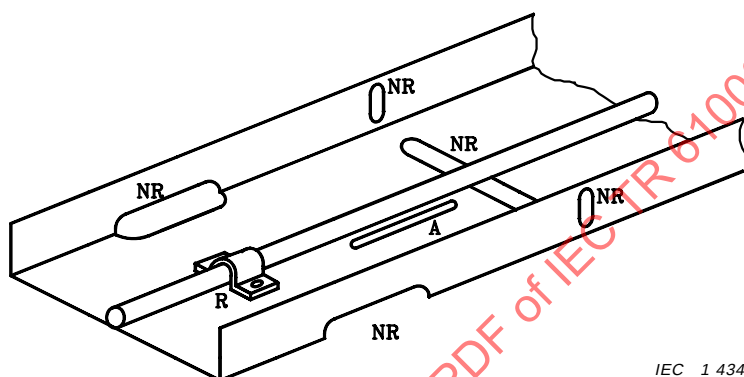
NOTE – Les fentes dans un conduit ou chemin de câbles ne sont pas recommandées dans les positions et selon l'orientation indiquées par NR. Si, en raison de certaines exigences ne concernant pas la CEM, les fentes sont une nécessité absolue, la position la moins mauvaise est celle parallèle à l'axe (A) à une certaine distance des angles. Il est recommandé de fixer solidement les câbles à l'aide de pinces (R) qui enserrent les câbles et sont vissées au conduit. En ce qui concerne la CEM, la principale fonction de ces pinces est de raccorder électriquement au conduit le blindage du câble, ou un autre conducteur de terre parallèle du câble lui-même.

Figure 19 – Fentes dans un conduit ou un chemin de câbles

Les conduits peuvent comporter des embranchements (figure 20) ou d'autres points intermédiaires par lesquels les câbles pénètrent. Les embranchements sont préférables et il convient qu'ils maintiennent intacte la séparation entre l'intérieur et l'extérieur. Les câbles pénètrent le long d'une plaque reliée à une paroi latérale du conduit. Une deuxième solution consiste à raccorder le blindage d'un câble, en veillant à la CEM, au niveau du point d'entrée dans le conduit. Il convient en tout état de cause qu'aucun câble ne pénètre directement dans un conduit en l'absence d'un chemin approprié pour le courant de perturbation qui doit passer à la surface du conduit. Tout gainage isolant protecteur doit être interrompu à cet endroit afin que le contact souhaité puisse être établi.

All shields and perhaps other earthed conductors that enter a conduit should be properly connected to the conduit at the point of entrance. This allows an exchange of the common mode currents between these cables and the conduit. Because the arriving CM current flows in a circuit closing outside the conduit, this current also tends to flow at the outside rather than to enter into the conduit.

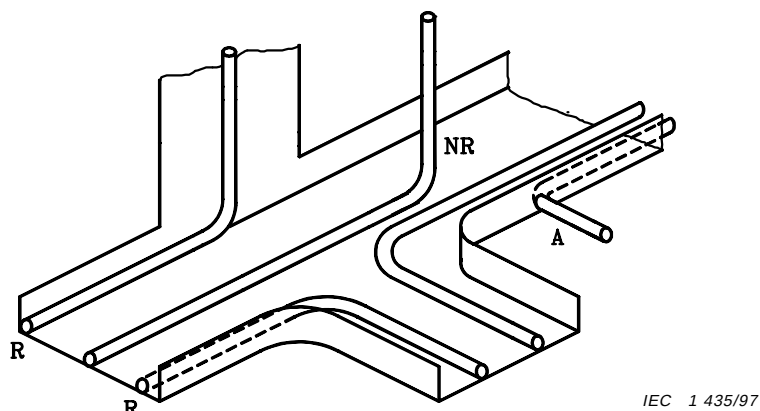
Conduits often have slits for easy attachment of cables. The least harmful of these are small holes (figure 19), filled by bolts. A less desirable position of the slits is parallel to the conduit, at some distance from the cables. Long parallel slits perturb the CM current pattern slightly, and produce some coupling, albeit small. Slits should not be positioned at the corners of a conduit because the disturbance current tends to concentrate there. Slits perpendicular to the conduit axis force the disturbance current through the conduit to make a large detour and thereby produce a strong coupling; these slits are not recommended.



NOTE – Slits in a conduit or cable tray are not recommended at positions and orientation indicated by NR. If, because of some non-EMC requirements, slits are an absolute necessity, the least harmful position is parallel to the axis (A), if possible at some distance from the cables and the corners of the tray. It is recommended to secure cables by clamps (R) over the cable, screwed to the conduit. The primary EMC goal of these clamps is to electrically connect the cable shield, or other PEC of the cable proper, to the conduit.

Figure 19 – Slits in conduits and cable trays

Conduits may have branches (figure 20), or other intermediate points where cables enter. Branches are preferred, and should keep the separation of inside and outside intact. Cables enter along a plate connected to a side wall of a conduit. As a second option, the shield of a cable is properly connected, from the EMC point of view, at the point of entrance into the conduit. Certainly no cable should enter a conduit directly, without a proper path for the disturbance current to feed onto the conduit. An insulating protective sheathing must be interrupted there, in order to allow the desired contact.



NOTE – Il convient qu'un câble partant du chemin de câbles ou du conduit ait son blindage relié, sur toute sa circonférence, au conduit au point de départ (A = cas acceptable). Il convient qu'aucun câble ne parte du conduit (NR) sans qu'un chemin bon conducteur ne soit prévu pour ses courants de MC (voir figure 22 a). Pour des raisons de clarté, cette figure présente un chemin de câbles peu profond. Il est admis qu'il s'agit d'une disposition fortement souhaitable mais parfois difficile à réaliser et pas toujours nécessaire, mais qui peut être utile dans le cas d'installations implantées dans des environnements difficiles.

Figure 20 – Disposition recommandée des embranchements d'un chemin de câbles

Un câble blindé placé dans un conduit peut être assimilé à un câble blindé comportant deux conducteurs externes. Le blindage raccordé aux deux extrémités du conduit peut être décrit comme un câble coaxial avec double blindage, les deux blindages étant interconnectés (voir article B.3).

L'article C.2 présente des calculs détaillés de la valeur de Z_t en fonction de la forme du conduit (matériau utilisé, largeur, profondeur et épaisseur des parois). Le type de conduit à préférer doit être réalisé en acier d'au moins 1 mm d'épaisseur; il convient que le rapport profondeur-largeur soit d'environ 1 ou plus. Un couvercle fermant le conduit réduit également Z_t . Il est préférable de raccorder électriquement ce couvercle au conduit, sur toute sa longueur. Cependant, un couvercle isolé peut également être efficace à haute fréquence, comme envisagé en C.2.3.

7.5.2 Éléments de structures utilisés comme conducteur de terre parallèle

Les éléments métalliques de bâtiments peuvent parfaitement satisfaire aux objectifs de la CEM. Les poutres acier en L, U, T ou H forment souvent une structure continue mise à la terre qui comporte de grandes sections transversales et des surfaces étendues, avec de nombreuses connexions intermédiaires à la terre. Ces matériaux étant épais de plusieurs millimètres, ces poutres ont une Z_t peu élevée déjà à la fréquence industrielle. Les câbles sont de préférence placés contre ces poutres. Les angles internes sont préférés aux surfaces extérieures (figure 21).

NOTE – La position A, moins satisfaisante que R mais encore acceptable du point de vue de la CEM, est susceptible d'être mise en cause pour des raisons de sécurité. La position NR n'est pas recommandée du point de vue de la CEM et est contestable en termes de sécurité.

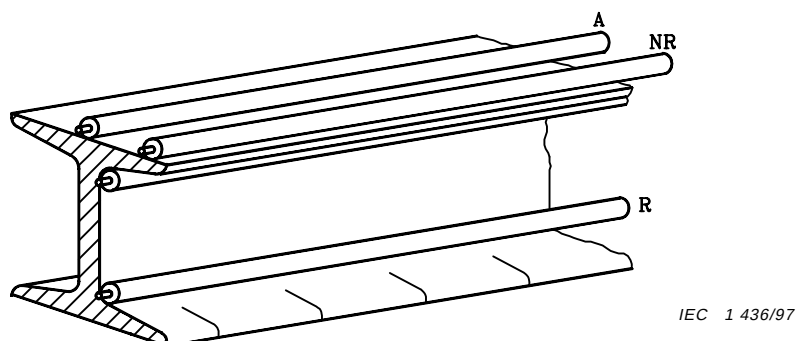
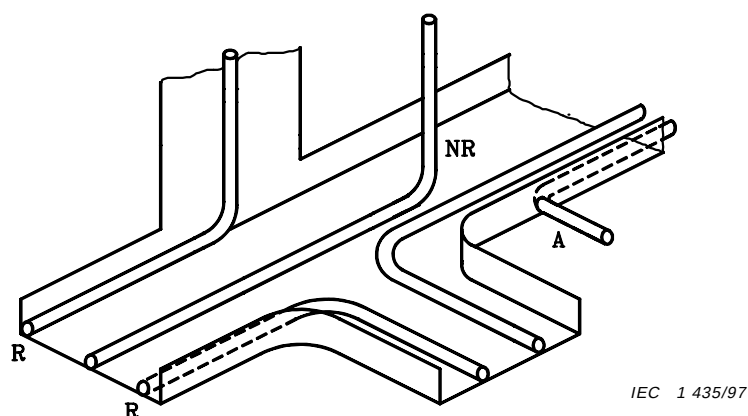


Figure 21 – Position recommandée pour les câbles, parallèlement à une poutre en H, du point de vue de la CEM



NOTE – A cable leaving the conduit should have the shield circumferentially connected to the conduit at the point of departure (A, acceptable). No cable should leave the conduit (NR) without provision of a well-conducting path for its CM current (see figure 22 a) ; compare with R in figure 19. A shallow cable tray is shown in this figure for the sake of clarity. It is recognized that this is a highly desirable arrangement that may not be easy to implement and not always necessary, but it can be useful for installations immersed in harsh environments.

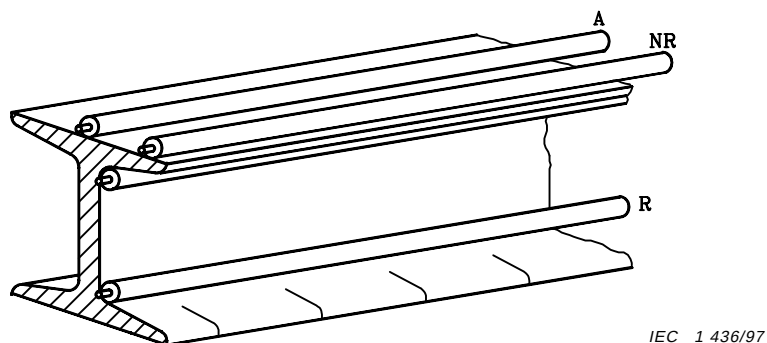
Figure 20 – Recommended configuration for cable trays with branches

A shielded cable inside a conduit can be described in a similar way as a shielded cable with two outer conductors. The shield connected at the conduit at both ends, can be described similarly as a double shielded coaxial cable, with the two shields interconnected (see also B.3).

Detailed calculations of the Z_t as a function of the shape of a conduit (material, width, depth, and wall thickness) are presented in C.2. A preferred type of conduit is made of at least 1 mm steel; the depth over width ratio should be about 1 or larger. A cover closing a conduit also reduces Z_t . It is preferred to electrically connect the cover to the conduit over its full length. However, an insulated cover can also be effective at high frequency, as discussed in C.2.3.

7.5.2 Construction elements as parallel earthed conductors

Metallic construction elements of buildings can serve EMC objectives very well. Steel beams of L-, U-, T- or H-shape often form a continuous earthed structure that offers large cross-sections and large surfaces with many intermediate connections to earth. Because the material is many millimeters thick, such beams already provide a low Z_t at powerline frequencies. Cables are preferably laid against such beams. Inside corners are preferred over the outside surfaces (figure 21).



NOTE – Less preferred than R, but still acceptable for EMC, the position A is likely to be objectionable from a safety point of view. The position NR is not recommended from the EMC point of view, and is objectionable from the safety point of view.

Figure 21 – Recommended cable positions parallel to an H-shaped beam from the EMC point of view

7.6 Raccordement et mise à la terre des câbles et des conducteurs de terre parallèles

Le circuit de MD doit être compact. Le fil de signal et son retour doivent être raccordés aux appareils situés aux deux extrémités du câble. Si le côté retour ou basse tension des accès des deux appareils est mis à la terre, cette règle implique que le fil de retour soit mis à la terre aux deux extrémités du câble.

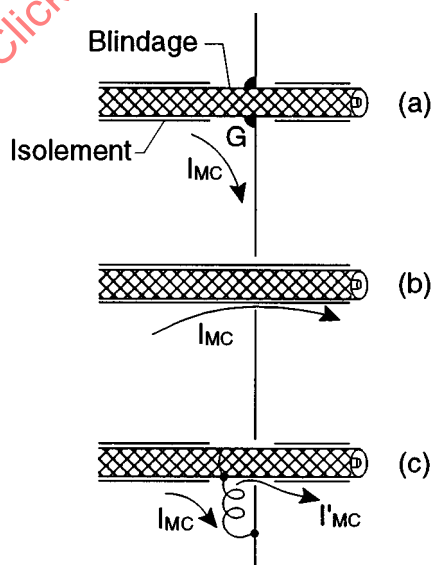
Dans certains cas, le côté basse tension d'un des accès est flottant, ou relié à la terre locale via une impédance élevée. Il convient de s'attendre à une tension en MC élevée au niveau de cette interruption du circuit de MC. Il faut alors que le matériel soit conçu pour accepter cette tension, sur l'ensemble de la plage de fréquence et des amplitudes prévisibles.

Si un PEC est prévu, il convient de le raccorder toujours à la terre locale (de préférence, une large paroi métallique de l'enceinte de l'appareil), aux deux extrémités, de façon que la valeur locale de Z_t soit peu élevée:

- un fil unique, constituant le PEC, est mis à la terre via une connexion courte;
- une plaque ou un conduit constituant le PEC est mis(e) à la terre sur une large section transversale, et de préférence sur l'ensemble de cette section;
- un blindage ou un tube constituant le PEC est mis à la terre sur l'ensemble du périmètre, par des garnitures ou autres moyens appropriés;
- il convient de ne pas utiliser de connexion en queue de cochon (figures 22 et 26) à l'une ou l'autre des extrémités du câble.

Le PEC sert principalement à transporter la majeure partie du courant I_{MC} . Lorsqu'un PEC, par exemple un conduit ou un blindage, est installé correctement, les exigences de CEM pour les circuits de MD qui se trouvent à l'intérieur deviennent moins strictes.

Exemple: un signal de thermocouple (pratiquement c.c.) est transporté par un câble bifilaire blindé; le blindage est relié à la terre à ses deux extrémités. Le thermocouple est également mis à la terre. Le côté basse tension de l'amplificateur d'entrée du récepteur peut être flottant (pour les basses fréquences); la tension en MC entre la basse tension et la terre locale est alors limitée par le PEC.



IEC 1 437/97

NOTE – Quand un câble blindé passe par une des parois métalliques de l'enveloppe d'un appareil ou d'une baie, il convient que son blindage soit raccordé à la paroi (a), sur l'ensemble de son périmètre, de préférence par un presse-étoupe approprié (G). Aucun blindage ne devrait passer par une paroi sans qu'il y ait contact électrique (b). Une connexion en queue de cochon (c) n'est pas recommandée, pas même sous la forme d'un fil droit et court, en raison de la valeur locale élevée de Z_t ; une partie du courant I_{MC} traverserait en effet la paroi, du fait de la présence de la connexion en queue de cochon.

Figure 22 – Traversée d'une paroi par un câble blindé

7.6 Connecting and earthing of cables and parallel earthed conductors

The DM circuit must be compact. At both ends of the cable, the signal and the return lead must be connected to the apparatus. If the ports of both apparatus have their return or low voltage side earthed, this rule also implies that the return lead is earthed at both ends of the cable.

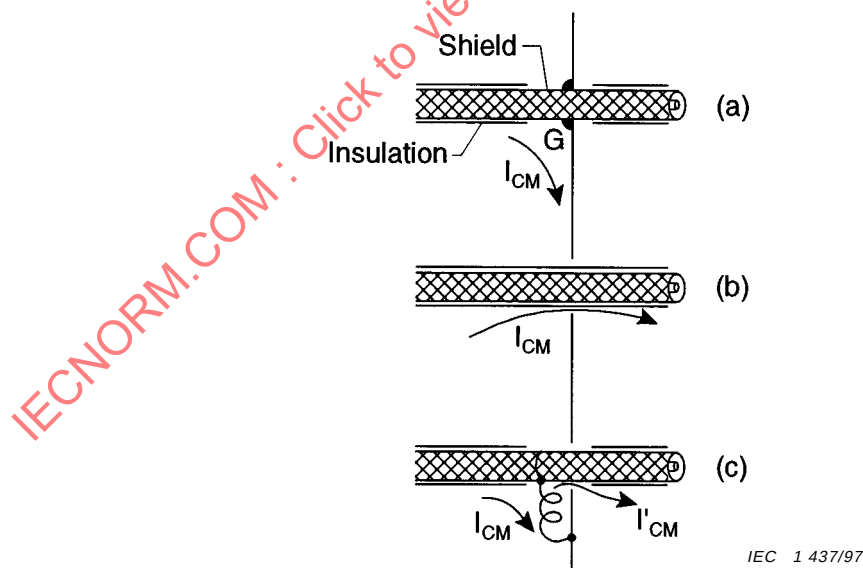
In some cases, one of the ports has the low-voltage side floating, or connected to the local earth via a high impedance; a large CM voltage should be expected over this interruption of the CM circuit. The equipment should then be designed to cope with this CM voltage, over the full spectrum and amplitudes to be expected.

If a PEC is present, it should always be connected to the local earth (preferably a large metal wall of the apparatus cabinet) at both ends, in such a way that the local Z_t is low:

- a single lead as PEC is earthed via a short connection;
- a plate or conduit as PEC is earthed over a large cross-section, preferably the full cross-section;
- a shield or tube as PEC is earthed over the full perimeter, by appropriate glands or other means;
- a pigtail connection (figures 22 and 26) at either end of the cable should not be used.

The main goal of the PEC is to carry the major part of the I_{CM} . When a PEC, such as a conduit or shield, is installed correctly, the EMC requirements for the DM circuits inside become less stringent.

Example: A (quasi d.c.) thermocouple signal is transported over a two-lead cable inside a shield; the shield is connected to earth at both ends. The thermocouple is also earthed. The input amplifier of the receiver can have its low-voltage side floating (for LF); the CM voltage between the low-voltage side and the local earth is limited by the PEC.



NOTE – When a shielded cable runs through a metallic wall of an apparatus enclosure or a cabinet, the shield should be connected over its full perimeter to the wall (a), preferably by an appropriate gland (G). A shield should never run through a wall without electrical contact (b). A pigtail connection (c) is not recommended, not even as a short straight wire because of the high local Z_t ; some part of the I_{CM} will pass through the wall due to the pigtail connection.

Figure 22 – Penetration of a shielded cable through an enclosure wall

En cas de très grandes distances, il est recommandé de prévoir pour le PEC des connexions supplémentaires au réseau de terre, à des intervalles (éventuellement irréguliers) entre les appareils. Ces connexions supplémentaires forment un chemin de retour plus court pour le courant de perturbation qui traverse le PEC. Pour les tubes, blindages et conduits en U, il convient que des connexions de terre supplémentaires soient réalisées à l'extérieur, afin de maintenir la séparation avec l'intérieur.

On peut s'attendre à ce qu'un fort courant de MC risque de traverser le PEC dans les grandes installations industrielles, dans les postes HT, en cas de défauts, ou lorsque le PEC constitue une partie du dispositif de protection contre la foudre. Deux approches sont possibles. La première consiste à concevoir le PEC proprement dit de façon qu'il résiste au fort courant de MC et protège suffisamment les circuits de signal, situés à l'intérieur, par une faible impédance de transfert. D'une manière générale, un blindage de câble utilisé comme PEC risque de ne pas pouvoir supporter ces courants forts. L'autre solution consiste à choisir la topologie du câblage de manière appropriée et à faire courir le câble le long de conduits ou d'éléments de structures métalliques, permettant ainsi à ces derniers de constituer un autre PEC pour le blindage du câble.

Une autre méthode peut être adoptée pour assurer la protection contre les courants de défauts à fréquence industrielle: le courant de perturbation a une fréquence basse dont on connaît la valeur. Un condensateur, qui met à la terre le blindage à une extrémité (terre capacitive), bloque le courant à la fréquence industrielle dans la boucle de courant de MC mais constitue encore un chemin pour les courants de perturbation HF. Cette solution nécessite donc un condensateur de bonne qualité et à faible inductance, implanté de façon que la valeur locale de Z_t soit peu élevée. De plus, l'entrée de l'appareil raccordé doit résister à la tension en MC (élevée) à la fréquence industrielle, ainsi qu'à la composante résiduelle de la tension en MC aux fréquences supérieures. Il convient que ce condensateur ne soit pas inséré dans le blindage car cela produirait une Z_t locale élevée.

7.7 Topologie générale du câblage

Il convient de définir le cheminement du câblage avec soin. Les exigences de CEM dictent le chemin suivi, ainsi que la configuration des conducteurs mis à la terre parallèlement aux câbles (PECs), leur présence, leur raccordement à l'installation de mise à la terre, leur section transversale et leur forme. Dans tous les cas, les exigences de CEM l'emportent sur les considérations pratiques, ou sur la commodité du montage, ou encore sur les aspects esthétiques. Cela n'exclut pas la possibilité que ces considérations secondaires et les exigences de CEM soient satisfaites en même temps.

Pour un signal donné, on pourrait choisir la distance la plus courte possible dans une installation particulière en raison de l'atténuation, de la section transversale en cuivre, etc. Les exigences de CEM modifient ce choix: il faut en effet sélectionner la distance la plus courte correctement protégée.

7.7.1 Cheminement du câblage entre appareils placés dans une baie

Le type de baie à préférer comprend au moins une paroi métallique continue bien reliée à la terre (voir également articles 5 et 6). Les câbles sont de préférence placés contre cette paroi et leur cheminement emprunte la distance la plus courte entre les connexions des appareils.

Il n'est pas recommandé d'utiliser des baies dont les parois ne forment pas un conducteur métallique continu, par exemple celles qui sont peintes avant montage, ou fixées avec quelques vis seulement. Cependant, dans ces enceintes, des poutres verticales ou horizontales peuvent être utilisées comme PEC si les poutres en question sont correctement mises à la terre.

For very long distances, additional connections of the PEC to the earthing system are recommended at (perhaps irregular) intervals between the apparatus. These extra connections provide an early return path for the disturbance current through the PEC. For U-shaped conduits, shields and tubes, the additional earthing connections should be made on the outside, preserving the separation from the inside.

It should be reckoned that large CM current might flow through the PEC in heavy industry, or in high voltage substations, or in the case of power faults, or when the PEC also makes up a part of the lightning protection system. Two approaches are available. First the PEC proper can be designed to withstand the large CM current and to provide sufficient protection for the signal circuits inside by a low transfer impedance. Generally a cable shield as PEC might not be able to cope with these large currents. The alternative approach is then to choose the routing of the cable properly, and to lead the cable along metallic construction elements or conduits, which then act as another PEC for the cable shield.

An alternative solution can be adopted for the protection against power faults because the disturbance current has a known and low frequency. A capacitor, earthing the shield at one end (capacitive earth), blocks the power frequency current in the CM loop, and may still provide a path for HF disturbance currents. Such a solution requires a good quality capacitor of low inductance, mounted in such a way that the local Z_t is low. In addition, the input of the apparatus connected has to withstand the (large) CM voltage at power frequency, and the remaining part of the CM voltage at higher frequencies as well. This capacitor should not be inserted in the shield, as this practice would produce a high local Z_t .

7.7 General routing of cables

The routing of a cable should be carefully designed. EMC requirements dictate the path followed, and the design of earthed conductors parallel to the cables (PECs), their presence, their connection to the earthing structure, their cross-section and shape. In any case, the EMC requirements prevail over practical considerations, convenience of mounting, and aesthetic aspects. This does not exclude the possibility that these secondary considerations and the EMC requirements can be met simultaneously.

For the intended signal, the shortest distance allowed in a particular installation would be chosen because of damping, copper cross-section etc. EMC requirements alter this choice into the shortest distance properly protected.

7.7.1 Routing between apparatus in a cabinet

The preferred type of cabinet has at least one continuous metal wall that is well bonded to earth (see also clauses 5 and 6). Cables are preferably placed against that wall, and are routed via the shortest distance between the connections of the apparatus.

Not recommended are cabinets for which the walls do not form a continuous metallic conductor, such as those painted before mounting, or mounted with only few screws. In such cabinets however, vertical or horizontal beams can be used as PEC if the beams are properly earthed.

Une connexion la plus courte possible entre deux appareils est admise à condition qu'il existe un PEC présentant une Z_t suffisamment faible. Une exception à cette règle peut être constituée par un câble desservant un appareil pour lequel l'immunité en MC (courant et/ou tension) est suffisamment élevée pour toutes les perturbations possibles survenant dans le cadre de l'application concernée.

7.7.2 Cheminement du câblage entre baies

Il est recommandé d'utiliser un câble associé à un PEC. Comme l'indique la figure 18, ce conducteur peut être le fil de terre de protection d'un câble. Un blindage utilisé comme PEC offre néanmoins de meilleurs résultats du point de vue de la CEM. Il est admis que des conduits soient placés parallèlement aux blindages des câbles. Il convient que les blindages ainsi que les conduits soient connectés de manière appropriée à la paroi de la baie: les blindages sur l'ensemble du périmètre au moyen de garnitures adéquates, et les conduits sur l'ensemble de la section transversale.

7.7.3 Cheminement entre installations ou entre bâtiments

En cas de distances plus grandes entre installations, il est souhaitable d'utiliser certains types de PEC. Comme l'indique le paragraphe 7.6, des connexions de terre supplémentaires permettent de réduire le courant de perturbation sur toute la longueur du PEC.

Les câbles sont souvent réunis en faisceaux et placés dans des chemins de câbles. Il convient que les chemins métalliques soient interconnectés, afin de maximiser également leurs propriétés en termes de CEM, et traités comme des PEC. Les chemins de câbles sont connectés au moins aux deux extrémités à la terre et aux appareils alimentés par les câbles qui y sont contenus. Les chemins non conducteurs ne sont pas recommandés, mais peuvent être utilisés lorsque d'autres PEC sont présents. De nombreuses formes de chemins sont possibles: un chemin métallique de type échelle présente une faible atténuation en CEM. Une plaque, un conduit en U, une paroi pleine ou une conduite soudée en continu donnent de meilleurs résultats.

Une échelle est constituée de deux poutres latérales entre lesquelles des barreaux sont insérés. Sur le plan de la CEM, ces poutres latérales revêtent davantage d'importance dans la mesure où elles constituent un chemin pour le courant de perturbation parallèlement aux câbles. En ce qui concerne la Z_t , les poutres peuvent être considérées comme deux fils parallèles, comme indiqué en 7.5.

7.7.4 Distance entre conduits

Divers chemins de câbles ou conduits peuvent être placés en parallèle sur une distance appréciable. La diaphonie MD-MD entre les câbles qu'ils contiennent peut alors devenir importante. La distance respective recommandée entre les câbles placés dans les chemins dépend de deux paramètres: premièrement, de leur qualité en tant que PEC, à savoir une Z_t peu élevée, et, deuxièmement, de la diaphonie MD-MD qui peut nécessiter un blindage contre les champs (magnétiques) provoqués par les courants de MD. Un conduit ou un tube profond et dont les parois présentent une épaisseur suffisante, est à même de satisfaire simultanément à ces deux conditions. Les conduits peuvent souvent être placés à proximité les uns des autres.

The shortest connection between two equipments is allowed provided that a PEC is present which offers sufficiently low Z_t . An exception to this rule may be a cable serving apparatus for which the CM immunity (current and/or voltage) is sufficiently high for all disturbances likely to occur within the environment of that application.

7.7.2 Routing between cabinets

A cable in combination with a PEC is recommended. As is apparent from figure 18, such a PEC may be the protective earth lead in a cable; a shield acting as PEC offers a better EMC performance. Conduits may run parallel to the cable shields. Both shields and conduit should be properly connected to the cabinet wall: shields over the full perimeter by appropriate glands, conduits over the full cross-section.

7.7.3 Routing between installations or between buildings

For larger distances between installations, some appropriate form of a PEC is desirable. As discussed in 7.6, additional earthing connections to the PEC reduce the disturbance current over the length of the PEC.

Cables are often bundled and carried by metal trays. The metal trays should be (inter)connected to maximize their EMC benefits as well, and treated as a PEC. As a minimum, the trays are connected at both ends to earth and to the apparatus served by the cables in it. Non-conducting trays are not recommended, but can be used when other PECs are provided. Many forms of tray are possible: a metal tray of ladder type has a limited EMC quality. A plate, a U-shaped conduit, and a solid wall or continuously welded pipe give a better performance.

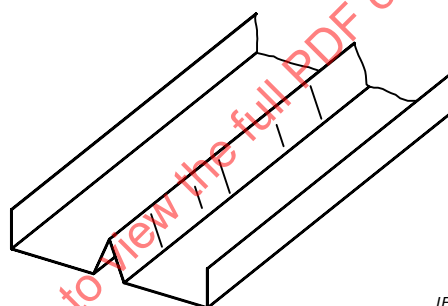
A ladder has two side beams with rungs in between. For EMC, the side beams of a ladder are more important, because they form the path for disturbance current parallel to the cables. As far as Z_t is concerned, the beams can be regarded as two parallel wires as in 7.5.

7.7.4 Distance between conduits

Different cable trays or conduits may run parallel over an appreciable distance. The DM-to-DM cross-talk between the cables they contain may become important. The recommended mutual distance between the cables in the trays depends on two parameters, first on their quality as PEC, which means the low Z_t , second on the DM-to-DM cross-talk, which may require shielding against the (magnetic) fields caused by the DM currents proper. A deep conduit or tube, of sufficient wall thickness can provide both simultaneously; they can often be laid next to each other.

Un cas particulier est constitué par la diaphonie MD-MD entre les câbles qui transportent un courant fort à la fréquence industrielle et les lignes de signaux à faible niveau. Il existe plusieurs possibilités.

- **Un blindage contre le champ magnétique** – Un blindage simple peut entourer les fils monophasés ou triphasés et le neutre. Aux fréquences industrielles, un blindage tressé permet rarement une isolation suffisante contre les champs magnétiques locaux. Il peut donc être nécessaire de prévoir un blindage supplémentaire par le PEC, soit par celui des câbles de la ligne électrique, soit par celui des lignes de signaux. Cette réduction de la diaphonie nécessite des tubes distincts ou des conduits profonds, avec une épaisseur de paroi suffisante, à savoir en acier d'au moins 2 mm (voir la partie "blindage" en B.5, ainsi qu'en 7.5).
- **La réduction du champ magnétique par la topologie** – Le conducteur d'alimentation peut être doté de son propre blindage qu'il convient de raccorder aux appareils à ses deux extrémités. L'induction magnétique provoque un flux de courant dans chaque blindage, de sens opposé au courant qui traverse le conducteur. Le champ magnétique à l'extérieur du blindage est réduit davantage grâce à la position stratégique de chaque blindage que grâce au blindage véritable. On peut obtenir une réduction suffisante en optant pour une solution moins radicale, qui consiste à placer les câbles de transport en parallèle et à proximité les uns des autres et à les fixer directement contre un PEC d'une épaisseur suffisante. Ce montage diminue la taille du circuit de MC. De plus, dans le conducteur parallèle, le circuit en image symétrique est formé, ce qui réduit les champs magnétiques à une certaine distance des fils servant au transport d'énergie. Un conduit ou un chemin de câbles cloisonné (figure 23) permet une réduction supplémentaire par rapport à un conduit simple.

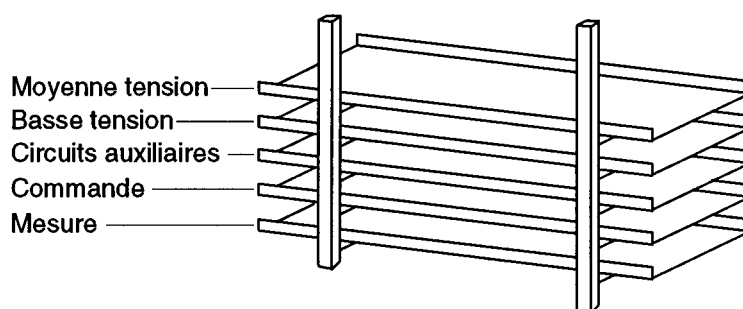


IEC 1 438/97

Figure 23 – Chemin de câbles cloisonné

- **Une réduction du champ magnétique grâce à la distance** – Une troisième solution consiste à maintenir une certaine distance entre les conduits (creux) de différents types de câbles. L'expérience suggère la superposition telle que celle présentée à la figure 24. Il convient que les distances entre les différents conduits soient supérieures à 0,15 m, dans le sens vertical ou horizontal. Le conduit contenant les câbles de mesure sensibles doit de préférence être muni d'un couvercle lorsqu'il est placé à moins de 1 m des câbles de puissance à courant fort.

NOTE – En cas de superposition de conduits ou de chemins de câbles contenant différents types de câbles, il est recommandé de prévoir une distance minimale de 0,15 m entre les chemins de câbles. Il convient de connecter électriquement ces derniers aux supports verticaux et de prévoir un couvercle pour le conduit contenant les câbles de signaux de mesure de niveau bas.

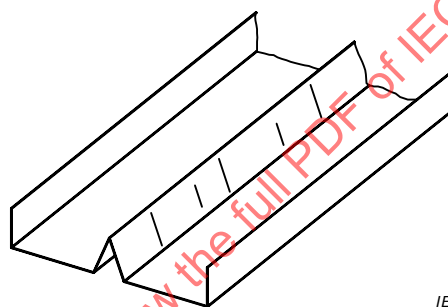


IEC 1 439/97

Figure 24 – Exemple de superposition de conduits ou chemins de câbles

A special case is the DM-to-DM cross-talk between cables carrying high current at power line frequency and low-level signal cables. There are several possibilities.

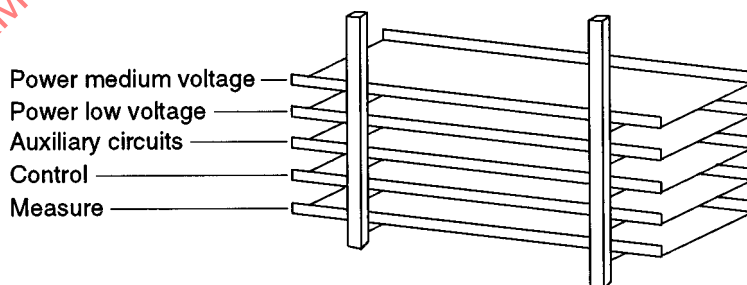
- **Shielding against the magnetic field** – A single shield may surround the single-phase or three-phase leads and the neutral. A braided shield seldom provides sufficient shielding at power line frequencies against the local magnetic fields. Additional shielding by the PEC may be needed, either by the PEC belonging to the power line cables, or by the PEC belonging to the signal cables. This reduction of cross-talk requires separate tubes or deep conduits, with a sufficient wall thickness of at least 2 mm of steel (see shielding in B.5 as well as 7.5).
- **Reduction of the magnetic field by layout** – The power lead may be equipped with its own shield, which should be connected at both ends of the cable to the apparatus. Magnetic induction causes a current flow in each shield, opposite to the current through the lead inside. The magnetic field outside the shield is reduced. This reduction is due to the strategic position of each shield, rather than due to an actual shielding. Sufficient reduction may already be obtained by a less radical solution, when the power line cables are placed parallel and close to each other, and are mounted directly against a PEC of sufficient thickness. This mounting diminishes the size of the CM circuit. In addition, in the PEC the mirror image circuit is formed, which reduces magnetic fields at some distance from the power leads. A conduit or tray with a partition (figure 23) provides further reduction, when compared to a simple conduit.



IEC 1 438/97

Figure 23 – Tray with partition

- **Reduction of the magnetic field by distance** – A third option is to keep some distance between (shallow) conduits for the different types of cable. Experience suggests a stacking order as shown in figure 24. Distances between the different conduits should be larger than 0,15 m, in vertical or horizontal direction. The conduit containing the sensitive measuring cables should preferably be covered when it is at a distance of less than 1 m from the high-current power cables.



IEC 1 439/97

NOTE – In the case of stacked conduits or cable trays containing different types of cables, a minimum distance between the trays of 0,15 m is advised. The trays should be electrically connected at the vertical supports. The conduit for the low-level measuring signals should be covered.

Figure 24 – Example of stacking for conduits or trays

7.8 Faisceaux de câbles

La diaphonie MD-MD entre différents câbles mérite d'être étudiée avec attention. Les câbles qui transportent des signaux similaires peuvent souvent être réunis en faisceaux. On peut établir une distinction (Goedbloed, 1990 [7]) entre les câbles transportant des signaux différents:

- très sensibles: câbles véhiculant des signaux à basse tension ou à courant faible tels que ceux issus de capteurs;
- sensibles: lignes de signaux à ≤ 24 V, câbles plats servant au transfert de données en parallèle;
- indifférents: câbles c.a. de 100 V à 250 V, en fonction des propriétés en CEM de l'appareil connecté;
- bruités: alimentation en c.a. et en c.c. sans protection (filtres ou diodes, par exemple);
- très bruités: reliés à un moteur c.c. avec balais, lignes commutées de transport de puissance, câbles et fils de terre d'un poste de commutation HT, etc.

Il convient de ne pas réunir des câbles de catégories différentes en un même faisceau. Il convient de séparer électromagnétiquement les faisceaux les uns des autres, soit par des blindages (conducteurs externes), soit en plaçant les câbles dans différents conduits. La qualité du PEC détermine la distance à maintenir entre les faisceaux (et leurs PECs). Le paragraphe 7.5 présente des suggestions à cet égard. En l'absence de tout PEC, il convient de maintenir une distance suffisante. L'expérience suggère une distance égale à 10 fois le plus grand diamètre des fils.

Il faut en fait satisfaire à deux exigences parfois contradictoires: premièrement, des circuits compacts pour l'atténuation en mode commun, qui nécessite une courte distance entre les faisceaux et, deuxièmement, une faible diaphonie MD-MD, qui nécessite une certaine distance. Une solution consiste à placer les différents faisceaux dans des blindages ou des conduits distincts. Il convient que les blindages soient suffisamment épais (voir également B.5). Les blindages tressés permettent rarement un blindage aux fréquences industrielles. Un conduit simple peut être cloisonné (une ou plusieurs cloisons, voir figure 23) pour former un ensemble de conduits connectés, mais électromagnétiquement séparés.

Exemples:

- Il convient que les câbles d'entrée et de sortie d'un filtre ne soient pas placés dans le même faisceau. Les courants de perturbation circuleraient en effet autour du filtre via d'autres câbles situés dans le faisceau.
- Un câble bifilaire alimente un relais sans protection (filtre en c.a. ou diode en c.c.). Il convient que ce câble ne soit pas placé dans le même faisceau que des lignes de signaux numériques.

Le couplage MD-MD s'effectue également lorsque les faisceaux de câbles se croisent avec un certain angle, ou perpendiculairement. En l'absence de PEC, il est conseillé de maintenir entre les faisceaux une distance minimale d'environ 10 fois le diamètre des faisceaux. Des distances plus courtes sont admises pour les faisceaux placés dans des blindages ou des conduits de bonne qualité.

7.8 Cable bundles

The DM-to-DM cross-talk between different cables deserves attention. Cables transporting similar signals can often be bundled together. With cables transporting different signals differences may be made (Goedbloed, 1990 [7]) between cables that are:

- very sensitive: cable that carries low-voltage or low-current signals such as those coming from sensors;
- sensitive: signalling cable at ≤ 24 V, flat cable for parallel data transfer;
- indifferent: a.c. power between 100 V and 250 V, depending on the EMC properties of the apparatus connected;
- noisy: a.c. and d.c. relay feed-line without protection (filters or diodes for instance)
- very noisy: leads to d.c. motor with brushes, switched power lines, cables and earth wires in high-voltage switchyard, etc.

Cables of different categories should not be in the same bundle. Different bundles should be separated electromagnetically from each other, either by shields as PEC, or by placing the cables in different conduits. The quality of the PEC determines the distance to be kept between the bundles (and their PECs). Suggestions are given in 7.5. Without any PEC, a sufficient distance should be kept; experience suggests a distance of 10 times the largest lead diameter.

In effect, two sometimes opposing requirements have to be balanced: first, compact circuits for CM mitigation, which ask for a small distance between the bundles, and second, low DM to DM cross-talk which requires some distance. A solution is to place the different bundles in individual shields or conduits. The shield should be of sufficient thickness (see also B.5). Braided shields seldom provide any shielding at powerline frequencies. A single conduit may be divided by a partition (one or more, figure 23) to form a set of connected, but electromagnetically separated, conduits.

Examples:

- The input and output lines of a filter should not be in the same bundle. The disturbance currents will pass around the filter via other cables in the bundle.

A two-lead cable feeds a relay without protective elements such as filters for a.c. and diodes for d.c. This cable should not be in the same bundle with cables for digital signals.

DM-to-DM coupling occurs also when cable bundles cross at an angle, or perpendicularly. Without any PEC a minimum distance between the bundles is advised of about 10 times the bundle diameter. Shorter distances are allowed for bundles in good shields or conduits.

7.9 Câbles alimentant des accès de puissance

7.9.1 Connexion aux accès des appareils

Des câbles correctement isolés et présentant une bonne section transversale de cuivre connectent la source de puissance et les appareils. Les contacts sont boulonnés ou fixés sur des surfaces de métal nu. Il convient d'assortir les métaux de contact afin d'empêcher la corrosion électrochimique même en atmosphère sèche. Il n'est pas admis d'utiliser des fils de cuivre soudés sous un boulon. Des connexions entièrement soudées peuvent être utilisées dans le cas d'applications de faible puissance.

Il convient de placer toutes les connexions des fils à proximité les uns des autres (circuit de MD compact) à l'intérieur d'un appareil ou d'une enceinte. Cette règle s'applique aux connexions c.c., monophasées en ca et triphasées en ca. Dans un réseau triphasé en étoile, il convient de traiter le neutre (N) comme un conducteur de phase et de le maintenir à proximité des conducteurs de phase.

NOTE – Dans les réseaux triphasés, il existe plusieurs dispositions pour le neutre (N) et le conducteur de terre de protection (PE). Du point de vue de la CEM, il faut préférer la configuration TN-S. Le conducteur N distinct et les fils des trois phases forment un ensemble de circuits de MD clairement définis. Le conducteur PE supplémentaire (blindage ou fil) constitue un chemin supplémentaire distinct pour les courants de perturbation.

Il convient de connecter un fil de terre placé dans un câble à la structure métallique d'un matériel ou d'une enceinte, le plus près possible du point d'entrée du câble. Le fil de terre d'un câble peut se prolonger au-delà de cette connexion, à l'intérieur de l'enceinte, à différents matériels (voir 7.3 e)).

Lorsque plusieurs câbles sont raccordés à une enceinte, qui contient par exemple une alimentation électrique, tous les fils de terre sont souvent connectés à un rail de mise à la terre, afin de faciliter le montage. Pour les besoins de CEM, la position correcte de ce rail est à l'extérieur de l'enceinte ou à l'extérieur du compartiment de l'enceinte qui contient des dispositifs électroniques sensibles. Il convient de boulonner ou de souder le rail en de nombreux points, sur toute sa longueur, pour le connecter à la structure métallique de l'enceinte. Pour la mise à la terre, il convient de ne pas utiliser un rail isolé raccordé à l'enceinte par un fil unique. Il convient qu'à l'intérieur d'un appareil, le fil de terre soit connecté au boîtier métallique, sur une longueur la plus courte possible.

Il convient de connecter un blindage de câble aux parois métalliques de l'enceinte, au point d'entrée du câble. Il faut préférer une connexion sur toute la circonférence, qu'il convient d'assurer par un presse-étoupe approprié. Il convient de ne pas utiliser de connexion unifilaire (connexion en queue de cochon, voir figure 22) entre le blindage et la paroi de l'enceinte. Le blindage peut se prolonger après le presse-étoupe et être connecté à la terre locale plus profondément à l'intérieur de l'enceinte.

Les fils de terre placés dans un câble blindé sont traités comme décrit précédemment pour les fils de terre.

NOTE – Les blindages composés de fils d'acier enroulés autour de câbles de puissance sont principalement conçus pour assurer une protection mécanique, et non en vue de la CEM. L'impédance de transfert de ce type de blindage est rarement bien connue, mais peut être faible par rapport à l'impédance de transfert d'un câble de terre simple. Même si ce blindage est grossièrement maillé, il est également recommandé de le connecter par des presse-étoupe, comme décrit ci-dessus.

7.9 Cables serving power ports

7.9.1 Connection to the ports of apparatus

Cables of appropriate insulation and copper cross-section connect the power source and the apparatus. The contacts are bolted or pressed on bare metal surfaces. The contact metals should be matched to prevent electrochemical corrosion even in dry atmosphere. Soldered copper wires are not allowed under a bolt. Fully soldered connections can be used for low-power applications.

All connections of the power leads should be placed close together (compact DM-circuit) inside an apparatus or cabinet. This applies for d.c. power, a.c. single-phase, and a.c. three-phase connections. In a three-phase star system the neutral (N) conductor should be treated like a phase conductor, and kept close to the phase conductors.

NOTE – In three-phase systems several arrangements exist for the neutral and protective earth (PE) conductor. From the EMC point of view, the TN-S system is preferred; the separate N-conductor together with the three phase-leads provide a set of clearly defined DM circuits. The additional PE, either a shield or a lead, provides an extra separate path for the disturbance currents.

An earth lead in a cable should be connected to the metallic structure of an apparatus or cabinet as close as possible to the point of entrance of the cable. The earth lead of a cable may continue after that connection inside the cabinet to different apparatus (see 7.3 e)).

When several cables are connected to a cabinet, for instance containing a power supply, all earth leads are often connected to an earthing rail for convenience of mounting. For EMC purposes, the correct position of this rail is on the outside of the cabinet, or on the outside of the compartment of the cabinet which contains sensitive electronics. The rail should be bolted or welded at many places over its full length to the metallic structure of the cabinet. An insulated rail, bonded by a single lead to the cabinet, should not be used for earthing. Inside an apparatus the earth lead should be connected to the metallic housing via the shortest length possible.

A shield of a cable should be connected to the metallic walls of the cabinet at the point of entrance of the cable. A circumferential connection is preferred; it should be ensured by an appropriate gland. A single-wire connection (pigtail, see figure 22) between the shield and the cabinet wall should not be used. The shield may continue through the gland and be connected to local earth deeper inside the cabinet.

Earth leads in a shielded cable are treated as described above for earth leads proper.

NOTE – Shields consisting of steel wires around power cables are mainly designed for mechanical protection rather than for EMC purposes. The transfer impedance of such a shield is seldom well known, but it may be low, certainly when compared to the transfer impedance of a single earth wire. Even if such a shield is coarsely woven, it is also recommended to connect this type of shield by glands as described above.

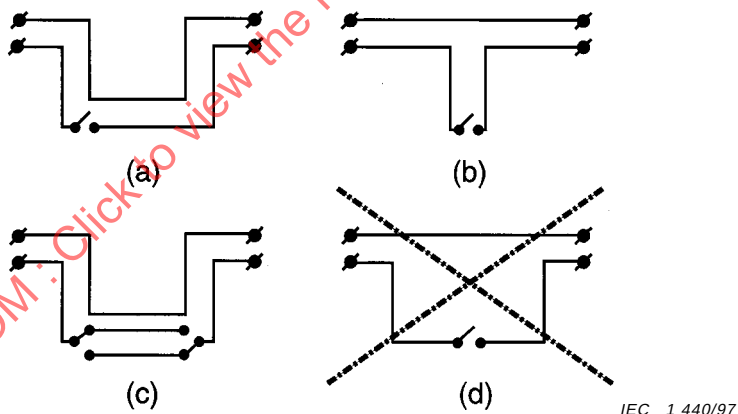
7.9.2 Interrupteurs de puissance entre appareils

Des interrupteurs mécaniques peuvent être placés dans un câble, par exemple dans le cas des circuits d'appareils d'éclairage. Dans toutes les applications, le circuit de MD se compose du fil d'alimentation et de son retour. Il convient que le circuit de MD soit maintenu aussi compact que possible. Cette compacité permet d'éviter un couplage local des perturbations en MD, susceptibles de provoquer des perturbations sur des appareils en d'autres points connectés à la même ligne de puissance. Il convient de prévoir un fil de terre ou un blindage supplémentaire de façon à former un chemin continu pour le courant au niveau de l'interrupteur. Lorsque ce dernier est placé dans un boîtier métallique entièrement fermé, il convient de le traiter comme un matériel, en prévoyant le cheminement du câblage et la connexion des fils d'alimentation et leur retour et, éventuellement, du fil de terre et du blindage, comme décrit ci-dessus.

Deux types d'interrupteurs sont disponibles: un unipolaire ou un bipolaire. L'interrupteur bipolaire, pour alimentation monophasée en c.c. ou c.a., agit sur les deux fils, à savoir le fil d'alimentation et le retour. Il convient de maintenir ces deux fils à proximité l'un de l'autre. Pour les interrupteurs à contact simple, il convient de prévoir un circuit de MD compact. Les fils coupés ou non coupés suivront de préférence le même chemin physique (figures 25a et 25c). Lorsque l'interrupteur est placé à une certaine distance de l'emplacement initial du câble, le fil coupé mène à l'interrupteur et repart en suivant un seul chemin (figure 25b).

7.10 Câbles alimentant des accès de type signal ou contrôle

Le lecteur est prié de se reporter à l'ensemble des règles de CEM énumérées en 7.3. Du point de vue de la CEM, l'installation de câbles et les connexions aux accès de signal et contrôle présentent de nombreux points communs comparables à ceux des accès de puissance.



NOTE – Plusieurs solutions (a, b, c) permettent de maintenir la compacité du circuit de MD lorsque des interrupteurs sont implantés. Ne pas utiliser la configuration (d) pour les fils.

Figure 25 – Topologie des circuits avec interrupteurs

Il n'est pas possible de présenter une classification exhaustive des niveaux de signal et de commande, ni de couvrir toutes les applications. En ce qui concerne les signaux à basse fréquence, certains sont mentionnés ci-après, par niveau croissant:

- thermocouple et microphone (du μV au mV);
- thermistance (du mV au V);
- indicateurs de position ou interrupteurs électroniques
- commandes numériques et signaux similaires de 1 à 24 V;
- signaux de service dans des installations de forte puissance, souvent 42 V ou 110 V;
- boucles de courant à impédance élevée (4 mA à 20 mA), pour signaux analogiques BF.

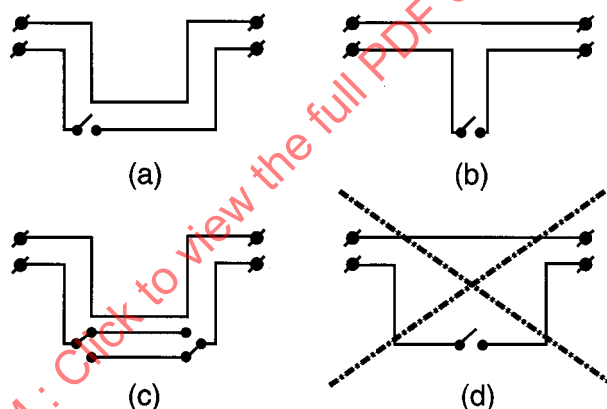
7.9.2 Power switches between apparatus

Mechanical switches may be placed in a cable, for instance lighting fixtures circuits. In all applications the DM circuit consists of the power lead and its return; the DM circuit should be maintained as compact as possible. The compact design avoids a local coupling of DM disturbances, which may cause interference of apparatus at other places connected to the same power line. An additional earth lead or shield should provide a continuous current path at the switch. When the switch is contained in a fully closed metal box, it should be treated as an apparatus proper, with routing and connection of the power lead and its return, and of perhaps the earth lead and shield as described above.

Two types of switches are available, a single-pole or a double-pole design. A double-pole switch, for d.c. or single-phase a.c., acts on both leads, power and return; the two leads should be kept close together. For single contact switches, a compact DM circuit should be ensured. Preferentially the switched and non-switched leads follow the same physical path (figures 25a and 25c). When the switch is at some distance of the original position of the cable, the switched lead goes to and returns from the switch along a single path (figure 25b).

7.10 Cables serving signal and control ports

First the reader is referred to the set of EMC rules in 7.3. From the EMC point of view, the installation of cables and the connections for signal and control ports have many items in common, also with those for the power ports.



IEC 1 440/97

NOTE – There are several solutions (a, b, c) to keep the DM circuit compact when switches are installed. The lead position indicated in (d) should not be used.

Figure 25 – Topology of circuits containing switches

It is not possible to give an exhaustive classification for signal and control levels. Not every application can be covered. For LF signals, some are mentioned here in order of increasing level:

- thermocouple and microphone (μV up to mV);
- thermistor sensors (mV up to V);
- position indicators as electronic rulers or switches;
- digital controls and similar signals between 1 and 24 V;
- signalling voltages in high power installations, often 42 V or 110 V;
- high-impedance current loops (4 mA – 20 mA), often used to transmit LF analogue signals.

Le transfert parallèle de données entre des équipements numériques, tels que des ordinateurs et des imprimantes, constitue un cas de vitesse intermédiaire. Les signaux HF sont les suivants:

- signaux vidéo, télévision en circuit fermé utilisant des courants porteurs HF;
- signaux permettant la communication rapide de données série à l'aide de câbles coaxiaux.

Les câbles alimentant les antennes pour les communications mobiles peuvent en principe être implantés conformément aux recommandations du présent rapport technique.

7.10.1 Choix des lignes de signaux

Le choix du câble, de la connexion et du cheminement du câblage se fonde sur le rapport signal-bruit nécessaire aux deux extrémités du câble, et sur l'immunité en mode différentiel et en mode commun des accès du matériel. Voici une liste indicative de ces câbles:

- Câbles asymétriques: câbles coaxiaux, bifilaires, multifilaires, plats;
- Câbles symétriques: câbles bifilaires sans blindage, câbles bifilaires blindés, câbles plats, faisceaux à paires multiples torsadées, avec ou sans blindage.

Les câbles bifilaires servent principalement pour les signaux à basse fréquence ou pour de l'énergie. Depuis peu, on envisage également d'utiliser ces câbles pour véhiculer des signaux du réseau numérique à intégration de services, de fréquence plus élevée. Les câbles coaxiaux sont quant à eux utilisés pour transporter des signaux à basse et haute fréquence. La largeur de bande disponible est essentiellement déterminée par l'amortissement dû à l'effet de peau dans les conducteurs, ainsi que par la longueur du câble. Les câbles coaxiaux courts peuvent être utilisés jusqu'à plusieurs gigahertz. L'impédance de transfert est le paramètre essentiel pour l'évaluation des performances en CEM du câble, et il convient que les constructeurs la spécifient. Les câbles coaxiaux ou multifilaires qui comprennent plusieurs blindages peuvent présenter une impédance de transfert moins élevée que les câbles à un seul blindage. Il est possible d'interconnecter tous les blindages aux deux extrémités ou à une seule extrémité. Dans ce dernier cas, un chemin pour le courant à haute fréquence est toujours formé par les capacités placées entre les blindages. L'article B.2 présente une analyse plus détaillée de ces points.

Pour les signaux à basse fréquence, il convient de comparer le transport de signaux symétrique et le transport de signaux asymétrique. A basse fréquence tout particulièrement, on peut obtenir des paramètres de transfert peu élevés en utilisant un transport symétrique. Sur toute la longueur du câble, le courant de MC est réparti également entre les deux fils. Il convient que le matériel forme un chemin à faible Z_t pour le courant de MC, grâce à un filtre approprié placé au niveau de l'accès. Il convient en outre de maintenir la symétrie de cet accès sur la plage de fréquences présentant une importance en cas de perturbations. Cela nécessite un bon taux de réjection de mode commun pour l'accès considéré, condition difficile à satisfaire aux fréquences situées en dehors de la bande des signaux utiles. Le transport symétrique se limite donc souvent aux hautes fréquences ou aux fréquences audio.

De préférence, on prévoit pour chaque circuit de signaux en MD un fil de retour indépendant dans un câble multifilaire (circuits de MD compacts), ce qui évite un couplage MD-MD entre les circuits par résistance commune en c.c. et à basse fréquence. Il convient de torsader les câbles bifilaires et les paires de fils placés dans des câbles multifilaires, afin d'empêcher une diaphonie MD-MD de type inductif et capacitif en hautes fréquences. La transition entre basses et hautes fréquences peut survenir à quelques kilohertz, voire à la fréquence industrielle.

NOTE – D'autres normes et documents traitant du câblage des locaux d'utilisateurs ont été publiés ou sont en cours de préparation. Voir par exemple l'ISO/CEI 11801:1995, *Technologies de l'information – Câblage générique des locaux d'utilisateurs*.

Parallel data transport between digital equipment such as computer and printers are a case of intermediate speed. High-frequency signals include:

- video-signals, internal closed television circuits using HF carriers;
- fast serial data communication using coaxial cables.

Cables serving the antennae for mobile communication can in principle also be installed according to the guidelines of this technical report.

7.10.1 Signal cable selection

The choice of the cable, the connection and routing is based on the required signal to disturbance ratio at both ends of the cable, and on the DM and CM immunity of the apparatus ports. A tentative list of cables comprises:

Unbalanced: coaxial, bifilar, multi-lead flat cable.

Balanced: bifilar without shield, shielded two-lead cable, flat cable, multi-twisted pair bundle with and without shield.

Bifilar cables are mainly used for LF signals or power. More recently, it is intended to employ bifilar leads for higher frequency digital system signals. Coaxial cables are used for LF and HF signals; the available bandwidth is mainly determined by the damping due to the skin effect in the conductors, and also depends on the length of cable; short coaxial cables can be used up to many gigahertz. The transfer impedance is most important for evaluation of the EMC characteristic for the cable, and should be specified by the manufacturers. Coaxial cables or multi-lead cables with more than one shield may offer a lower transfer impedance than cables with a single shield. There is the option to interconnect all shields at both ends, or at one end only. In the latter case, a HF current path is always formed by the capacitances between the shields. A more detailed discussion is presented in B.2.

For low-frequency signals, balanced and unbalanced transport should be compared. Especially at LF, low transfer parameters can be obtained with balanced signal transport. Over the length of the cable the CM current is equally divided over the two leads. The apparatus should provide a low Z_t path for the CM current by an appropriate filter at the port. In addition, the balance of the port should be maintained over the frequency range of interest for disturbances. This requires a good common mode rejection ratio of the port. This is difficult to realize at frequencies out of the band of the intended signals. Therefore, balanced signal transport is often limited to LF or audio frequencies.

Preferably, each DM signal circuit is given its own return lead in a multi-lead cable (compact DM circuits). This avoids DM-to-DM coupling between the circuits via a mutual resistance at d.c. and at low frequencies. Bifilar cables and pairs of leads in multi-lead cables should be twisted to prevent inductive and capacitive DM-to-DM crosstalk at higher frequencies. The transition between lower and higher frequencies here may already occur at a few kilohertz, or even at power frequency.

NOTE – Other standards and documents dealing with customer premises wiring have been published or are in preparation. See for instance ISO/IEC 11801:1995, *Information technology – Generic cabling for customer premises*.

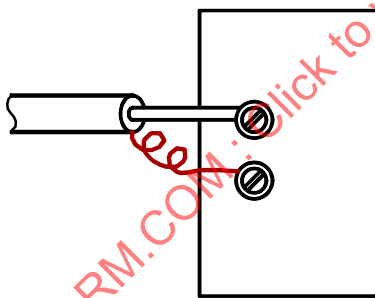
7.10.2 Connecteurs

Il convient que les bornes de signal et de retour soient très rapprochées (circuits de MD compacts) et que les contacts résistent à la corrosion. Il faut, par exemple, préférer les surfaces revêtues d'or à celles revêtues d'argent. Les contacts corrodés peuvent présenter des caractéristiques de courant-tension non linéaires, susceptibles d'entraîner la distorsion du signal utile et le redressement (audio) des perturbations HF. La résistance variable des contacts corrodés peut provoquer une diaphonie non prévisible entre différents circuits de MD. Dans le pire des cas, un connecteur corrodé peut entraîner une Z_t locale élevée et non linéaire.

Il convient d'assortir les deux matériaux des contacts afin d'empêcher des effets de thermocouple au niveau du connecteur, notamment en cas de signaux c.c. de faible amplitude, tels que ceux émis par des sondes de température à thermocouple. Il convient également d'adapter le connecteur au type de câble. Cette adaptation concerne le signal, la tension et le niveau de courant. A haute fréquence, l'impédance caractéristique a également son importance. En vue d'assurer la CEM, cette adaptation concerne aussi les paramètres de transfert, Z_t et Y_t , sur toute la plage de fréquences sur laquelle des perturbations sont prévisibles et sur laquelle les dispositifs électroniques sont sensibles.

Il convient que les câbles coaxiaux soient dotés de connecteurs qui préservent la symétrie coaxiale de bout en bout. Le conducteur externe d'un câble coaxial doit toujours être connecté au circuit de MD, aux deux extrémités du câble. Dans le cas d'accès asymétriques, cela peut nécessiter la mise à la terre du conducteur externe, à ses deux extrémités.

Il convient que les câbles à paire symétrique dotés de blindages utilisent des connecteurs permettant un contact sur toute la circonférence pour le blindage. Il convient d'éviter les connexions en queue de cochon à l'extrémité de tout blindage (figure 26). Si, pour une raison non liée à la CEM, une connexion en queue de cochon se révèle nécessaire, il convient de prévoir, pour le courant de MC, un chemin qui shunte cette connexion. La meilleure solution consiste en une connexion sur toute la circonférence du blindage du câble à une paroi, en un certain point du câble en amont de cette connexion.



NOTE – Une connexion en forme de queue de cochon, placée à l'extrémité d'un câble coaxial, entraîne une Z_t locale élevée. Il convient d'éviter ce genre de connexion pour le raccordement du blindage de tout type de câble, même s'il s'agit d'un fil court et droit, et non du fil bouclé présenté ici.

IEC 1 441/97

Figure 26 – Connexion à éviter pour le raccordement d'un câble coaxial

7.10.3 Cheminement des lignes de signaux et de commande

Il convient que ces cheminements correspondent à ceux décrits en 7.7 et 7.8. Quelques remarques supplémentaires sont notées ci-dessous:

- Les câbles coaxiaux qui transportent des signaux HF peuvent être rassemblés en faisceaux. Il convient que leur Z_t soit suffisamment faible pour éviter une diaphonie MD-MD indésirable. L'installation d'un blindage supplémentaire autour d'un faisceau de câbles coaxiaux permet de réduire le couplage à l'environnement. Le blindage forme un bon chemin pour un courant de MC global, sous réserve que ce blindage soit connecté de manière à garantir la CEM.
- Les fils à paire torsadée sont souvent utilisés pour le signal et la commande à basse fréquence. Ces fils peuvent être rassemblés en faisceaux. Il convient que chaque paire soit de préférence torsadée séparément. Il est utile d'installer un blindage supplémentaire, tel que décrit ci-dessus.

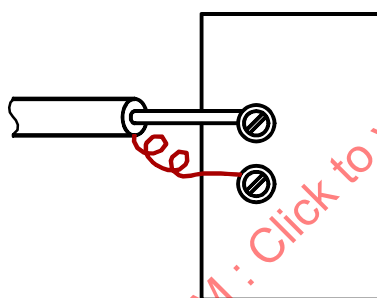
7.10.2 Connectors

Terminals for signal and return should be in close proximity (compact DM circuits). Contacts should be corrosion resistant; for example, gold surfaces are preferred over silver. Corroded contacts may show non-linear current-voltage characteristics; distortion of the intended signal and (audio) rectification of HF disturbances may result. The variable resistance of corroded contacts may cause unpredictable cross-talk between different DM circuits. Worst of all, a corroded connector may result in a high and non-linear Z_t .

Both contact materials should be matched in order to prevent thermocouple effects at the connector, especially in the case of low-amplitude d.c. signals, such as from thermocouple temperature sensors. The connector should match the type of cable. The matching concerns the signal, voltage and current level; at high frequency the characteristic impedance is also important. For EMC purposes the matching also concerns the transfer parameters, Z_t and Y_t , over the full frequency range where disturbances can be expected, and over which range the electronics are sensitive.

Coaxial cables should be fitted with connectors that preserve the coaxial symmetry throughout. The outer conductor of a coaxial cable must always be connected to the DM circuit at both ends of the cable. For unbalanced ports, this may involve earthing of the outer conductor at both ends.

Balanced pair cables with shields should use connectors that allow a circumferential contact for the shield. Pigtails at the end of any shield (figure 26) should be avoided. If for some non-EMC reason a pigtail connection is necessary, the CM current should be given a path circumventing the pigtail. The best way is an circumferential connection of the cable shield to a wall at some point of the cable before the pigtail.



IEC 1441/97

NOTE – A pigtail connection at the end of a coaxial cable results in a high local value of Z_t . Such a pigtail should be avoided as termination for the shield of any cable, even if it is a short straight wire instead of the coiled wire shown in the figure.

Figure 26 – Undesirable connection of a coaxial cable

7.10.3 Routing of signal and control cables

The routing of these cables should be as described in 7.7 and 7.8. Some additional remarks are given below:

- Coaxial cables carrying HF signals can be bundled. The Z_t of the cables should be low enough to avoid unwanted DM-to-DM cross-talk. An additional shield installed around a bundle of coaxial cables reduces coupling to the environment. The shield provides a good path for an overall CM current, provided that it is properly connected in a manner to ensure EMC.
- Twisted-pair leads are often used for low-frequency signal and control. They can be bundled; each pair should preferably be twisted separately. Here again, an additional shield is helpful, as described above.

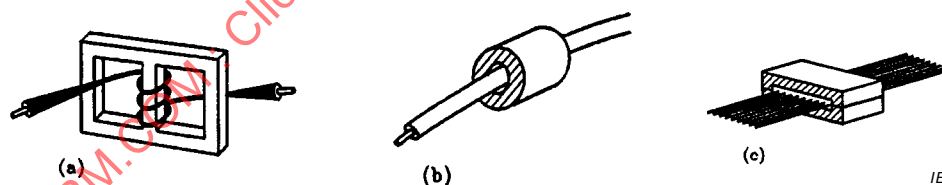
- Il convient de ne pas rassembler en faisceaux des câbles coaxiaux transportant des signaux HF et des paires torsadées connectées à des matériels à basse fréquence. La diaphonie des signaux HF vers les circuits des signaux à basse fréquence peut entraîner un brouillage supplémentaire, en raison des caractéristiques non linéaires des circuits à basse fréquence. La démodulation de la HF simule un signal c.c., ou un signal à basse fréquence lorsque le signal HF fait l'objet d'une modulation d'amplitude.
- On utilise souvent un câble plat pour le transport de données en parallèle entre des matériels numériques. Il convient que chaque ligne de données et chaque ligne de retour soient placées l'un à côté de l'autre. Il n'est pas recommandé de prévoir un seul retour pour plusieurs lignes de données. Le câble plat peut être blindé, avec un blindage de chaque côté. Il convient que les blindages soient connectés aux deux extrémités, sur toute leur largeur, à la (plaque de) terre locale, au moyen de connecteurs appropriés.

8 Autres méthodes d'atténuation des perturbations

Outre les mesures préventives consistant en la mise à la terre, en une mise au même potentiel, et en des cheminements de câblage appropriés, d'autres méthodes d'atténuation font appel au filtrage, au blindage ou à l'installation de dispositifs de protection contre les surtensions. Le présent article décrit brièvement des méthodes d'atténuation supplémentaires liées aux méthodes de câblage et des solutions alternatives au transport de signaux par des supports métalliques.

8.1 Ferrite de mode commun

Des filtres peuvent être placés aux accès des appareils. Il convient que ces filtres créent un chemin approprié pour le courant de MC, avec une Z_i suffisamment faible. Une ferrite de mode commun entraîne une augmentation locale de l'impédance du circuit de MC (ou du circuit intermédiaire, voir annexe C) et par conséquent une réduction du courant de MC (figure 27). Le circuit de MC lui-même reste présent. On obtient une réduction plus ou moins efficace en fonction de l'impédance initiale du circuit de MC. Des noyaux ou des tores de ferrite autour d'un câble constituent une self à un tour dans le circuit de MC. Plusieurs noyaux ou tores peuvent être placés en série. Ni le transformateur ni la ferrite n'affectent le signal de MD. Le transformateur à effet "neutralisateur" constitue un type particulier de ferrite de mode commun, qui est parfois utilisé dans les postes HT.



IEC 1 442/97

(a): self de MC avec câble coaxial. L'inductance de self ainsi créée s'ajoute au circuit de MC, mais non au circuit de MD. (b): rondelle en ferrite entourant un câble coaxial. (c): étrier en ferrite entourant un câble plat. Tous ces dispositifs ont la même fonction.

Figure 27 – Utilisations typiques de ferrites de mode commun

L'inductance supplémentaire créée par la self de MC ou autre ferrite est en concurrence avec l'impédance de la partie restante du circuit de MC, notée $Z_{MC,rest}$. On obtient la plus forte réduction du courant de MC lorsque la valeur de $Z_{MC,rest}$ est d'emblée faible. C'est le cas lorsqu'un conducteur mis à la terre (PEC) est parallèle au câble. Quelques exemples sont donnés ci-dessous:

- une self de MC ou un tore de ferrite entourent un câble placé dans un conduit;
- une ferrite entre deux blindages d'un câble à double blindage force le courant de MC à s'écouler par le blindage extérieur;

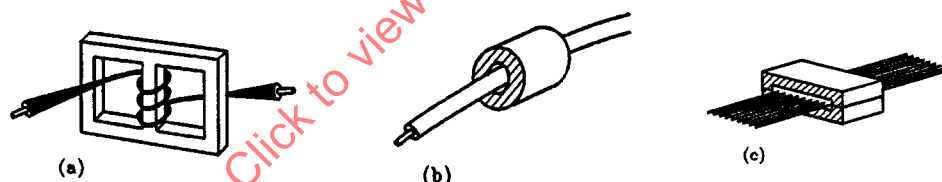
- Coaxial cables, carrying HF signals, and twisted pairs connected to LF apparatus should not be bundled together. Cross-talk of HF signals into LF signal circuits may result in additional interference due to the non-linear characteristics of the low-frequency circuits. Demodulation of the HF simulates a d.c. signal, or a low-frequency signal, when the HF signals are amplitude-modulated.
- A flat cable is often used for parallel data transport between digital equipment. Each data line and return line should be at alternate positions, next to each other. A single return for several data lines is not recommended. The flat cable can be shielded. Two flat shields at both sides are recommended; the shields should be connected at both ends over their full width to the local earth (plate) by appropriate connectors.

8 Additional interference mitigation methods

In addition to the preventive measures of proper earthing, bonding, and cable routing, additional mitigation methods include filtering, shielding, and installation of surge-protective devices. This clause provides a brief description of additional mitigation methods related to cabling methods and alternatives to signal transmission by metallic means.

8.1 Common-mode ferrite choke

Filters can be applied at the ports of apparatus. The filters should establish a proper path for the CM current, of sufficiently low Z_t . A common mode choke provides a local increase of the impedance of the CM (or IM, see annex C) circuit, and thereby reduces the CM current (figure 27). The CM circuit proper remains present. Whether an effective reduction is obtained, depends on the original impedance of the CM circuit. Ferrite cores or beads around a cable are in effect a single turn self inductance in the CM circuit. Several cores or beads may be used in series. Neither transformer nor ferrite affect the DM signal. A special form of the CM choke is the so-called “neutralizing” transformer, which is sometimes applied in high-voltage substations.



IEC 1 442/97

(a): CM choke with a coaxial cable; the self inductance provided by the CM choke adds to the CM circuit, but not to the DM circuit. (b): ferrite bead around a coax (c): ferrite yoke around a flat cable. All these schemes have the same purpose.

Figure 27 – Typical implementations of common-mode ferrite chokes

The additional self inductance provided by the CM choke or ferrite competes with the impedance of the rest of the CM circuit $Z_{CM,rest}$. The reduction of the CM current is largest when $Z_{CM,rest}$ is already low. This is the case when a earthed conductor (PEC) is in parallel to the cable. Examples are:

- a CM choke or ferrite core around a cable in a conduit;
- a ferrite between two shields of a double-shielded cable forces the CM current to flow through the outer shield;

- une ferrite entoure un câble et un fil de terre distinct est placé à proximité;
- des noyaux de ferrite entourent un câble coaxial à des distances irrégulières, le blindage du câble étant connecté au conducteur de terre, entre les noyaux.

On trouve dans le commerce des câbles coaxiaux spéciaux qui comprennent une ferrite placée entre deux blindages. Au niveau de la ferrite de MC, le câble de MD est enroulé en un ou plusieurs tours autour d'un noyau magnétique ou dans l'air. La capacité entre les enroulements et les pertes au niveau de ce noyau limitent son utilisation aux fréquences basses.

8.1.2 Propriétés de la ferrite

Les ferrites sont des matériaux magnétiques dont la perméabilité μ_r varie fortement, à savoir entre 10 et 10 000. Une certaine conductivité existe; la plupart des matériaux présentent également une constante diélectrique importante. Aux basses fréquences, la ferrite est inductive. Aux hautes fréquences, les courants induits et d'autres phénomènes atténuent cette inductance. La transition entre les deux zones de fréquences dépend de la composition et du processus de fabrication.

8.1.3 Quelques remarques sur l'utilisation des ferrites

Lorsqu'un câble est entouré de ferrites, des résonances ou des ondes stationnaires peuvent se produire dans le circuit de MC. Les fréquences de résonance sont beaucoup plus basses que ce que l'on pourrait attendre par rapport aux multiples de la demi-longueur d'onde de la longueur du câble, à la fois en raison des valeurs μ_r et ϵ_r de la ferrite. Pour assurer la CEM, les pertes sont bienvenues dans la mesure où elles ont tendance à atténuer les résonances.

On peut également enrouler des ferrites autour de câbles dépourvus de conducteurs parallèles. Il convient de placer les noyaux ou les rondelles à proximité du point de connexion des câbles à l'appareil. La réduction du courant I_{MC} entraîne une diminution des émissions rayonnées. Selon l'impédance de la boucle de courant I_{MC} complète, les ferrites feront ou non diminuer la sensibilité globale au brouillage.

Dans le cas de forts courants de MC, la ferrite peut être saturée et perdre son efficacité, par exemple sous l'effet de défauts ou de coups de foudre. L'hystérésis peut empêcher le fonctionnement normal de la ferrite saturée. On peut également utiliser des anneaux de taille suffisante autour des câbles de puissance. Même en cas de courants de MD plus forts, il est rare qu'une saturation se produise.

Quelle que soit l'application envisagée, il convient de consulter les indications du fabricant pour choisir la ferrite acceptable en termes de CEM.

8.2 Séparation électrique

La séparation électrique permet souvent d'augmenter l'impédance du circuit de MC. Cette séparation peut être efficace en c.c. et aux basses fréquences, mais elle se dégrade aux fréquences plus élevées, en raison de capacités parasites parallèles. On fait généralement appel à un transformateur d'isolement, à des fibres optiques ou à des optocoupleurs. Sous réserve d'apporter un certain soin à leur utilisation, ces dispositifs peuvent être utilisés pour assurer la CEM.

- a ferrite around a cable with a separate earth lead nearby;
- ferrites cores around a coaxial cable at irregular distances, with the cable shield connected to the earth conductor between the cores.

Special coaxial cables with ferrite between two shields are commercially available. The CM choke has several or many turns of the DM cable around a core of magnetic material or air; capacitance between the windings and core losses limit its use to lower frequencies.

8.1.2 Properties of ferrite

Ferrites are magnetic materials, with a permeability μ_r varying over a wide range, between 10 and 10 000. Some conductivity is present; most materials also have a substantial dielectric constant. At low frequencies, ferrite provides inductance. At higher frequencies the induced currents and other mechanisms make the inductance become lossy. The transition between the two frequency regions depends on the composition and fabrication process.

8.1.3 Some considerations on the application of ferrites

With ferrites around a cable, resonances or standing waves may occur in the CM circuit. The resonance frequencies are substantially lower than expected from multiples of half wavelength on the length of cable, due to both the μ_r and the ϵ_r of the ferrite. For EMC, the losses are welcome as they tend to dampen resonances.

Ferrites may also be used around cables without parallel conductors. The cores or beads should then be mounted close to the point where the cables are connected to the apparatus. The reduction of the I_{CM} results in a lower emission of radiation. It depends on the impedance of the full I_{CM} loop whether ferrites decrease the overall susceptibility for interference.

For large CM currents, the ferrite may saturate, and become ineffective. This may be caused by power faults and lightning. Hysteresis may prevent normal operation of the ferrite after saturation. Rings of sufficient size can also be used around power cables. Even for higher DM currents, saturation hardly occurs.

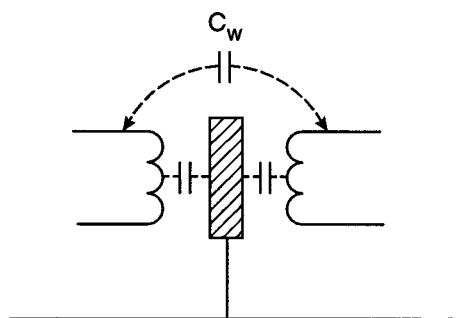
In any application, manufacturer data should be consulted in the selection of the ferrite for EMC.

8.2 Electrical separation

Electrical separation is often employed to increase the impedance of the CM circuit. This separation may be effective at d.c. and low frequencies, but deteriorates at higher frequencies because of parallel parasitic capacitances. Typically an isolation transformer, optical fibres, or optocouplers are employed. Provided that some care is taken in their application, these devices can be used for EMC.

8.2.1 Transformateurs d'isolement

La boucle de courant de MC est interrompue par la séparation électrique entre les enroulements primaire et secondaire. Il convient que la capacité de tenue de la tension de MC entre ces enroulements soit suffisamment élevée pour résister à toutes les perturbations prévisibles. Un couplage intempestif entre les enroulements primaire et secondaire, tant MC-MC que MC-MD, se produit par le biais de la capacité parasite C_w . Les écrans électrostatiques, placés entre les enroulements et qu'il convient de mettre correctement à la terre, réduisent la capacité entre les enroulements et créent des chemins bien définis et distincts pour les courants de MC, via les câbles connectés aux différents enroulements. Il convient que les câbles ou les fils reliés au transformateur soient séparés de façon que le transformateur ne soit pas contourné via une capacité parasite survenant en un autre point. Là encore, il convient de considérer l'ensemble des perturbations possibles.



IEC 1 443/97

NOTE – Un transformateur d'isolement interrompt la boucle de courant de MC à basse fréquence. Aux fréquences supérieures, les capacités parasites C_w entre les enroulements primaire et secondaire et une capacité analogue entre les câbles du transformateur forment un chemin potentiel pour le courant de MC. Pour plus de clarté, la capacité C_w n'est indiquée qu'entre les fils supérieurs, mais en fait elle est répartie entre les deux enroulements et les connexions.

Figure 28 – Limites de l'efficacité d'un transformateur d'isolement

8.2.2 Fibres optiques

Le signal de MD est converti en un signal lumineux modulé, véhiculé par la fibre. Lorsque les fibres sont choisies correctement, la bande passante est large et l'atténuation du signal lumineux est faible. Les remarques qui suivent sont importantes du point de vue de la CEM:

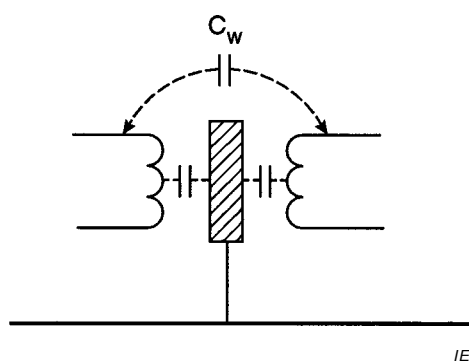
- il convient que la tenue en CEM du matériel émetteur et du matériel récepteur soit suffisante, en ce qui concerne les courants de MC provenant des fils de signal et des alimentations électriques,
- il convient que la fibre elle-même soit exempte de tout métal. Cette règle concerne le métal ajouté pour assurer la protection mécanique de la fibre, les fils d'alimentation électrique parallèles à la fibre, ainsi que l'éventuel revêtement métallique de la fibre destiné à la protéger contre l'humidité. Tout métal formera une boucle de courant de MC passant par un accès très sensible. Il est très probable que cette boucle soit inattendue et constitue donc une source de brouillage.

8.2.3 Optocoupleurs

Les optocoupleurs remplissent la même fonction que les transformateurs d'isolement. En ce qui concerne la CEM, la capacité parasite C_{dt} entre la diode électroluminescente et le phototransistor est un élément important. Un courant de MC HF qui traverse cette capacité traverse également le transistor et risque de l'enclencher par inadvertance. Les fils reliés à l'optocoupleur peuvent également former un contournement pour les perturbations HF, via la capacité parasite C_f .

8.2.1 Isolation transformers

The CM loop is interrupted by the electrical separation between the primary and secondary windings. The CM voltage withstand capability between the windings should be high enough for all disturbances that are expected. Unwanted coupling between primary and secondary, both CM-CM and CM-DM, occurs via the parasitic capacitance C_w . Electrostatic shields, which are placed between the windings and which should be properly earthed, reduce the capacitance between the windings, and provide well defined and separated paths for the CM currents through the cables connected to the different windings. The cables or wires connected to the transformer should be separated in such a way that the transformer is not bypassed via parasitic capacitance elsewhere. Again, the full spectrum of possible disturbances should be considered.



NOTE – An isolation transformer interrupts the CM loop for low frequencies. At higher frequencies, the parasitic capacitances between the primary and secondary winding C_w and a similar capacitance between the wiring of the transformer form a possible CM current path. For the sake of clarity, the capacitor C_w is only drawn between the upper wires. In fact, this capacitor is distributed between both windings and all connecting wires.

IEC 1 443/97

Figure 28 – Limitations in the effectiveness of an isolation transformer

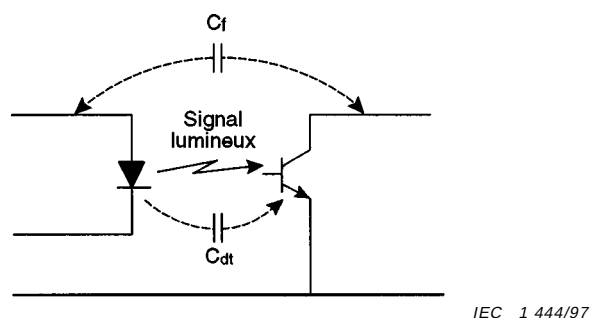
8.2.2 Optical fibres

The DM signal is converted into a modulated light signal, which is sent through the fibre. Large bandwidth and low attenuation for the light signal is available when the fibres are properly chosen. For EMC the following remarks are important:

- the EMC of the send and receive apparatus should be sufficient, with respect to the CM currents arriving via the signal leads and power supplies;
- the fibre proper should be free of metal. This rule concerns metal added for mechanical protection of the fibre, or power supply leads parallel to the fibre, but also the possible metal cladding of a fibre for protection against moisture ingress. Any metal will form a CM current loop which passes through a very sensitive port. Most likely, this loop will be very unexpected, and therefore a source of interference.

8.2.3 Optocouplers

Optocouplers serve a similar goal as isolation transformers. For EMC the parasitic capacitance C_{dt} between the light emitting diode and the phototransistor is important. A high-frequency CM current through this capacitance flows through the transistor, and may cause erroneous switching of this transistor. The leads to the optocoupler can form a bypass for HF disturbances through the parasitic capacitance C_f .



NOTE – Un optocoupleur composé d'une diode électroluminescente et d'un phototransistor interrompt la boucle de courant de MC à basse fréquence. Aux fréquences supérieures, la capacité C_f entre les fils et la capacité C_{dt} entre la diode et le transistor contournent l'optocoupleur. De plus, le courant de MC passant dans C_{dt} pourrait débloquer par erreur le phototransistor, même en l'absence de signal de la diode.

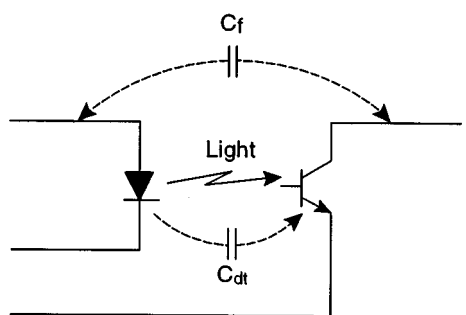
Figure 29 – Couplage parasite en haute fréquence

9 Méthodes de mesure et d'essai

9.1 Mise et à la terre et mise au même potentiel

Il n'existe aucune méthode de mesure HF générale et reconnue ou normalisée, ni aucun critère précis concernant l'impédance entre deux points d'un système de terre. Cependant, l'objectif fondamental est d'abaisser cette impédance à la valeur la moins élevée possible. Dans cette optique, la procédure suivante donne aux utilisateurs des indications relatives à la conception d'un nouveau système de terre:

- a) Définir les besoins:
 - déterminer quels sont les systèmes à implanter et à protéger;
 - disposer d'une documentation et l'utiliser.
- b) Utiliser une bonne prise de terre (considérations de sécurité):
 - déterminer les caractéristiques du sol;
 - données géologiques;
 - présence d'un ou de plusieurs systèmes de terre.
 - améliorer les caractéristiques du sol, si nécessaire.
- c) Implanter un bon réseau de terre (considérations de CEM):
 - choisir la configuration optimale;
 - le réseau maillé est recommandé, à moins que l'application prévue ne dicte une autre approche ayant fait ses preuves;
 - renforcer le maillage (augmenter la densité des cellules) dans les zones critiques.
- d) Assurer la maintenance du système de terre:
 - vérifier la résistance des connexions de mise au même potentiel;
 - nettoyer les connexions (corrosion);
 - entretenir les revêtements protecteurs;
 - vérifier le serrage des connexions vissées et boulonnées.



IEC 1444/97

NOTE – An optocoupler consisting of a light-emitting diode and a phototransistor interrupts the CM current loop at low frequencies. At higher frequencies the capacitance between the leads C_f , and the capacitance between the diode and transistor C_{dt} by-pass the optocoupler. Furthermore, the CM current through C_{dt} may erroneously turn on the phototransistor, even without any light from the diode.

Figure 29 – Parasitic coupling at high frequencies

9 Measuring and testing methods

9.1 Earthing and bonding

There are no general, recognized, or standardized methods for high-frequency measurements nor precise criterion for the impedance between two points of an earthing system. Nevertheless, the fundamental objective is to reduce this impedance to the lowest possible value. From this point of view, the following procedure gives some guidance to users for the design of a new earthing system.

a) Define the needs:

- know the systems to be installed and protected;
- have documentation and use it.

b) Implement a good earth electrode (safety considerations):

- know the soil;
 - geological aspects;
 - other existing earthing system(s);
- improve the soil if necessary.

c) Implement a good earthing network (EMC considerations):

- select optimal layout;
- a single meshed network is the recommended practice, unless the application dictates another well-proven approach;
- reinforce mesh (tighter cells) in critical areas.

d) Maintain the earthing system:

- check bonding connection resistance;
- clean connections (corrosion);
- maintain protective coatings;
- keep screwed and bolted connections tight.

9.2 Câbles et installation

Un certain nombre d'essais sont proposés dans les documents connexes relatifs à la CEM, tels que les normes de la série CEI 61000-4 ou la méthode de Bersier d'injection de courant. Tous les essais prévoient le couplage, capacitif ou inductif, d'un courant (de MC ou de MD) à l'intérieur du câble. Le courant lui-même n'est pas toujours mesuré. On détecte plutôt ses effets sur les appareils. Il convient de déterminer si l'essai prescrit permet une représentation raisonnable des perturbations réelles. Cependant, il reste entendu qu'aucune spécification d'essai ne peut prétendre simuler toutes les perturbations possibles. L'essai prescrit peut constituer le fondement d'un accord commercial ou juridique entre des parties, dans l'espoir que la conformité aux prescriptions d'essai augmente la probabilité que l'installation aura des performances satisfaisantes dans les conditions réelles.

Toutes les recommandations ont pour objet d'obtenir une tension de perturbation en MD peu élevée aux accès des appareils. Lorsque l'impédance en MC de l'accès est élevée, il convient également de vérifier que la tension en MC se situe dans les limites supportées par le matériel. Il convient de concevoir l'équipement de mesure avec soin, afin que sa présence n'introduise pas de phénomènes parasites. Sur le plan de la CEM, il convient que la qualité de l'équipement de mesure soit également suffisante et que sa bande passante soit adaptée aux perturbations. En particulier, lorsqu'un défaut ou un arc est susceptible de se produire à proximité, il faut préférer un équipement présentant une vitesse de fonctionnement de l'ordre de la nanoseconde.

Les appareils sont susceptibles d'être soumis à des phénomènes parasites qui affectent leur fonctionnement normal, ou des tensions excessivement élevées peuvent être observées. On détermine d'abord les courants de MC le long des câbles, à leur point de connexion au matériel. Les courants de MC aux points plus éloignés sont ensuite mesurés. Le présent rapport technique propose des solutions pour détourner les courants de MC, ce qui permet de réduire les perturbations.

9.2 Cables and installation

A number of tests are proposed in related EMC documents, such as the IEC 61000-4 series or the Bersier current injection method. All tests couple a current (CM or DM) into the cable, either capacitively or inductively. The current itself is not always measured; rather, the effect on the apparatus is detected. It should be established whether the prescribed test is a reasonable representation of the actual disturbances; however, it must be understood that no test specification can pretend to emulate all possible disturbances. The prescribed test can be basis for a commercial or legal agreement between parties, with the expectation that meeting the test requirements enhances the likelihood of satisfactory performance of the installation under real-world conditions.

The objective for all guidelines is to obtain a low DM disturbance voltage at the ports of the apparatus. When the CM impedance of the port is large, it is necessary to also verify that the CM voltage is within the limits of the apparatus. The measuring equipment should be carefully designed, in order not to introduce interference by its presence. The EMC quality of the measuring equipment proper should also be sufficient. The bandwidth of the measuring set-up should be adapted to the disturbances. Especially when breakdown and arcing occurs nearby, nanosecond-fast equipment is preferred.

Interference of the normal operation of the apparatus may occur, or unacceptably high voltages may be found. First the CM currents along the cables are determined at the position where they are connected to the apparatus. Secondly, the CM currents at locations farther away are measured. This technical report provides a number of solutions to reroute the CM currents, and thereby reduce the disturbances.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 61000-5-2:1997

Annexe A (informative)

Exemples de systèmes de terre et d'implantation des câbles

Le système de terre décrit à l'article 5 (configuration maillée) constitue la procédure recommandée dans le cas général d'une nouvelle installation, en particulier si le bâtiment doit être occupé par des organismes ou entreprises qui ne disposent pas de pratiques de maintenance bien établies en matière de CEM. Le présent rapport technique a déjà souligné le fait que d'autres démarches sont reconnues efficaces, comme l'a démontré leur mise en application réussie, en particulier par des entités qui ont les moyens et le pouvoir de mettre en oeuvre des pratiques de maintenance cohérentes en termes de CEM. Les figures suivantes illustrent la diversité des pratiques réussies:

- la figure A.1 représente la configuration d'une installation de télécommunication telle qu'elle était décrite dans la directive K.27 de l'ancien CCITT;
- la figure A.2 représente la topologie d'une enceinte à cinq faces qui assure la CEM dans un environnement hostile;
- les figures A.3 et A.4 représentent des exemples du système de terre pour des dispositifs électroniques à forte puissance;
- les figures A.5 et A.6 représentent un cas d'amélioration dans la pratique de câblage aux fins d'assurer la CEM.

A.1 Liaison hybride

Cette configuration est un exemple des pratiques applicables lorsque l'exploitant ou le propriétaire d'un site donné exerce un contrôle total sur la nouvelle installation. Cette configuration est utilisée avec succès depuis de nombreuses années, notamment à l'intérieur de bâtiments existants qui doivent accueillir de nouveaux matériels en association avec ceux existant. Elle crée des interfaces nettement définies pour les essais de réception en CEM et délimite les responsabilités des différents fournisseurs et utilisateurs d'un système (Montandon, 1992 [4]). La figure A.1 illustre schématiquement cette approche, décrite dans les directives du CCITT (devenu UIT-T).

Annex A (informative)

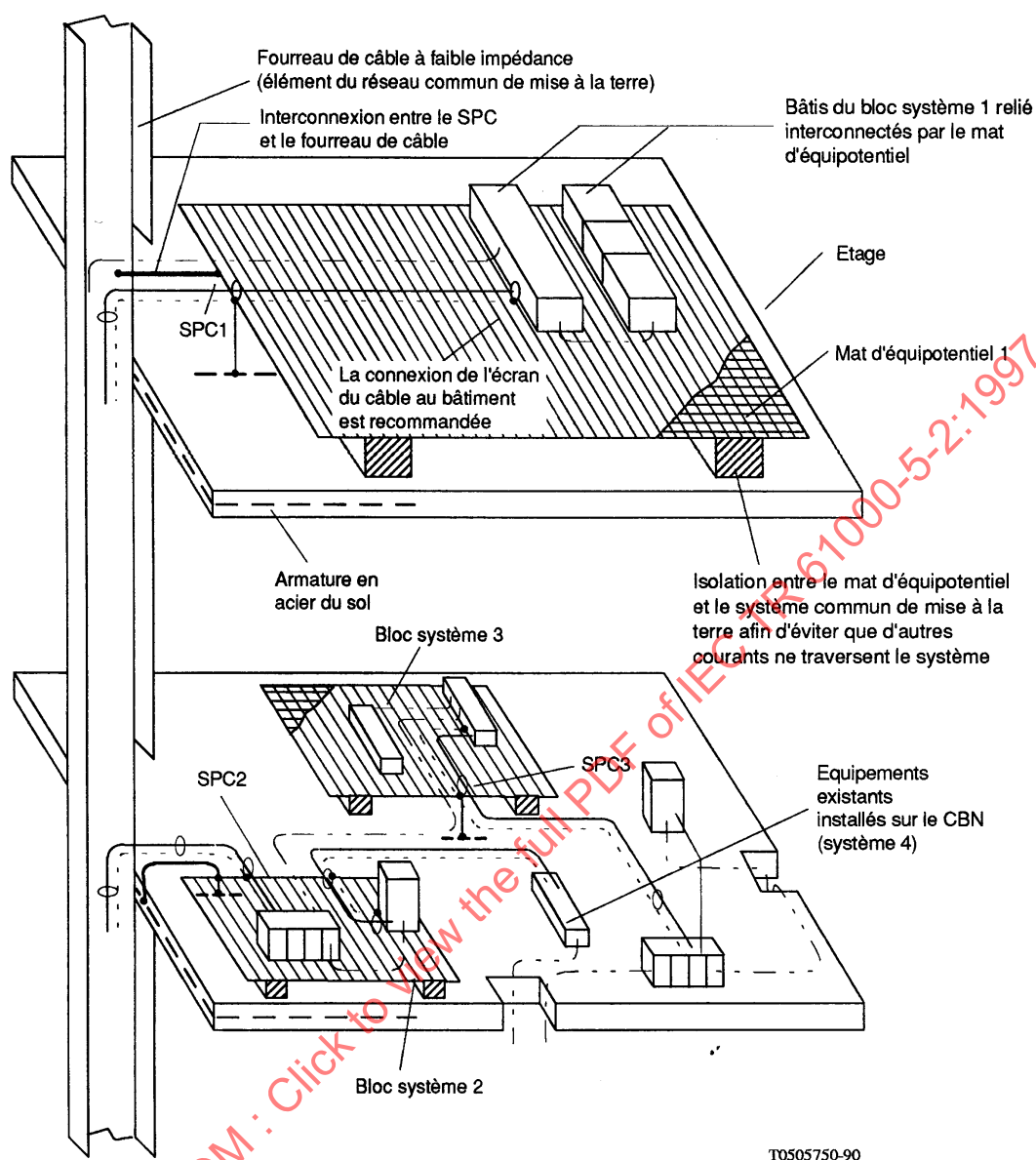
Examples of earthing systems and cable implementation

The earthing system described in clause 5, a meshed configuration, is the recommended approach for the general case of a new installation, in particular when the building is to be occupied by organizations that do not have well-established EMC maintenance practices. It has been emphasized in this technical report that other approaches are recognized as being effective, as demonstrated by their successful application, in particular by organizations that have the means and the authority to apply consistent EMC maintenance practices. The following figures illustrate examples of the variety of practices that have been successfully applied.

- Figure A.1 shows the arrangement of a telecommunication facility according to the directive K.27 of the former CCITT.
- Figure A.2 shows the topology of a cabinet limited to five sides only, providing EMC in a harsh environment.
- Figures A.3 and A.4 show examples of earthing systems for high-power electronics.
- Figures A.5 and A.6 show a case history of improvements in wiring practice for EMC.

A.1 Hybrid bonding arrangement

This arrangement is an example of practices applicable where the operator/owner of the facility has complete control over the new installation. It has been successfully applied for many years, especially within existing buildings when new equipment needs to be installed in combination with existing equipment. It provides clear-cut interfaces for EMC acceptance tests and demarcation of responsibilities for different system suppliers and users. (Montandon, 1992 [4].) Figure A.1 illustrates a schematic of such an approach as described in CCITT (now UIT-T) directives.



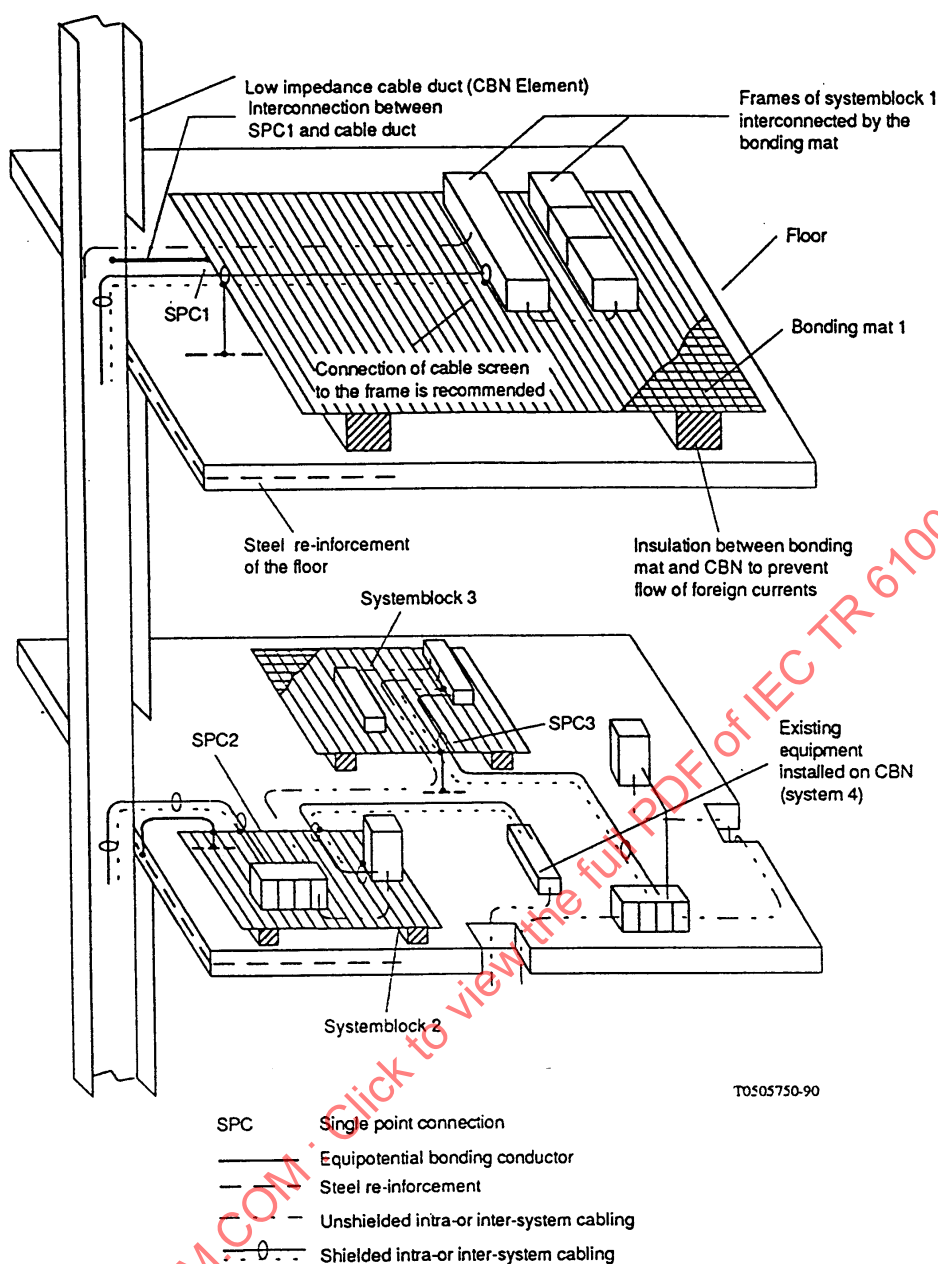
Remarque 1 – Les blocs système 1, 2 et 3 sont de nouvelles installations se conformant à la méthode à IBN maillé. Ils peuvent être reliés à des installations existantes (système 4) faisant appel à n'importe quelle méthode de liaison équipotentielle.

Remarque 2 – La SPC est la seule interface métallique entre l'IBN maillé et le CBN. Elle doit être directement reliée à l'armature du sol. Tous les câbles conduisant au système entrent par ce point. Tous les conducteurs qui sont reliés à l'IBN maillé doivent être connectés à la SPC (par exemple, conducteur écran du câble, retour de batterie d'accumulateurs, etc.).

IEC 1 445/97

NOTE – Cette configuration repose sur le concept de zonage. Les blocs systèmes 1, 2 et 3 constituent de nouvelles installations respectant scrupuleusement le principe de la liaison hybride. Ces blocs systèmes peuvent être connectés à des blocs existants (bloc 4) qu'il n'est pas besoin de modifier. Pour plus de détails sur la mise en oeuvre, se reporter à la source indiquée ci-dessus.

Figure A.1 – Exemple de configuration d'un réseau de terre hybride



Note 1 – Systemblocks 1, 2 and 3 are new installations conforming to the mesh-IBN method. They may be connected to existing installations (system 4) that use any method of bonding.

Note 2 – The SPC is the only metallic interface between the mesh-IBN and the CBN. It must be directly connected to the reinforcement of the floor. All cables leading to the system enter here. All conductors that are bonded to the mesh-IBN must be connected to the SPC (e.g. cable screens, battery return, etc.).

FIGURE B-2/K.27
 Mesh-IBN with bonding-mat

IEC 1 445/97

NOTE – This topology is based on a zoning concept. System blocks 1, 2, and 3 are new installations strictly respecting the hybrid-bonding principle. They may be connected to existing systems (system 4) that need not be changed. See the source cited above for details of implementation.

Figure A.1 – Example of topology for a hybrid earthing system

A.2 Enceinte CEM

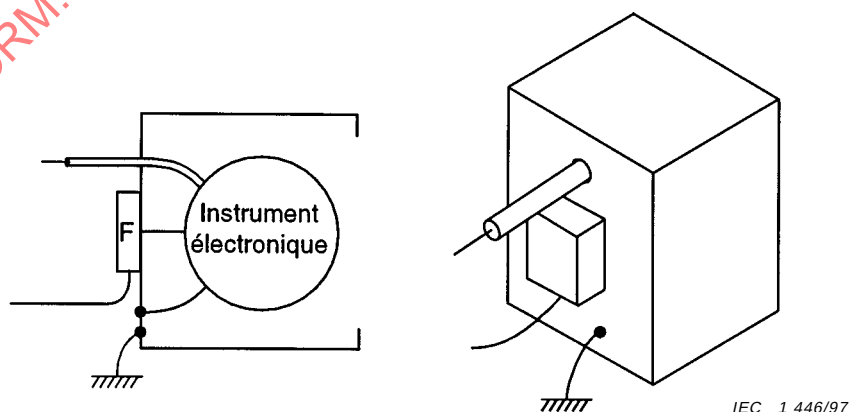
Cet exemple décrit une enceinte CEM qui s'est révélée apte à garantir une très bonne protection des matériels électroniques, même dans un environnement électromagnétique hostile. C'est le cas, par exemple, immédiatement en dessous de la traversée HT d'un poste HT de 380 kV implanté en extérieur (van Houten, 1990 [9]). Cette enceinte CEM est présentée ici comme la protection ultime pouvant être obtenue par une réduction de l'impédance de transfert Z_t et un réacheminement des courants de mode commun. Les performances sont encore améliorées lorsqu'on accorde un grand soin à la configuration des câbles placés à l'intérieur de l'enceinte, selon les recommandations du présent document.

Dans un environnement moins perturbé que les postes HT, il est possible de prévoir des versions de l'enceinte CEM simplifiées et réduites, en en conservant les principes. On peut, par exemple, n'utiliser que le panneau arrière, voire réduire la taille de ce panneau, tant qu'il est possible de conserver un chemin nettement défini pour les courants de mode commun circulant autour de la partie électronique.

L'enceinte comprend des parois métalliques continues sur cinq faces. L'avant reste ouvert, ce qui pourrait constituer un écart par rapport aux préceptes classiques selon lesquels il convient qu'une enceinte blindée soit fermée de tous côtés. Cependant, une comparaison avec l'exemple précédent (liaison hybride) montre clairement que cette enceinte CEM et les "blocs systèmes" de la figure A.1 sont équivalents sur le plan topologique: les "blocs systèmes" et leurs extrémités de câbles correspondent à la configuration de l'enceinte CEM si sa partie arrière et quatre des faces de cette enceinte sont déroulées sur un seul plan, qui s'apparente au plancher surélevé des "blocs systèmes" de la figure A.1.

Tous les câbles (lignes de signaux et câbles de puissance) pénètrent dans l'enceinte via son panneau arrière. Les blindages ou les conducteurs externes des lignes de signaux sont connectés sur toute leur circonférence à ce panneau. L'alimentation c.a. pénètre dans l'enceinte par un filtre (F) bien relié au panneau arrière. Un conducteur de terre de sécurité est également connecté à proximité du filtre.

Tous les courants de MC qui arrivent jusqu'à l'enceinte par les câbles et le conducteur de terre de sécurité s'écoulent via le panneau arrière, ce qui produit une très faible impédance de transfert entre les courants de MC circulant à l'extérieur de l'enceinte et les instruments électroniques placés à l'intérieur de cette enceinte. Il s'avère que, dans de nombreuses applications, cette Z_t faible est beaucoup plus importante que le blindage pouvant être fourni par l'enceinte, même si celle-ci est complètement fermée pour former une cage de Faraday.



NOTE – Tous les courants de MC extérieurs sont acheminés via le panneau arrière, ce qui produit une Z_t minimale entre les courants circulant à l'extérieur de l'enceinte et les dispositifs électroniques situés à l'intérieur de cette enceinte.

Figure A.2 – Enceinte CEM servant à protéger des dispositifs électroniques sensibles

A.2 EMC cabinet

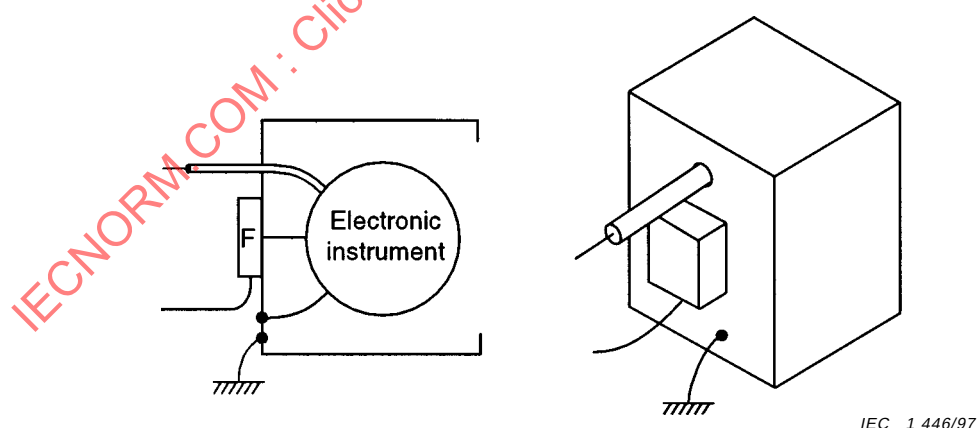
In this example, an EMC cabinet is described, which has been proved to result in a very good protection of electronic equipment even in harsh EM circumstances, such as directly under the HV bushing in a 380 kV open-air high voltage substations (van Houten, 1990 [9]). This EMC cabinet is presented here as the ultimate protection that can be obtained by a reduction of the transfer impedance Z_t and a rerouting of the common-mode currents. A careful layout, according to the guidelines of this report, for the cables installed inside the cabinet further enhances the performance.

In an environment with less disturbances than HV substations, simplified and reduced versions of the EMC cabinet are possible, retaining the principles. As an example, the backplane only may be used, or even the size be reduced of that single plane, as long as a clear path for the common-mode currents around the electronics can be maintained.

The cabinet has continuous metallic walls on five sides; the front is left open, which might appear a deviation from conventional wisdom that a shielded enclosure should be closed on all sides. When compared to the previous example of hybrid bonding, it becomes apparent that this EMC cabinet and the "systemblocks" of figure A.1 are topologically equivalent: the systemblocks and their cable terminations are equivalent to the configuration of the EMC cabinet if its back and four sides were unfolded into a single plane, similar to the raised floor of the systemblock of figure A.1.

All cables, signal and power, enter the cabinet through the backplane of the cabinet. The shields or outer conductors of the signal cables are circumferentially connected to the backplane. The a.c. power enters the cabinet through a filter (F), well bonded to the backplane; an additional safety earth lead is also connected nearby the filter.

All CM currents arriving at the cabinet through the cables and the safety earth lead flow via the backpanel; this results in a very low transfer impedance between the CM currents outside the cabinet and the electronic instruments inside. It turns out that in many applications this low Z_t is much more important than the possible shielding provided by the cabinet, even if closed to form a Faraday cage.



NOTE – All external CM currents are routed via the backplane, thereby providing a minimal Z_t between the currents outside the cabinet and the electronics inside.

Figure A.2 – EMC cabinet for the protection of sensitive electronics

A.3 Systèmes de terre des installations d'électronique industrielle

Les principes des systèmes de terre exposés dans le présent rapport technique sont utilisés avec succès dans les installations industrielles qui comprennent des dispositifs et des commandes électroniques (Benda, 1994 [8]). Les figures A.3 et A.4 représentent schématiquement l'application pratique de ces principes.

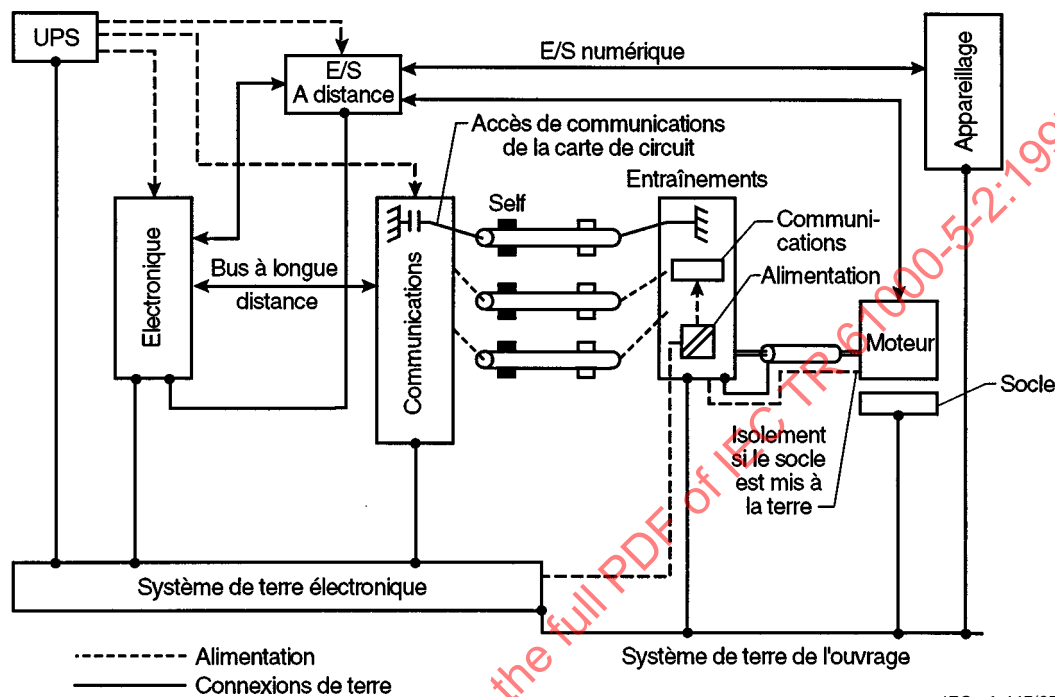


Figure A.3 – Système de terre pour un entraînement à convertisseur et équipement électronique associé

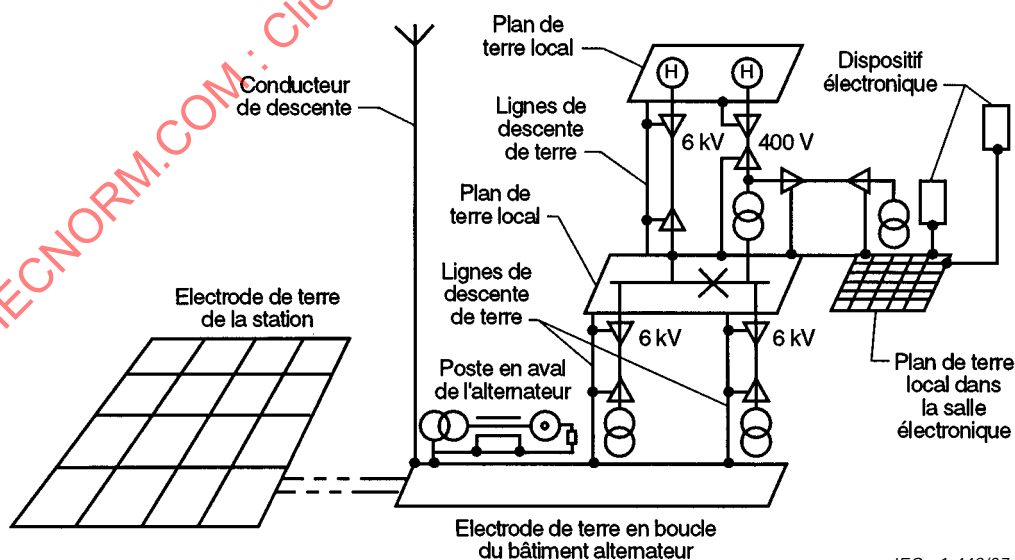


Figure A.4 – Système de terre d'un réseau électrique comprenant des dispositifs électroniques de commande et de surveillance

A.3 Earthing arrangements in industrial electronic installations

The principles of earthing arrangements discussed in this technical report have been used successfully in industrial installations that include utilities and electronic controls (Benda, 1994 [8]). Figures A.3 and A.4 illustrate in schematic form the practical implementation of these principles.

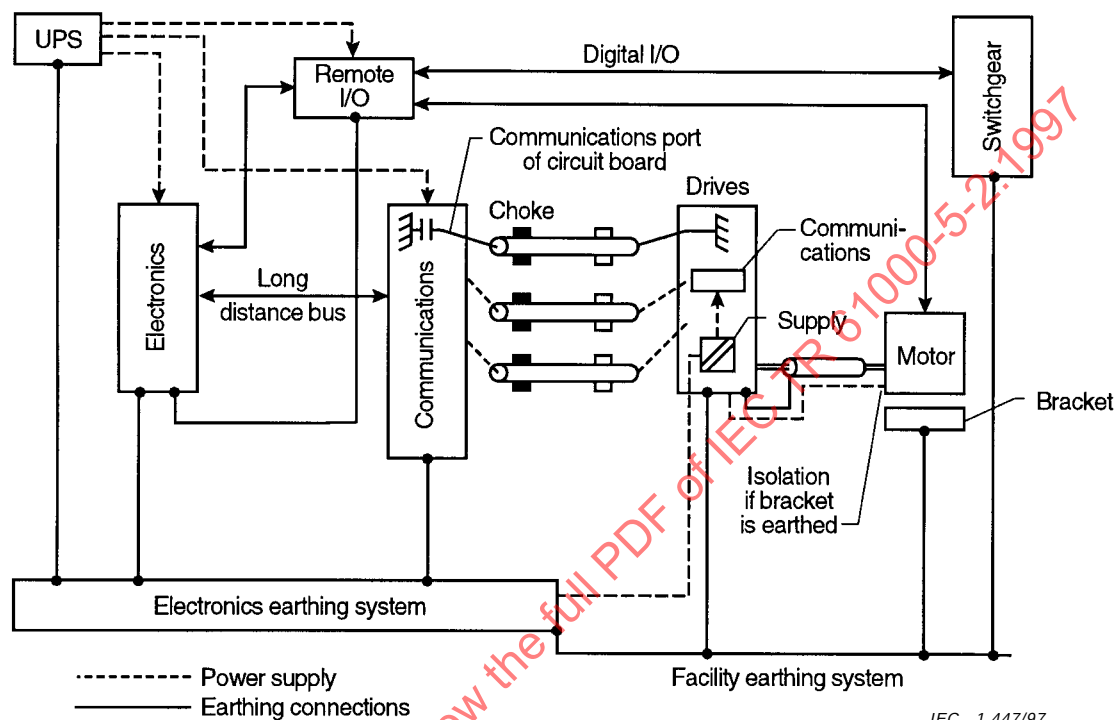


Figure A.3 – Earthing system for a drive with converter and associated electronics

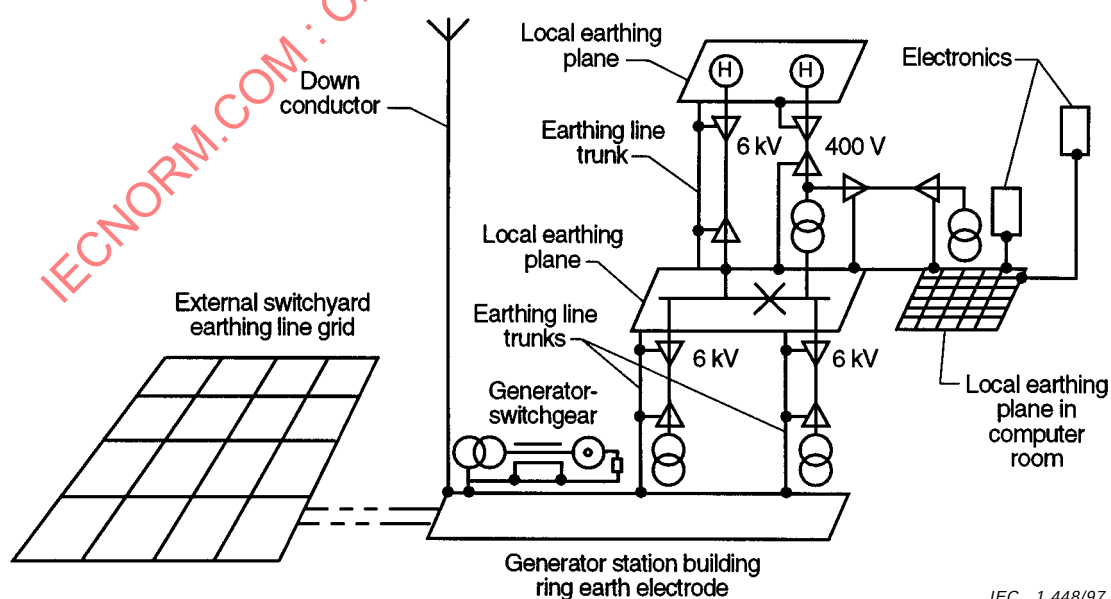
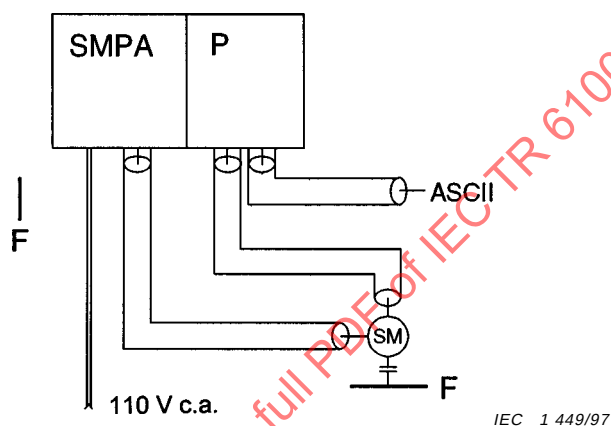


Figure A.4 – Earthing configuration for a power supply system with associated electronic control and supervisory systems

A.4 Etude de cas d'une liaison avec blindage

Dans ce cas, un servomoteur (SM) était alimenté par un amplificateur de puissance à mode commuté (*switched mode power amplifier*, SMPA) commandé par un microprocesseur P intégré (figure A.5). Les signaux de réaction émis par le servomoteur et transmis au processeur de l'amplificateur concernaient la position, via un codeur numérique, et le couple. Les entrées du processeur étaient constituées par des informations numériques RS232 à codage ASCII, dans la séquence "adresse de l'amplificateur" et "données". Une unité simple (amplificateur/servomoteur), raccordée au secteur, et un ordinateur pilotant le processeur de l'amplificateur fonctionnaient correctement. Des problèmes se sont posés lorsque plusieurs unités ont été implantées sur une grande machine de traitement, dans laquelle un seul ordinateur maître pilotait le processus et une seule installation électrique alimentait tous les amplificateurs (110 V c.a.), avec toutes les lignes de données ASCII interconnectées en série.



NOTE – Le servomoteur (SM) est alimenté par un amplificateur de puissance en mode commuté (SMPA), lui-même commandé par un microprocesseur P et alimenté en 110 V c.a. Les signaux de réaction provenant du moteur et transmis au processeur indiquent la position et/ou le couple.

Figure A.5 – Disposition initiale des câbles d'alimentation et de commande

On a demandé à un ingénieur spécialiste de la CEM d'aider à résoudre ce problème. Les unités SMPA/SM avaient été fournies par un tiers. Aucun schéma n'a été présenté au constructeur de la machine de traitement. Compte tenu de la configuration des cartes SMPA, il est clairement apparu qu'aucun filtrage ou qu'un filtrage faible n'était assuré en sortie du SMPA ou au niveau de ses lignes d'alimentation électrique.

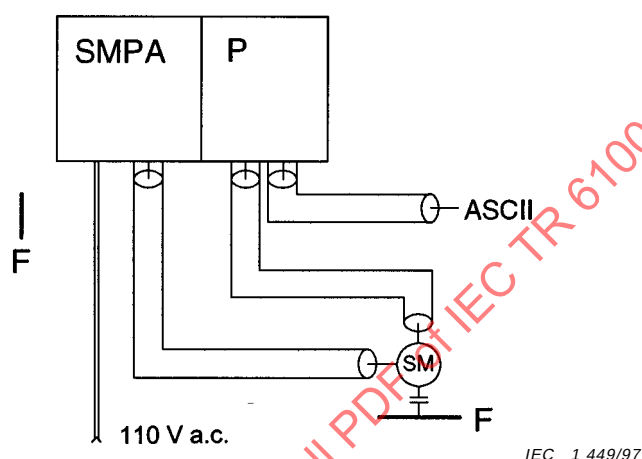
Les courants de MC ont été mesurés sur tous les câbles connectés au SMPA. Lorsque le moteur était porté à son couple maximal, on pouvait mesurer des courants de MC d'environ 1 A, avec des temps de montée inférieurs à la microseconde, au niveau du câble placé entre le SMPA et le SM. La grande boucle de courant de MC comprenait le câble, la capacité parasite entre les enroulements du moteur et le châssis, le cadre (F sur la figure A.5) de la machine et l'alimentation électrique également reliée au cadre. Des couplages importants avec d'autres boucles voisines étaient très certainement possibles.

En conséquence, de forts courants de MC traversaient le câble, à partir de l'alimentation électrique, ainsi que le câble placé entre l'ordinateur pilote et le processeur du SMPA.

Le problème a été résolu sur la base du raisonnement suivant: puisqu'une unité SMPA/SM simple n'était pas soumise à des perturbations, ce n'étaient pas les courants de MC de chaque unité qui étaient responsables de son dysfonctionnement. La cause des problèmes la plus probable était une destruction des messages ASCII entre l'ordinateur principal et d'autres processeurs.

A.4 Example of shield bonding

In this case history, a servo motor (SM) was powered by a switched-mode power amplifier (SMPA) which was controlled by an on-board microprocessor P (figure A.5). Feedback signals from SM to the SMPA processor concerned the position via a digital encoder, and the torque. The input to the processor was ASCII coded RS232 digital information in the sequence "address of the SMPA" and "data". A single SMPA-SM unit connected to the mains and a computer commanding the SMPA processor functioned properly. Serious problems occurred when several units were installed in a large processing machine, in which a single main computer controlled the process, a single power supply fed all SMPAs (110 V a.c.), and all ASCII data lines were interconnected in series.



NOTE – The servo motor (SM) is powered by a switched-mode power amplifier (SMPA) which is controlled by a microprocessor (P) and fed from 110 V a.c. Feedback signals from the motor to the processor include position and/or torque.

Figure A.5 – Initial arrangement of the power and control cables

An EMC engineer was asked to assist in solving this problem. The SMPA-SM units had been supplied by a third party. No schematic diagrams had been given to the builder of the processing machine. From the layout of the SMPA boards it became clear that no or little filtering was present in the output stage of the SMPA or in its supply lines.

The CM currents were measured over all cables connected to the SMPA. When the motor was driven to its maximum torque, CM currents of about 1 A with submicrosecond rise times were found at the cable between the SMPA and the SM. The large CM current loop comprised the cable, the parasitic capacitance between the motor windings and chassis, the frame (F in figure A.5) of the machine, and the power supply which was also connected to the frame. Significant couplings with other nearby loops were certainly possible.

Accordingly, large CM currents flowed through the cable from the power supply as well as through the cable between the control computer and the SMPA processor.

The problem was solved by the following analysis: since a single SM-SMPA unit was not perturbed, the CM currents of each unit did not disturb its proper operation. The most likely cause for the problems was a mutilation of the ASCII messages between the main computer and other processors.

En raison du manque de temps disponible pour résoudre le problème, comme c'est habituellement le cas lorsqu'on soupçonne des problèmes de CEM dans un équipement de traitement, il a fallu trouver une approche sûre pour obtenir la CEM. Les coûts présentaient une importance moindre, ce qui n'est pas rare dans de telles conditions.

Premièrement, le SMPA a été doté d'un panneau avant en laiton, qui constituait ainsi un conducteur plus fiable que le conducteur initial anodisé (figure A.6). Deuxièmement, le blindage du câble, Déjà implanté entre le SM et le SMPA, a été connecté à ce panneau au niveau du SMPA, ainsi qu'au châssis au niveau du SM. A l'origine, le blindage n'était mis à la terre qu'au niveau du SMPA. La même solution a été adoptée pour le blindage des câbles transmettant des données de position et de couple, placés entre le SM et le SMPA.

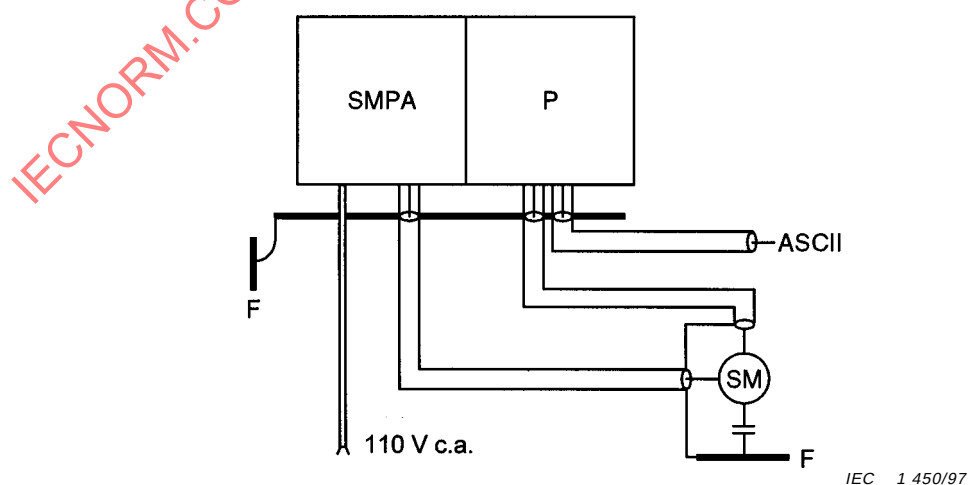
Le blindage et le panneau en laiton formaient un chemin compact pour le courant de MC, sur l'ensemble du câble d'alimentation du SM. Le courant de MC total traversant le blindage et le câble a ainsi été divisé par 20.

Troisièmement, le blindage du câble de transmission des données ASCII a été connecté au panneau en laiton, ainsi qu'à la terre locale, à l'autre extrémité du câble. Un simple filtre RC passe-bas a été implanté sur les lignes de données ASCII à l'entrée et la sortie de chaque processeur. La fréquence de coupure a été ajustée à la vitesse de modulation de la communication.

Environ deux jours ont été nécessaires pour déterminer et mettre en oeuvre les modifications. A l'issue de cette opération, jusqu'à sept unités SM/SMPA ont pu fonctionner en parfaite harmonie.

Quelques remarques sont utiles:

- Bien entendu, on a également tenté d'installer un filtre de MC à la sortie du SMPA, mais il s'est avéré que les dispositifs électroniques perdaient leur stabilité avec de nombreux types de filtre.
- Il avait été envisagé d'installer un filtre au niveau de l'alimentation en courant alternatif, mais cette mesure s'est révélée inutile.
- Cet exemple a été décrit ici pour montrer que bien que même si le spécialiste CEM ne connaissait pas les détails du fonctionnement des dispositifs électroniques, le problème a été entièrement résolu à l'issue d'un examen attentif des courants de perturbation de MC et de l'adoption de mesures permettant d'améliorer les chemins des courants de MC.



NOTE – Un panneau avant en laiton, soigneusement connecté au châssis de la machine F, a remplacé l'original anodisé, au droit du SMPA. Tous les blindages des câbles ont été raccordés à ce panneau en laiton, ainsi qu'à la terre locale à l'autre extrémité.

Figure A.6 – Conception améliorée du raccordement des blindages

Because there was only a short time available for solving the problem, as is usual when EMC problems are suspected in processing equipment, a certain path towards EMC had to be found. The costs were less important, which is also not unusual under these circumstances.

First, the SMPA was equipped with a brass front plate, which was a more reliable conductor than the anodized original (figure A.6). Second, the shield of the cable already present between SM and SMPA was connected to that plate at the SMPA, and to the chassis at the SM. Originally, the shield was only earthed at the SMPA. The same action was taken for the shield of the position and torque data cables between SM and SMPA.

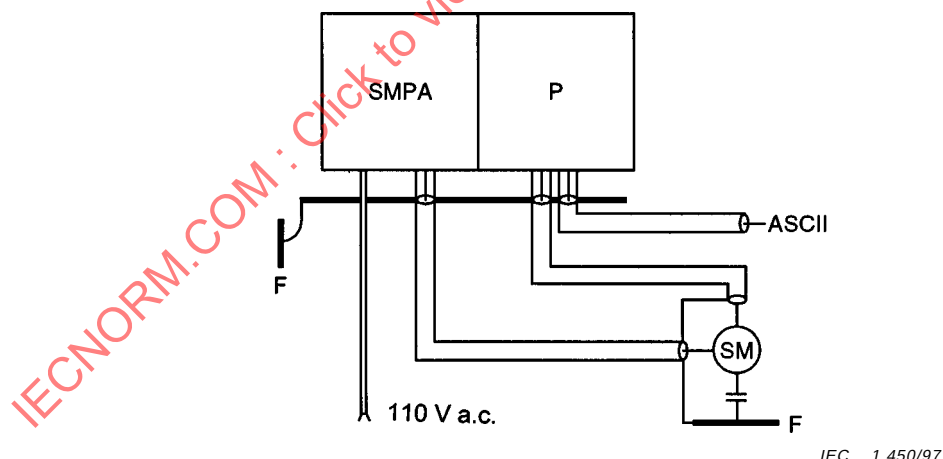
Shield and brass plate provided a compact path for the CM current over the SM power cable. The total CM current through shield and cable was reduced by a factor of about 20.

Third, the shield of the ASCII data cable was connected to the brass plate, as well as to the local earth at the other end of the cable. A simple R-C low pass filter was mounted in the ASCII data lines entering and leaving each processor unit. The roll-off frequency was adapted to the baud rate of the communication.

It took about two days to realize and install the modifications. After that, up to seven SM-SMPA units worked in harmony.

Some remarks are in order:

- Of course, a CM filter at the output of the SMPA was also tried. It turned out that the electronics became unstable with a large variety of filter types.
- A filter in the a.c. power supply was envisaged, but turned out unnecessary.
- The main reason for discussing this problem here is that although the EMC engineer was unfamiliar with the details of operation of the electronics, a careful look at the CM interference currents, and appropriate measures to improve the CM current paths, completely solved the problem.



IEC 1450/97

NOTE – In the improved design, a brass front plate carefully connected to the machine frame F replaced the anodized original at the SMPA. All shields of cables were connected to that brass plate, and to the local earth at the other end.

Figure A.6 – Improved design with appropriate shield connections

Annexe B (informative)

Application de la théorie des câbles en vue d'améliorer la CEM: Comportement de Z_t en fonction de différents types de câbles

B.1 Généralités

Le présent rapport technique se fonde constamment sur une impédance de transfert Z_t généralisée, non seulement pour les câbles coaxiaux, mais également pour d'autres types de câbles et pour les accès d'un appareil. Une brève description de l'impédance de transfert Z_t est présentée ci-après pour différents câbles, en rapport avec le mode de raccordement aux deux extrémités de ces câbles.

Pour la transmission de signaux asymétrique, les deux types de câbles suivants peuvent être considérés comme des solutions extrêmes:

- a) câble bifilaire;
- b) câble coaxial doté d'un conducteur externe plein.

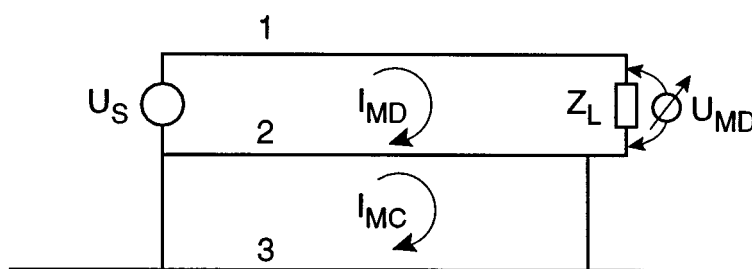
D'autres types de câbles, tels que les câbles dotés d'un conducteur externe tressé, présentent une Z_t à mi-chemin entre ces deux solutions extrêmes, qui peut être appréhendée à partir de là. Pour une description détaillée des méthodes de mesure et pour un aperçu général de Z_t des câbles HF, le lecteur est prié de se reporter à d'autres documents, tels que ceux élaborés par le Comité d'Etudes 46 de la CEI.

B.2 Deux fils parallèles

B.2.1 Circuit de MD asymétrique

Sur la figure B.1, un signal de MD est véhiculé par un circuit *asymétrique*, via un câble connecté à la terre locale à ses deux extrémités. Dans cette version simplifiée de la figure 17 (voir 7.2), la connexion à la terre est réalisée de manière explicite. D'autres possibilités sont présentées en 7.2. Pour ce circuit asymétrique, on choisit naturellement de faire passer tous les I_{MC} par le fil mis à la terre. Le récepteur (B impédance d'entrée élevée, Z_L) à l'extrémité du câble présente une tension en MD, notée U_{MD} , qui se compose du signal attendu, U_S , et d'une tension de perturbation supplémentaire, U_{dist} , en raison de:

- a) la résistance du fil de retour,
- b) le flux magnétique dans le circuit de MD, provoqué par le courant I_{MC} .



IEC 1 451/907

NOTE – La tension en MD, U_{MD} , côté récepteur, se compose du signal attendu, U_S , et d'une composante perturbation, U_{dist} , provoquée par I_{MC} et couplée dans le circuit de DM via l'impédance de transfert Z_t . La signification de 1, 2 et 3 est expliquée à l'article B.4.

Figure B.1 – Transmission asymétrique de signaux

Annex B (informative)

Applying cable theory to enhance EMC: Behaviour of Z_t for different types of cable

B.1 General

Throughout this technical report, a generalized transfer impedance Z_t is used, not only the Z_t for coaxial cables, but also for other types of cable, and for the ports of an apparatus. Here a short description of the transfer impedance Z_t is presented for different cables, in connection with the termination at both ends of the cable.

For unbalanced signal transport, two types of cable can be considered as extremes:

- a) a two-lead cable,
- b) a coaxial cable with a solid outer conductor.

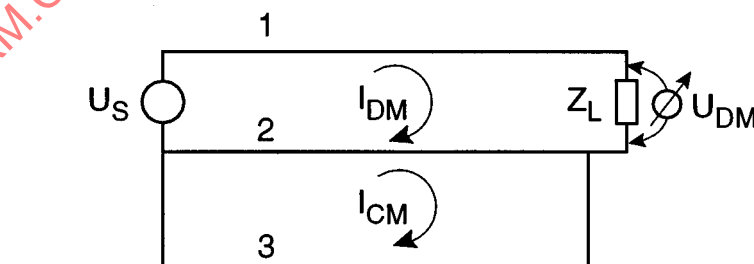
Other types, such as cables with a braided outer conductor, show a behavior of Z_t intermediate between these two extremes; their Z_t can be understood starting from these two. For a detailed description of measuring methods and for a general overview of Z_t for HF cables the reader is referred to other documents such as those by IEC TC 46.

B.2 Two parallel leads

B.2.1 Unbalanced DM circuit

In figure B.1 a DM signal is transported in an *unbalanced* circuit, through a cable connected to the local earth at both ends. In this simplified version of figure 17 (see 7.2) the connection to earth is made explicitly; other possibilities are discussed in 7.2. For this unbalanced signal circuit, naturally, all I_{CM} are chosen to flow through the earthed lead. The receiver (with high input impedance Z_L) at the end of the cable has a DM voltage U_{DM} which consists of the intended signal U_S , and an additional disturbance voltage U_{dist} due to:

- a) the resistance of the return lead;
- b) the magnetic flux in the DM circuit caused by I_{CM} .



IEC 1 451/907

NOTE – The DM voltage U_{DM} at the receiving end consists of the intended signal U_S plus a disturbance term U_{dist} caused by I_{CM} , coupled into the DM circuit via the transfer impedance Z_t . The numbers 1, 2 and 3 are referred to in B.4.

Figure B.1 – Unbalanced transport of signals

On part ici de l'hypothèse que l'appareil, à ses deux extrémités, ne contribue pas à l'impédance de transfert totale. La tension U_{dist} est donc proportionnelle à la longueur de la ligne. Pour les fréquences dont la longueur d'onde est supérieure à la longueur ℓ du câble, on peut écrire selon l'équation (B.1):

$$U_{\text{int}} / (I_{\text{MC}} \cdot \ell) = Z'_t = R' + j\omega \cdot M' \quad (\text{B.1})$$

où R' désigne la résistance du fil mis à la terre, éventuellement augmentée par l'effet de peau. L'inductance mutuelle peut faire l'objet d'une approximation: $[(\mu_0/2\pi) \log (d/r)]$, où d est la distance entre les deux fils du circuit de MD et r le rayon du fil mis à la terre. Dans le cas d'un cordon d'alimentation standard doté de fils de $2,5 \text{ mm}^2$, R' s'élève à environ $20 \text{ m}\Omega/\text{m}$, et M' avoisine $0,3 \text{ }\mu\text{H}/\text{m}$. La figure B.2 présente le comportement de Z'_t , ainsi que la Z_t pour d'autres types de câble, envisagés plus loin. M' entraîne une *augmentation* de Z'_t aux fréquences supérieures à 4 kHz . Cette Z'_t n'est pas influencée par le torsadage des fils.

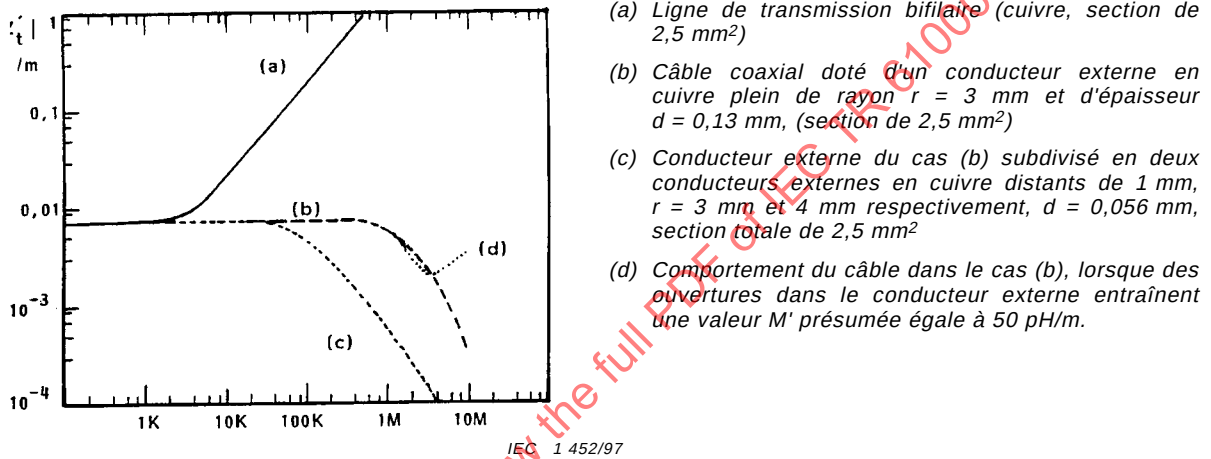


Figure B.2 – Comportement de Z'_t en fonction de la fréquence, pour les configurations de câbles coaxiaux (a), (b), (c) et (d)

Lorsque la source et le récepteur ont tous deux une impédance faible, un courant I_{int} circule dans le circuit de MD. Ce courant est produit par I_{MC} , par le biais de Z_t . Dans un câble court, l'approximation à basse fréquence de I_{int} est donnée par l'équation (B.2):

$$I_{\text{int}} = Z'_t \cdot I_{\text{MC}} \cdot \ell / Z_{\text{MD}} \quad (\text{B.2})$$

où Z_{MD} désigne l'impédance totale de la boucle de courant de MD: source, câble et récepteur. La tension de perturbation est à présent partagée par les différentes impédances dans cette boucle. Sur Z_L , on observe la partie donnée par l'équation (B.3):

$$I_{\text{int}} = Z'_t \cdot I_{\text{MC}} \cdot \ell \cdot Z_t / Z_{\text{MD}} \quad (\text{B.3})$$

Le courant I_{MC} est correctement mesuré par une sonde de courant placée autour du câble.

Comme indiqué en 7.6, le circuit de MC peut être parfois interrompu. Une tension de MC se développe pendant cette interruption. Selon le matériel utilisé (par exemple, le transformateur présenté à la figure B.3), cette tension de MC présentera plus ou moins de risque pour ce dernier. Dans le cas extrême, un amorçage peut se produire et provoquer un brouillage non maîtrisable, voire une destruction du matériel. Aucune interruption n'est parfaite. La capacité parasite locale du transformateur permettra toujours la circulation d'un courant de MC. Cette capacité parasite présente une impédance plus faible aux fréquences supérieures, ce qui aggrave le problème du brouillage.