

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

AMENDEMENT 2
AMENDMENT 2

1996-12

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

Amendement 2

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

**Partie 2:
Méthodes de mesure et procédure
d'établissement des limites**

Amendment 2

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

**Part 2:
Methods of measurement and procedure
for determining limits**

© CEI 1996 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIS
PRICE CODE

M

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

AVANT-PROPOS

Le présent amendement a été établi par le sous-comité C du CISPR: Perturbations relatives aux lignes et aux équipements à haute tension et aux systèmes de traction électrique.

Le texte de cet amendement est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
CIS/C/85/FDIS	CIS/C/90/RVD

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

Page 2

SOMMAIRE

Ajouter les titres de l'article et des paragraphes suivants:

- 5 Procédures d'établissement des limites de perturbations radioélectriques produites par les stations de conversion à haute tension continue
 - 5.1 Considérations générales
 - 5.2 Sources d'interférence
 - 5.3 Champs rayonnés par les salles des valves
 - 5.4 Interférence conduite le long des lignes de transmission
 - 5.5 Critères généraux pour établir des limites

Page 54

Ajouter, après 4.5, le nouvel article 5 suivant:

5 Procédures d'établissement des limites de perturbations radioélectriques produites par les stations de conversion en haute tension continue et par les installations similaires

5.1 Considérations générales

Les principales sources de génération des perturbations radioélectriques dans une station de conversion à haute tension continue et dans des installations similaires, comme les compensateurs statiques de puissance réactive (SVC), employant des thyristors pour leur fonctionnement, sont au nombre de deux. Tout d'abord, les décharges couronne sur les conducteurs, les isolateurs et les ferrures provoquent des perturbations semblables à celles des systèmes en courant alternatif. Ces perturbations couronne peuvent être facilement maintenues à des niveaux acceptables moyennant une conception électrique correcte des barres et des ferrures dans la station. En second lieu, les valves de conversion ou de contrôle provoquent des interférences à la suite de brusques coupures de courant entre l'anode et la cathode durant l'amorçage des valves. Cette perturbation, qui est indépendante des conditions atmosphériques, est cependant influencée par les caractéristiques de l'appareillage du convertisseur et par les conditions de fonctionnement de la valve.

FOREWORD

This amendment has been prepared by CISPR sub-committee C: Interference relating to overhead power lines, high-voltage equipment and electric traction systems.

The text of this amendment is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
CIS/C/85/FDIS	CIS/C/90/RVD

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

Page 3

CONTENTS

Add the titles of the following clause and subclauses:

- 5 Methods for derivation of limits for the radio noise due to HVDC converter stations
 - 5.1 General considerations
 - 5.2 Sources of interference
 - 5.3 Radiated fields from valve halls
 - 5.4 Conducted interference along the transmission lines
 - 5.5 General criteria for stating limits

Page 55

Add, after 4.5, the following new clause 5:

5 Methods for derivation of limits for the radio noise due to HVDC converter stations and similar installations

5.1 General considerations

There are principally two different sources of radio noise generation in HVDC converter stations and similar high-voltage installations, such as static var compensators (SVCs), incorporating thyristors in their operation. First, corona discharges on conductors, insulators, and hardware cause noise, similar to that in a.c. systems. This corona noise can be easily held to acceptable levels by proper electrical design of the busbars and hardware in the station. Second, the converter or control valves cause interference due to the rapid breakdown of the voltage between anode and cathode during valve firing. This noise, unlike noise due to corona, is independent of weather but is influenced by the characteristics of the converter equipment and by the valve operating conditions.

Sans aucune mesure de suppression, le niveau de perturbation radioélectrique dû aux valves de conversion ou de contrôle pourrait s'avérer intolérable, c'est pourquoi il est nécessaire réduire ce niveau à une valeur acceptable, avec des mesures comme celles indiquées en 5.3.3 et 5.4.3.

L'évaluation des perturbations radioélectriques directement rayonnées par une valve de convertisseur peut être effectuée au moyen de méthodes analytiques de calcul qui ont été proposées dans la littérature [75], [76], [77], [78]. La référence [75] fournit aussi des méthodes de calcul des oscillations de haute fréquence dans la station, méthodes qui utilisent des circuits simplifiés équivalents.

Les niveaux perturbateurs illustrés aux figures 15 à 22 ne doivent pas être considérés comme valeurs typiques de référence. Ils sont donnés simplement comme exemples de l'influence sur les niveaux perturbateurs des différents paramètres considérés (distance de la station, technologie des valves etc.).

5.2 Sources d'interférence

5.2.1 Mécanisme de génération d'une perturbation radioélectrique

Une station de conversion à haute tension continue se compose généralement de plusieurs groupes de convertisseurs. Chacun de ces groupes comprend habituellement six valves (des valves à thyristors et aussi, autrefois, des valves à vapeur de mercure) cycliquement excitées à la fréquence électrique. Pour obtenir des tensions supérieures, on pourra brancher en série plusieurs ponts par pôle. Les ponts sont connectés aux transformateurs du convertisseur du côté courant alternatif, et aux bobines d'inductance d'atténuation sur le côté courant continu. Une bonne partie des appareillages auxiliaires est aussi connectée aux deux côtés des circuits du pont.

Un compensateur statique se compose, normalement, de bobines d'inductance contrôlées par thyristors (TCR) et de condensateurs enclenchés par thyristors (TSC). La structure des valves à thyristors est similaire à celle des stations de conversion. Pour les TCR, les thyristors sont enclenchés à des angles différents pour contrôler le courant dans les bobines d'inductance, tandis que pour les TSC ils sont enclenchés à un point fixe de l'onde de tension (à différence de tension nulle).

Durant l'opération normale de tels schémas, chaque valve est enclenchée et déclenchée une fois dans chaque cycle de la tension alternative. L'amorçage de la valve s'effectue donc 6 fois par cycle de fréquence électrique pour un convertisseur à 6 impulsions ou pour un convertisseur statique, et 12 fois pour un convertisseur à 12 impulsions. L'atténuation pour les courants à haute fréquence générés par l'amorçage de la valve est si rapide que, du point de vue de la perturbation radioélectrique, chaque impulsion peut être considérée comme totalement amortie avant que les impulsions successives des autres valves ne soient injectées dans le système. Pour cette raison, et également à cause de la dispersion des angles d'excitation, même lorsque les valves dans les différents groupes ont les mêmes connexions au transformateur, le niveau total de l'interférence radioélectrique généré n'est pas significativement différent de celui généré par une seule valve.

Les temps de commutation aussi bien durant l'enclenchement que durant le déclenchement sont très courts et généralement de l'ordre de quelques microsecondes. Les valves à thyristors, lorsqu'elles sont excitées, peuvent avoir un temps de chute de tension jusqu'à 25 μ s, contre celui de 1 μ s des valves à vapeur de mercure. La raison en est l'utilisation de circuits amortissants à l'intérieur des valves à thyristors et le fait qu'une valve à thyristors se compose de thyristors connectés en série. Par conséquent, la perturbation générée est en principe inférieure dans les valves à thyristors à celles à vapeur de mercure. La figure 14 illustre les spectres de fréquence, enregistrés en laboratoire, de deux phénomènes transitoires de la même amplitude ayant un temps de montée de 1 μ s et de 25 μ s (valeurs moyennes pour les valves à vapeur de mercure et à thyristors).

Without any suppression measures, the radio noise level from the converter or the control valves could be intolerable and it is, therefore, necessary to reduce this level to an acceptable value with appropriate methods like those indicated in 5.3.3 and 5.4.3.

An evaluation of the radio noise radiated directly by a converter valve can be performed by means of the analytical methods of calculation proposed in the literature [75], [76], [77], [78]. Reference [75] also gives methods of calculating the high-frequency oscillations in the station using simplified equivalent circuits.

The disturbance levels shown in figures 15 to 22 are not to be considered as typical reference values. They are simply given as examples of the influence of the different parameters considered (distance from the station, technology of the valves, etc.) on the levels of disturbance.

5.2 Sources of interference

5.2.1 Mechanism of radio noise generation

An HVDC converter station is generally made up of several converter groups. Each one of these groups normally comprises six valves (thyristor valves and also mercury arc valves in the past) fired cyclically at the power frequency. For obtaining higher voltages, several bridges may be connected in series per pole. The bridges are connected to the converter transformers on the a.c. side, and to the smoothing reactors on the d.c. side. A large amount of auxiliary equipment is also connected on both sides of the bridge circuits.

An SVC installation usually consists of a set of thyristor controlled reactors (TCRs) and thyristor switched capacitors (TSCs). The physical arrangement of the thyristor valves is similar to that of HVDC converter stations. The thyristors for the TCRs are switched over a range of firing angles to control the current to the reactors, while those for the TSCs are switched at a fixed point-on-wave (zero cross-over).

During the normal operation of such schemes, each valve is turned on and off once in every cycle of the alternating voltage. The valve firing thus occurs thus 6 times per cycle of the power frequency for a 6-pulse converter or SVC installation, and 12 times for a 12-pulse converter. The attenuation of the high-frequency currents generated by valve firing is so rapid that each pulse can, from a radio noise standpoint, be considered fully damped before additional pulses from other valves are injected in the system. For this reason, and due to the spread in the firing angles even if valves in different groups have the same transformer connections, the total level of the radio interference generated is not significantly different from that generated by a single valve.

The switching times during both turn-on and turn-off are very small, being usually of the order of a few microseconds. Thyristor valves, when fired, may have a voltage collapse time of up to 25 μ s, compared with 1 μ s for mercury arc valves. The reason for this is the use of damping circuits within the thyristor valve and the fact that the thyristor valve is composed of a number of thyristors connected in series. As a consequence the generated noise is in principle lower for thyristor than for mercury arc valves. Figure 14 shows the frequency spectra, recorded in the laboratory, of two transient phenomena of the same amplitude with rise times of 1 μ s and 25 μ s (average values for mercury arc and thyristor valves, respectively).

Aussi bien durant l'enclenchement que durant le déclenchement des valves, des tensions et des courants transitoires apparaissent dans le système comme un résultat de la redistribution de l'énergie stockée dans les éléments réactifs avant qu'un nouvel état d'équilibre ne soit atteint. Durant le déclenchement, une grande partie de l'énergie est stockée dans l'inductance des enroulements des transformateurs. Ainsi, la transition vers une nouvelle condition d'équilibre s'accomplit essentiellement aux fréquences naturelles relativement basses du transformateur et du système. Durant l'amorçage cependant, l'énergie devant être redistribuée est essentiellement stockée dans les différentes capacitances parasites et concentrées. Cela produit un système d'oscillations plutôt complexe dont le spectre ne dépend pas seulement de l'amplitude et de la forme de la chute de tension à travers la valve, mais aussi de la configuration des connexions et de l'appareillage branché. La fréquence du spectre de perturbation atteint quelques mégahertz.

Cette perturbation radioélectrique peut être générée directement par les valves et par les appareillages qui y sont branchés qui, dans ce cas, comprennent principalement les barres d'alimentation et les barres de la station de conversion. Ces barres ont souvent une longueur considérable et peuvent aussi faire fonction de radiateurs efficaces. Naturellement, la station de conversion sera reliée à des circuits en courant alternatif et en courant continu en entrée et en sortie, lesquels pourront être des lignes aériennes. La perturbation radioélectrique sera guidée et rayonnée par ces lignes aériennes.

5.2.2 Influence de la conception de la station sur l'interférence radioélectrique

Ainsi que déjà énoncé, l'interférence radioélectrique générée est influencée par l'inclinaison de la tension d'amorçage de la valve. C'est pourquoi la perturbation radioélectrique générée par les valves à thyristors sera plus basse que celle produite par les valves à vapeur de mercure.

Outre l'amplitude de la chute de tension à l'amorçage des valves et la durée de cette chute, la perturbation générée par les valves est tout d'abord influencée par la hauteur de la terre et par la capacitance vers la terre de chaque valve. L'interférence radioélectrique a donc tendance à s'accroître suivant les caractéristiques de tension et de courant des valves, étant donné qu'à des caractéristiques supérieures correspondent des dimensions supérieures des valves. D'autre part, la perturbation est peu influencée par le nombre de valves en fonctionnement dans une station, ce qui a aussi été confirmé par les mesurages dans des stations de conversion en service.

La configuration du poste ainsi que la hauteur et la longueur des barres ont aussi une grande influence sur la génération de perturbations. Une conception compacte du poste aura donc des effets favorables sur la génération de perturbations radioélectriques. Une solution pratique consiste à déplacer les transformateurs du convertisseur à l'intérieur de la salle des valves et à utiliser les traversées du transformateur comme des traversées de la salle des valves. Cette solution abaisse significativement les interférences radioélectriques étant donné que le circuit de rayonnement entre les valves et les transformateurs est petit puisqu'il se situe entièrement à l'intérieur de la salle des valves électromagnétiquement blindée. Une réduction additionnelle de l'interférence radioélectrique par les lignes de connexion pourrait être effectuée si les transformateurs du convertisseur étaient construits avec des blindages électrostatiques liés à la masse entre les deux enroulements.

Les valves à thyristors refroidies par huile requièrent un réservoir métallique. Dans ce cas, les circuits des valves sont effectivement électromagnétiquement blindés et le problème des interférences radioélectriques est significativement réduit.

During both turn-on and turn-off of the valve, transient voltages and currents appear in the system as a result of the redistribution of the energy stored in the reactive elements before a new steady state is reached. During turn-off, most of the energy is stored in the inductance of the transformer windings. Thus, the transition to the new steady-state condition is achieved essentially at the relatively low natural frequencies of the transformer and the system. During turn-on, however, the energy to be redistributed is stored essentially in the various stray and lumped capacitances. This produces a rather complex system of oscillations whose spectrum depends not only on the amplitude and shape of the voltage collapse across the valve, but also on the layout of the connections and equipment connected. The noise spectrum extends in frequency up to a few megahertz.

This radio noise may be emitted directly from the valves and associated equipment comprising in this instance, mainly the feeders and the busbars of the converter station. These busbars will often be of considerable length and well able to act as efficient radiators. The converter station will be, of course, connected to incoming and outgoing a.c. and d.c. circuits and these may consist of overhead lines. The radio noise will be guided and emitted from such overhead lines.

5.2.2 *Influence of station design on radio interference*

As anticipated, the radio interference generated is influenced by the steepness of the valve firing voltage. For this reason, the radio noise generated by thyristor valves will be lower than that produced by mercury arc valves.

Besides the amplitude of the voltage collapse at the valve firing and the time of this collapse, the noise from the valves is primarily influenced by the height and capacitance to ground of individual valves. The radio interference has therefore a tendency to increase by the voltage and current rating of the valves as an increased rating means increased valve size. On the other hand, the noise is little influenced by the number of operating valves in a station. This has also been confirmed by measurements in operating converter stations.

The switchyard layout and the height and length of the busbars have also a great influence on the generated disturbance. A compact design of the switchyard will therefore have favourable effects on the radio noise generation. A practical solution consists of moving the converter transformers into the valve hall and using the transformer bushings as valve hall bushings. This solution lowers the radio interference significantly because the radiating loop between valves and transformers is small as it is entirely located inside the electromagnetically screened valve hall. Additional reduction of the radio interference from connecting lines could be achieved if the converter transformers were built with grounded electrostatic screens between the two windings.

Oil-cooled thyristor valves will require a metallic tank. In this case, the valve circuits will be effectively screened electromagnetically, and the radio interference problem will be significantly reduced.

5.3 Champs rayonnés par les salles des valves

5.3.1 Spectres de fréquence

Des exemples de spectres de fréquence dus au rayonnement direct par une station de conversion sont illustrés aux figures 15 et 16 pour des stations de conversion équipées avec des valves à vapeur de mercure et des valves à thyristors. On ne remarque aucune différence qualitative entre les spectres des interférences radioélectriques générées par les convertisseurs de valves à vapeur de mercure et à thyristors.

5.3.2 Atténuation transversale

L'interférence générée par la salle des valves est dominée par le rayonnement direct des valves du convertisseur et de leurs connexions aux autres pièces de l'appareillage. La dimension physique des circuits de rayonnement est petite comparée à la longueur de l'onde de la perturbation dans la bande des fréquences qui intéressent (0,15 MHz à 30 MHz). Par conséquent, du point de vue du rayonnement, les convertisseurs peuvent être traités comme des dipôles électriques verticaux (avec une impédance de rayonnement capacitive pure). En première approximation, on peut utiliser les formules analytiques dérivées de la théorie de l'antenne pour prévoir l'atténuation transversale de la salle des valves.

L'atténuation du niveau de perturbation est approximativement proportionnelle à l'inverse du carré de la distance pour des fréquences jusqu'à 1 MHz et elle devient proportionnelle à l'inverse de la distance pour des fréquences plus élevées (>10 MHz).

L'atténuation du niveau perturbateur calculée comme une fonction de la distance est fournie à la figure 17 pour différentes fréquences.

5.3.3 Réduction de l'interférence radioélectrique due au rayonnement direct généré par la salle des valves

Le blindage électromagnétique de la salle des valves s'est avéré efficace pour réduire la perturbation rayonnée par les valves de conversion. On peut utiliser des plaques métalliques solides, des plaques perforées et des grilles métalliques pour achever la protection désirée. Il convient cependant de faire des considérations attentives au sujet des techniques de construction, de la disponibilité des matériaux et des coûts globaux, avant de conclure la conception de la salle des valves.

Des blindages métalliques sous forme de plaques solides et de grilles, ayant une grande conductivité et de préférence également une haute perméabilité, sont généralement utilisés pour les murs et les plafonds de la salle des valves afin de fournir une protection électromagnétique. Avec la grille à la masse en fil métallique incorporée au sol, ils forment une cage de Faraday autour des valves. En prenant les précautions adéquates pour assurer un bon contact entre les différentes sections qui forment cette cage de Faraday, l'interférence rayonnée peut être atténuée de 40 dB à 60 dB. Toute discontinuité, espace vide ou trou dans cette enceinte blindée, réduira naturellement cette atténuation.

Les connexions entre les valves et les sections en courant alternatif et continu du poste extérieur établissent un couplage conducteur qui se manifeste en un rayonnement entre les barres et les différents éléments du poste lui-même. Ce rayonnement peut ainsi devenir beaucoup plus important que celui généré par la salle des valves, ainsi le blindage de la salle des valves peut ne pas suffire à couvrir les exigences du champ rayonné par la station de conversion. Dans ce cas aussi le champ rayonné par le poste doit être réduit. Pour ce faire, il y a au moins deux possibilités. La première est de réduire la perturbation passant par les traversées de la salle des valves en installant des filtres. Une autre est de blinder électromagnétiquement le poste tout entier. Lorsque une réduction de la perturbation à l'intérieur d'une largeur de bande étroite est requise, on adopte généralement la première méthode.

5.3 Radiated fields from valve halls

5.3.1 Frequency spectra

Examples of frequency spectra due to direct radiation from a converter station are given in figures 15 and 16 for converter stations equipped with mercury arc and thyristor valves, respectively. No qualitative differences can be remarked between the radio noise spectra generated by mercury arc and thyristor valves converters.

5.3.2 Lateral attenuation

The interference from the valve hall is dominated by direct radiation from the converter valves and their connections to other pieces of equipment. The physical size of the radiating loops is small compared to the wavelength of the noise in the range of frequencies of interest (0,15 MHz to 30 MHz). Therefore, the converters can, from a radiation standpoint, be treated as vertical electrical dipoles (with a pure capacitive radiation impedance). As a first approximation, the analytical formulae derived from the antenna theory can be used to predict the lateral attenuation from the valve hall.

The attenuation of the noise level is approximately proportional to the inverse of the square of the distance for frequencies up to 1 MHz and becomes proportional to the inverse of the distance for higher frequencies (>10 MHz).

The attenuation of the radio interference levels calculated as a function of the distance is given in figure 17 for different frequencies.

5.3.3 Reduction of the radio interference due to direct radiation from the valve hall

The electromagnetic screen of the valve hall has proved to be effective for reducing the radiated noise from the converter valves. Solid metallic sheets, perforated sheets, and wire mesh may be used to achieve the desired shielding. However, due consideration should be given to the construction techniques, availability of materials, and overall cost before the design of the valve hall can be finalized.

Metallic screens having a high conductivity, and preferably also high permeability, in the form of either solid plates or wire mesh, are generally used in the walls and ceiling of the valve hall to provide the electromagnetic shielding. Together with the wire-mesh ground grid embedded in the floor, they form a Faraday cage around the valves. By taking appropriate precautions to ensure good contact between different sections forming this Faraday cage, the radiated interference can be attenuated by 40 dB to 60 dB. Any discontinuities, gaps or holes in the shielded enclosure will naturally reduce the attenuation.

The connections between the valves and the a.c. and d.c. sections of the outdoor switchyard provide a conductive coupling resulting in a radiation from the busbars and the various elements in the switchyard itself. This radiation may thus become much more important than that from the valve hall and thus the screening of the valve hall may not be sufficient to achieve the requirements on the radiated field from the converter station. In such a case also the radiated field from the switchyard shall be reduced. To do this at least two ways are possible. The first is to reduce the noise coming through the valve hall bushings by installing filters. Another is to screen the entire switchyard electromagnetically. If noise reduction within a narrow bandwidth is required, the first method is normally adopted. To make the filters more

Pour rendre les filtres plus efficaces, on peut les enfermer, ainsi que les traversées de la salle des valves, dans un bâtiment électromagnétiquement blindé adjacent à la salle des valves.

5.4 *Interférence conduite le long des lignes de transmission*

5.4.1 *Description du mécanisme et des profils longitudinaux typiques*

Des courants perturbateurs radioélectriques sont transmis des valves du convertisseur aussi bien aux lignes en courant continu qu'à celles en courant alternatif connectées à la station de conversion. Dans le cas de lignes en courant alternatif, les courants à haute fréquence sont conduits à travers les couplages capacitifs des enroulements des transformateurs du convertisseur. Un blindage mis à la masse entre les enroulements pourrait être utilisé pour réduire ce transfert.

Les spectres des interférences radioélectriques dus aux courants injectés par les valves de conversion ont une forme semblable à ceux générés par couronne. Un exemple de spectre de perturbation, mesuré près de la ligne à haute tension continue à une courte distance de la station de conversion est illustré à la figure 18 et à la figure 19 pour une ligne en courant alternatif. La figure 20 illustre le spectre de perturbation mesuré à proximité de la ligne d'électrode, à une distance de 1,5 km de la même station de conversion opérant avec des valves à thyristors et des valves à vapeur de mercure.

Les interférences radioélectriques provoquées par les courants perturbateurs des valves sur les lignes dirigées vers l'extérieur se sont avérées être dominées par le composant de séquence zéro des courants. L'atténuation de ce composant est très haute en comparaison de celle des modes ligne à ligne et, par conséquent, le niveau de perturbation radioélectrique à une distance donnée de la ligne diminue rapidement avec la distance de la station de conversion. A de plus hautes distances, les composants en mode ligne à ligne prévaudront. Comme conséquence, l'interférence radioélectrique due aux valves est dépassée par les perturbations couronne à des distances de plus de 5 km à 10 km de la station de conversion. Pour les lignes en courant alternatif, la distance correspondante est un peu plus longue. Comme guide, l'on pourra supposer une valeur d'atténuation pour le profil longitudinal de la perturbation radioélectrique égal à environ 4 dB/km [1], [42], [85].

Des résultats de mesure des spectres de fréquence le long de la ligne de transmission en courant continu à différentes distances de la station de conversion sont illustrés aux figures 21 et 22. Il ne faut pas oublier que dans les mesures effectués à proximité des premières travées, la contribution du rayonnement direct par la station de conversion ne peut pas être négligée.

L'évaluation de l'atténuation latérale du niveau perturbateur de la ligne peut être faite en accord avec 8.2 du CISPR 18-1.

5.4.2 *Réduction de l'interférence conduite le long des lignes de transmission*

Les perturbations électromagnétiques dues à l'amorçage des valves, conduites et rayonnées par les lignes en courant continu et en courant alternatif connectées à une station de conversion peuvent perturber non seulement la réception radio mais aussi les systèmes de liaison par courant porteur. Pour ces systèmes de télécommunication, en particulier dans les bandes de fréquence de quelques dizaines à quelques centaines de kHz, où le niveau de perturbation peut être relativement élevé, un filtrage peut se rendre nécessaire.

Des filtres passe-bande faits de condensateurs et d'inducteurs (généralement avec des résistances d'amortissement) doivent tenir compte des capacitances et des inductances parasites des connexions des barres et des appareillages. Si des filtrages sont nécessaires même dans les bandes de fréquence au-dessus de 1 MHz, de simples filtres faits avec un seul conducteur parallèle à la ligne ayant une longueur égale au quart de la longueur de l'onde à protéger peuvent être utilisés. Il faut toutefois remarquer que ces filtres permettent la protection seulement d'une bande limitée de fréquence.

effective, they may be enclosed with the valve hall bushings in an electromagnetically screened building adjacent to the valve hall.

5.4 *Conducted interference along the transmission lines*

5.4.1 *Description of the mechanism and typical longitudinal profiles*

Radio interference currents are transmitted from the converter valves both to the d.c. and to the a.c. lines connected to the converter station. In the case of the a.c. lines, the high-frequency currents are conducted through the capacitive couplings of the converter transformer windings. A grounded shield between windings could be used to reduce this transfer.

The radio interference spectra due to currents injected by converter valves have a shape similar to those generated by corona. An example of noise spectrum, measured near the HVDC line at a short distance from a converter station is shown in figure 18 and in figure 19 for an a.c. line. Figure 20 gives the noise spectrum measured in the vicinity of the electrode line, at a distance of 1,5 km from the same converter station operated with thyristor valves and mercury valves.

The radio interference caused by the valve noise currents on the outgoing lines has been found to be dominated by the zero sequence component of the currents. The attenuation of this component is very high compared to that of line-to-line modes and therefore the radio noise level at a given distance from the line decreases rapidly with distance from the converter station. At higher distances, the line-to-line mode components will dominate. As a consequence, the radio interference due to the valves is overridden by corona noise at distances exceeding 5 km to 10 km from the converter station. For a.c. lines, the corresponding distance is somewhat longer. As a guide, an attenuation rate for the longitudinal profile of the radio noise equal to about 4 dB/km can be assumed [1], [42], [85].

Results of measurement of the frequency spectra along a d.c. transmission line at different distances from the converter station are given in figures 21 and 22. It has to be remembered that in the measurements performed in the vicinity of the first spans, the contribution of the direct radiation from the converter station cannot be disregarded.

For the evaluation of the lateral attenuation of the radio noise from the line, see 8.2 of CISPR 18-1.

5.4.2 *Reduction of the interference conducted along the transmission lines*

The electromagnetic disturbances due to valve firing, conducted and radiated from the d.c. and a.c. lines connected to a converter station may disturb not only the radio reception but also powerline carrier systems. For these telecommunication systems, especially in the frequency range from some tens to a few hundreds of kHz where the level of disturbance may be relatively high, filtering may be necessary.

Band-pass filters made of capacitors and inductors (generally with resistive dampers) shall take into account the stray capacitances and inductances of the bus connections and equipment. If filtering were necessary even in the frequency range above 1 MHz, simple filters made of a single conductor parallel to the line with a length equal to a quarter of the wavelength to be protected can be used. It has, however, to be noted that these filters allow for the protection of only a limited band of frequency.

5.5 Critères généraux pour établir des limites

Dans les cas de stations de conversion à haute tension continue, tout comme pour les interférences radioélectriques générées par les stations de transformation, la définition des critères généraux de détermination des limites doit tenir compte des deux modes de propagation de la perturbation:

- rayonnement direct dans la zone autour de la station de conversion;
- propagation de la perturbation le long des lignes en courant continu et alternatif partant de la station de conversion.

NOTE – Dans des zones limitées, voisines soit de la station de conversion, soit des lignes (ces zones se trouvent entre un ou deux kilomètres au maximum du bord de la station de conversion), il y aura une superposition des deux modes de propagation de la perturbation ci-dessus. L'effet de cette superposition est difficile à déterminer. Si l'on considère nécessaire d'en tenir compte, une marge additionnelle pourra être ajoutée aux limites du champ rayonné.

5.5.1 Rayonnement direct

Il convient que le champ rayonné, à une distance de référence du bord de la station de conversion, soit limité conformément aux critères indiqués à l'article 2 de cette norme, qui tient compte d'un rapport signal sur bruit acceptable et de la distribution statistique du niveau perturbateur. A ce propos, il convient de ne pas oublier que, contrairement à la perturbation couronne, la perturbation radioélectrique produite par les stations de conversion n'est pas liée aux conditions atmosphériques. La référence à une valeur de 80 % peut s'obtenir d'une distribution statistique où la variabilité est déterminée par les différentes conditions possibles de fonctionnement de la station de conversion (fonctionnement comme convertisseur ou redresseur, angle d'amorçage ou d'extinction, niveau de la tension continue etc.).

En pratique, dans le cas très fréquent où une station de conversion à haute tension continue, fonctionnant plus de 80 % du temps dans des conditions proches de celles de valeur nominale, le 80 % du niveau de perturbation radioélectrique coïncidera avec celui dans des conditions de fonctionnement en valeur nominale.

5.5.2 Propagation le long des lignes

Le critère de base est que la contribution du courant perturbateur radioélectrique dû au fonctionnement de la station de conversion dans chaque ligne, en courant continu et en courant alternatif, connectée à la station, ne doit pas augmenter considérablement le niveau de perturbation intrinsèque de la ligne au-delà d'une distance donnée de la station. Il convient que cette distance soit déterminée en considérant le type de zone traversée par la ligne, (zone rurale, zone résidentielle, etc.) Pour maintenir cette augmentation à l'intérieur des 3 dB à la distance mentionnée ci-dessus, il convient que le courant perturbateur généré par la station de conversion arrivant en ce point soit de 10 dB environ inférieur au courant perturbateur de la ligne.

Le courant perturbateur généré par la station de conversion à la distance qui nous intéresse le long de la ligne, correspond au courant perturbateur total produit aussi bien sur le côté en courant alternatif que sur le côté en courant continu de la station divisé par le nombre de lignes en courant alternatif et en courant continu, diminué conformément à l'atténuation longitudinale attendue. A moins qu'on ne dispose d'informations plus spécifiques, on peut prendre comme référence les facteurs d'atténuation longitudinale indiqués en 5.4.1.

Pour déterminer les limites de 80 % du courant perturbateur généré par la station de conversion, on doit prendre en considération la variabilité des courants perturbateurs de la ligne (suivant les conditions atmosphériques) et celle de la station de conversion (suivant les conditions de fonctionnement; voir 5.5.1). Etant donné que la variabilité de la perturbation intrinsèque de la ligne est généralement beaucoup plus élevée que celle générée par la station, la limite pour le courant perturbateur de la station peut être déterminée de manière prudente en comparant directement la valeur de 80 % des deux distributions.

5.5 General criteria for stating limits

In the case of HVDC converting stations, as for the radio interference from transformer stations, the assessment of general criteria for determining limits shall take into account the two propagation ways of the noise:

- direct radiation in the area around the converting station;
- propagation of the noise along the d.c. and a.c. lines starting from the converting station.

NOTE – In limited areas close both to the converter station and to outgoing lines (these areas are within one or two kilometres at the most from the border of the converting station), there is a superposition of the two above ways of noise propagation. The effect of this superposition is difficult to be predicted. If it is deemed necessary to cover this aspect, an additional margin could be added to the limit for the radiated field.

5.5.1 Direct radiation

The radiated field at a reference distance from the border of the converting station should be limited according to the criteria indicated in clause 2 of this standard, which takes into account an acceptable signal-to-noise ratio and the statistical distribution of the noise level. To this purpose, it should be reminded that the radio noise produced by converter stations is not correlated, as corona noise, to the weather conditions. The reference 80 % value can be derived from a statistical distribution where the variability is determined by the different possible conditions of operation of the converter station (functioning as inverter or rectifier, firing and extinction angles, level of the direct voltage, etc.).

In practice, in the very frequent case of an HVDC converting station operating for more than 80 % of the time at conditions close to the nominal conditions, the 80 % radio noise level will coincide with that of nominal operating conditions.

5.5.2 Propagation along the lines

The basic criterion is that the contribution of the radio noise current due to the operation of the converting station in each line, d.c. and a.c., connected to the station, shall not substantially increase the intrinsic noise level of the line beyond a given distance from the station. This distance should be determined considering the type of area crossed by the line (rural areas, residential area, etc.). To keep this increase within 3 dB at the above-mentioned distance, the noise current arriving in that point from the converting station should be around 10 dB lower than the noise current of the line.

The noise current from the converter station at the distance of interest along the line, corresponds to the total noise current produced either on the a.c. side or on the d.c. side of the station divided by the number of a.c. and d.c. lines, respectively, diminished according to the expected longitudinal attenuation. Unless more specific information is available, the longitudinal attenuation factors indicated in 5.4.1 can be taken as a reference.

To determine the 80 % limits of the radio noise current generated by the converter station, the variability of the noise currents of the line (depending on weather conditions) and that of the converter station (depending on the operating conditions; see 5.5.1) shall be taken into account. As the variability of the intrinsic noise of the line is generally much higher than that generated by the station, the limit for the station noise current can be determined conservatively comparing directly the 80 % values of the two distributions.

Sur la base des indications ci-dessus, la valeur de 80 % du courant perturbateur généré par la station de conversion, $I_{80\%-SC}$, peut être mise en relation avec la valeur de 80 % de la ligne, $I_{80\%-L}$, tous deux exprimés en dB, par la formule suivante:

$$I_{80\%-SC} = I_{80\%-L} + A + 20 \text{ Log}(n) - 10$$

où

n est le nombre de lignes en courant continu ou en courant alternatif;

A est l'atténuation tout le long de la longueur la ligne pour laquelle une augmentation de plus de 3 dB est acceptée.

NOTE – Pour vérifier que le niveau perturbateur à une distance transversale donnée de la ligne soit en accord avec le critère indiqué ci-dessus, les mesures devraient être effectuées à une distance longitudinale du bord de la station suffisante à éviter les effets de superposition mentionnés en 5.5 (à plus de 1 km, par exemple à 2,5 km).

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of CISPR 18-2:1986/AMD2:1996

Based on the above indications, the 80 % value of the noise current from the converting station, $I_{80\%-CS}$, may be put in relationship with the 80 % value of the line, $I_{80\%-L}$, both expressed in dB, by means of the following formula.

$$I_{80\%-CS} = I_{80\%-L} + A + 20 \text{ Log}(n) - 10$$

where

n is the number of d.c. or a.c. lines;

A is the attenuation along the length of line for which an increase of more than 3 dB is accepted.

NOTE – To verify that the radio interference level at a given lateral distance from the line complies with the criterion indicated above, the measurements should be performed at a longitudinal distance from the border of the converting station sufficient to avoid the superposition effect mentioned in 5.5 (more than 1 km, e.g. at 2,5 km).

Bibliographie et références
Bibliography and references

Ajouter les références suivantes:
Add the following references:

- [75] P. Sarma Maruvada: *Electromagnetic Interference from HVDC Converter Stations*. E.E.C.P.S. - Capri - May '89
- [76] P. Sarma Maruvada, T. Gisling: *A Method of calculating the Radio Interference from HVDC Converter Stations*. IEEE Transactions, Vol. PAS-92, pp. 1009-1018, May/June 1973
- [77] S. A. Annestrand: *Radio Interference from HVDC Converter Stations*. IEEE Transactions, Vol. PAS-91, pp. 874-882, May/June 1972
- [78] *Radio Interference from HVDC Converter Stations: Modelling and Characterization*. EPRI Report EL-4956, Dec. 1986
- [79] P. Sarma Maruvada, R. Malewski, P. S. Wong: *Measurement of the electromagnetic environment of HVDC Converter Stations*. IEEE Summer Meeting 1988, Portland, 88 SM 582-9
- [80] R. Cortina, F. Demichelis, P. Nicolini, F. Rosa, A. Giorgi: *HVDC Link Between Sardinia, Corsica and the Italian Mainland (S.A.C.O.I.). Interference with Telecommunication*. E.E.C.P.S. - Capri, May '89
- [81] R. D. Dallaire, P. Sarma Maruvada: *Evaluation of the Effectiveness of Shielding and Filtering of HVDC Converter Station*. IEEE Summer Meeting 1988, 88 SM 567-0
- [82] R. M. Morris et alii: *The Corona and Radio-interference Performance of the Nelson River HVDC Transmission Lines*. IEEE Vol. PAS-98 No. 6, Nov./Dec. 1979, pp. 1924 to 1936
- [83] *Radio interference from HVDC Converter Stations*. EPRI Report EL-3712, Oct. 1984
- [84] S. A. Sebo, R. V. De Vore, R. Caldecott, J. L. He: *Design and RF Operation of Large Scale Model of Dickinson ± 400 kV HVDC Converter Station*. IEEE Transactions, Vol. PAS-104, pp. 1930-1936, July 1985
- [85] C. Gary, M. Moreau: *L'effet de couronne en tension alternative*. (Book) Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France, Eyrolles 1976.

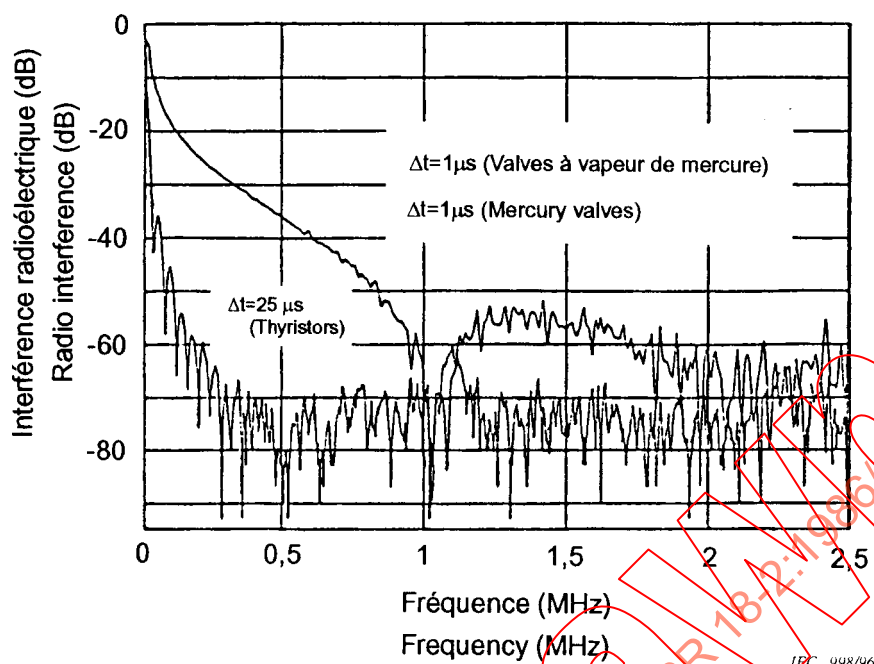


Figure 14 – Exemple de spectres de fréquence des impulsions avec différents temps de montée, simulant les phénomènes de commutation dans des valves à vapeur de mercure et dans des valves à thyristors (voir référence [80])

Example of frequency spectra of pulses with different rise times, simulating commutation phenomena in mercury valves and in thyristor valves (see reference [80])

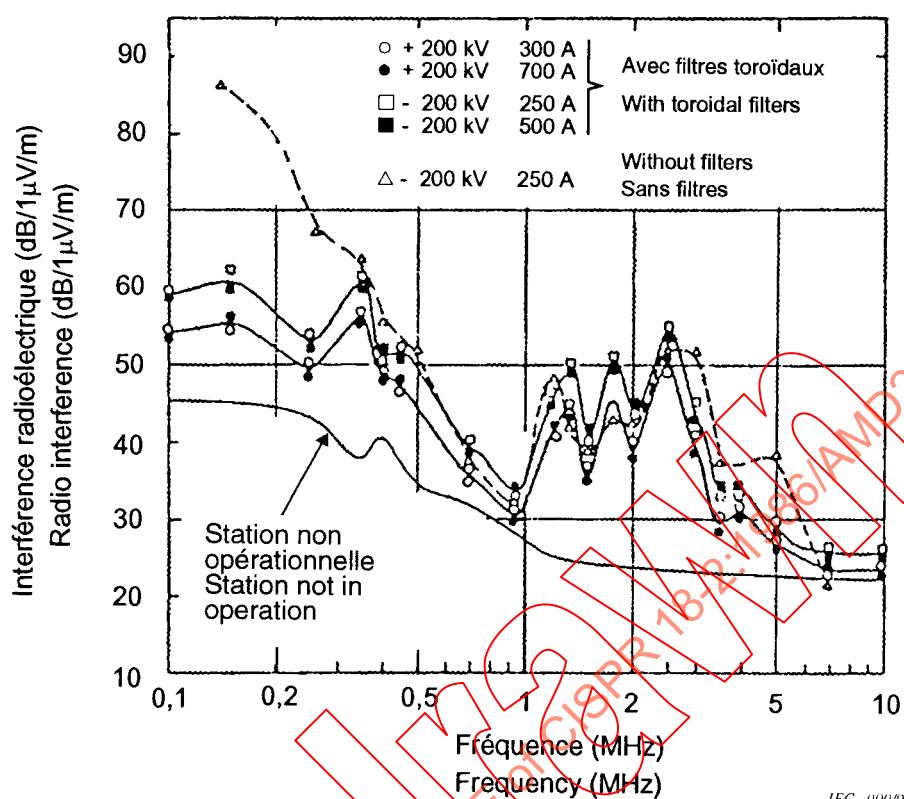


Figure 15 – Exemple de spectres de fréquence de l'interférence radioélectrique enregistrée en dehors de la salle d'une station de conversion avec valves à vapeur de mercure avec et sans filtres toroïdaux (voir référence [80])

Example of frequency spectra of the radio interference recorded outside the hall of a mercury arc valve converter station with and without toroidal filters (see reference [80])

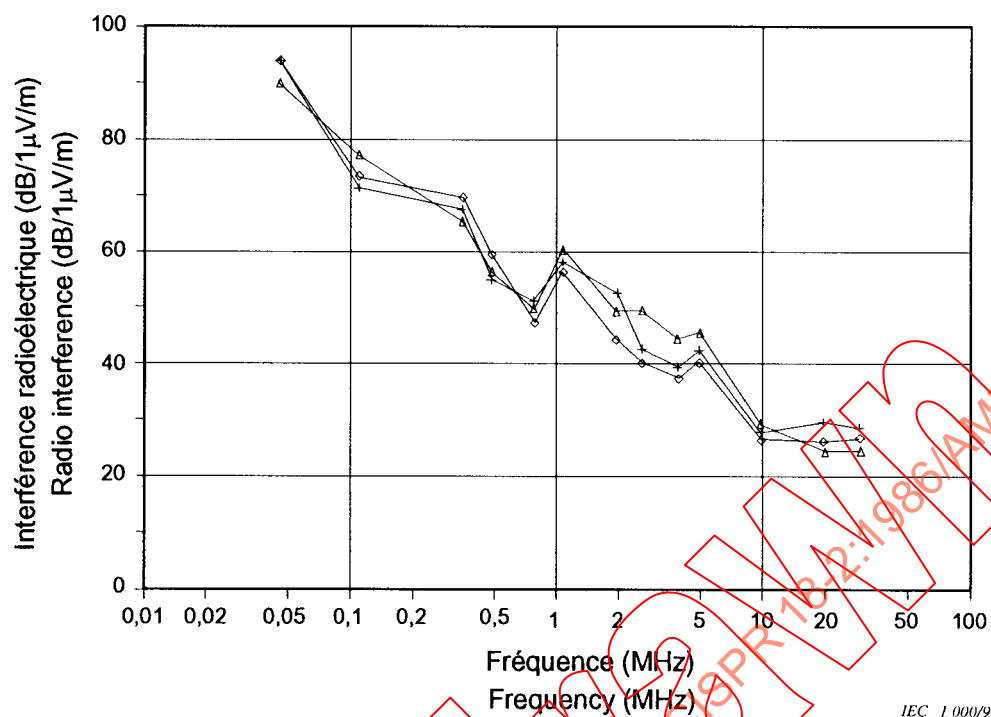


Figure 16 – Exemple de spectres de fréquence de l'interférence radioélectrique enregistrée en dehors de la salle d'une station de conversion avec valves à thyristors dans différentes conditions de fonctionnement

Example of frequency spectra of the radio interference recorded outside the hall of a thyristor valve converter station for different operating conditions

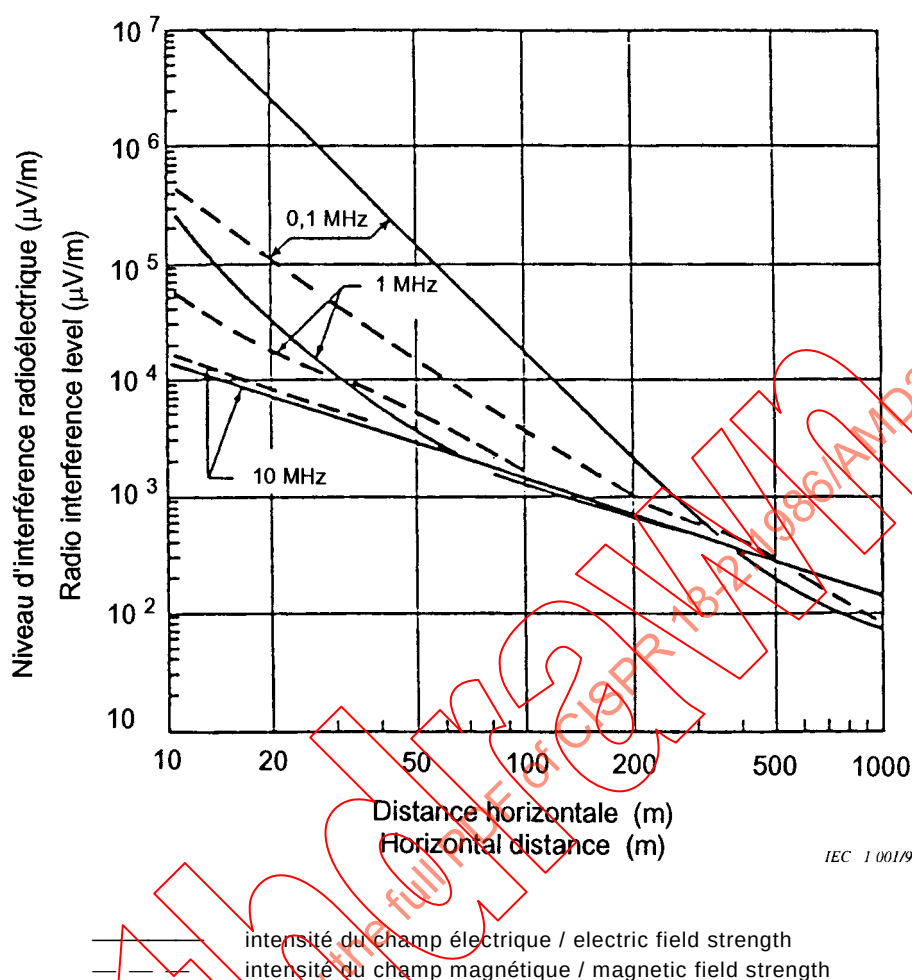


Figure 17 – Atténuation du niveau perturbateur en fonction de la distance sur un plan horizontal pour différentes fréquences
(Valeurs calculées de la radiation libre provoquée par un dipôle électrique vertical; voir référence [77])

Attenuation of the field strength as a function of the distance on a horizontal plane, for different frequencies
(Calculated levels for free wave propagation of a radiation caused by a vertical electrical dipole; see reference [77]).