

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

**Performance of high-voltage direct current (HVDC) systems with line-commutated converters –
Part 3: Dynamic conditions**

**Fonctionnement des systèmes à courant continu haute tension (CCHT) munis
de convertisseurs commutés par le réseau –
Partie 3: Conditions dynamiques**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Outline of HVDC dynamic performance specifications.....	7
3.1 Dynamic performance specification	7
3.2 General comments	8
4 AC system power flow and frequency control.....	8
4.1 General.....	8
4.2 Power flow control.....	8
4.2.1 Steady-state power control requirements.....	8
4.2.2 Step change power requirement	9
4.3 Frequency control	11
5 AC dynamic voltage control and interaction with reactive power sources	12
5.1 General.....	12
5.2 Voltage and reactive power characteristics of an HVDC substation and other reactive power sources.....	12
5.2.1 General	12
5.2.2 Converter as active/reactive power source	13
5.2.3 Voltage characteristics of a.c. networks depending on the power loading at the busbar of the HVDC substation.....	15
5.2.4 Voltage characteristics of a.c. filters, capacitor banks and shunt reactors for power compensation at the HVDC substation.....	17
5.2.5 Voltage characteristics of static var compensator (SVC).....	17
5.2.6 Voltage characteristics of synchronous compensator (SC).....	18
5.3 Voltage deviations on the busbar of an HVDC substation	18
5.4 Voltage and reactive power interaction of the substation and other reactive power sources	19
5.4.1 HVDC converters, switchable a.c. filters, capacitor banks and shunt reactors	19
5.4.2 HVDC converters, switchable reactive power sources, SVC.....	20
5.4.3 HVDC converters, switchable reactive power sources and synchronous compensators	20
6 AC system transient and steady-state stability.....	21
6.1 General.....	21
6.2 Characteristics of active and reactive power modulation.....	21
6.2.1 General	21
6.2.2 Large signal modulation.....	22
6.2.3 Small signal modulation.....	23
6.2.4 Reactive power modulation.....	23
6.3 Classification of network situations.....	24
6.4 AC network in parallel with the HVDC link	24
6.5 Improvement of the stability within one of the connected a.c. networks	28
6.6 Determination of the damping control characteristics.....	28
6.7 Implementation of the damping controller and telecommunication requirements	29
7 Dynamics of the HVDC system at higher frequencies	29
7.1 General.....	29
7.2 Types of instability	30

7.2.1	Loop instability (harmonic instability)	30
7.2.2	Current loop instability	30
7.2.3	Core saturation instability	30
7.2.4	Harmonic interactions	30
7.3	Information required for design purposes	31
7.4	Means available for preventing instabilities	32
7.5	Damping of low order harmonics by control action	32
7.6	Demonstration of satisfactory performance at higher frequencies	32
8	Subsynchronous oscillations	33
8.1	General	33
8.2	Criteria for subsynchronous torsional interaction with an HVDC system	34
8.3	Screening criteria for identifying generator units susceptible to torsional interactions	35
8.4	Performance considerations for utilizing subsynchronous damping controls	36
8.5	Performance testing	36
8.6	Turbine generator protection	36
9	Power plant interaction	37
9.1	General	37
9.2	Specific interactions	37
9.2.1	General	37
9.2.2	Frequency variation effects	37
9.2.3	Frequency controls interactions	37
9.2.4	Overvoltage effects	38
9.2.5	Harmonics	38
9.2.6	Subsynchronous and shaft impact effects	38
9.2.7	Resonance	39
9.2.8	Overvoltages	39
9.2.9	Stresses in a.c. switching equipment	39
9.2.10	Under-frequency	39
9.2.11	Starting procedure for an HVDC converter	39
9.3	Special considerations for a nuclear plant	39
	Bibliography	40
	Figure 1 – Elements for reactive power compensation at an HVDC substation	13
	Figure 2 – P/Q diagram of a converter	14
	Figure 3 – Reactive power requirements of a weak a.c. system depending on the active power loading for various constant voltage characteristics at the a.c. bus of an HVDC substation	16
	Figure 4 – Representation of the a.c. network	16
	Figure 5 – An example of voltage – current characteristic showing possible current modulation range in the absence of telecommunication between rectifier and inverter	23
	Figure 6 – Reactive power modulation in an HVDC transmission operating at minimum extinction angle $\gamma_{\min}$	25
	Figure 7 – Reactive power modulation in an HVDC transmission operating at extinction angle $\gamma > \gamma_{\min}$	26
	Figure 8 – Stability improvement of an a.c. link or network	27
	Figure 9 – Principle arrangements of a damping controller	27

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**PERFORMANCE OF HIGH-VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC)
SYSTEMS WITH LINE-COMMUTATED CONVERTERS –****Part 3: Dynamic conditions**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of 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, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 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 IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. 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. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC 60919-3, which is a technical report, has been prepared by subcommittee 22F: Power electronics for electrical transmission and distribution systems, of IEC technical committee 22: Power electronic systems and equipment.

This second edition cancels and replaces the first edition, which was issued as a technical specification in 1999. It constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) this report concerns only line-commutated converters;
- b) significant changes have been made to the control system technology;
- c) some environmental constraints, for example audible noise limits, have been added;
- d) the capacitor coupled converters (CCC) and controlled series capacitor converters (CSCC) have been included.

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

Enquiry draft	Report on voting
22F/183/DTR	22F/192/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.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of the IEC 60919 series, under the general title: *Performance of high-voltage direct current (HVDC) systems with line-commutated converters*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

PERFORMANCE OF HIGH-VOLTAGE DIRECT CURRENT (HVDC) SYSTEMS WITH LINE-COMMUTATED CONVERTERS –

Part 3: Dynamic conditions

1 Scope

This Technical Report provides general guidance on the dynamic performance of high-voltage direct current (HVDC) systems. Dynamic performance, as used in this specification, is meant to include those events and phenomena whose characteristic frequencies or time domain cover the range between transient conditions and steady state. It is concerned with the dynamic performance due to interactions between two-terminal HVDC systems and related a.c. systems or their elements such as power plants, a.c. lines and buses, reactive power sources, etc. at steady-state or transient conditions. The two-terminal HVDC systems are assumed to utilize 12-pulse converter units comprised of three-phase bridge (double way) connections. The converters are assumed to use thyristor valves as bridge arms, with gapless metal oxide arresters for insulation coordination and to have power flow capability in both directions. Diode valves are not considered in this specification. While multi-terminal HVDC transmission systems are not expressly considered, much of the information in this specification is equally applicable to such systems.

Only line-commutated converters are covered in this report, which includes capacitor commutated converter circuit configurations. General requirements for semiconductor line-commutated converters are given in IEC 60146-1-1, IEC 60146-1-2 and IEC 60146-1-3. Voltage-sourced converters are not considered.

This report (IEC 60919-3) which covers dynamic performance, is accompanied by publications for steady-state (IEC 60919-1) and transient (IEC 60919-2) performance. All three aspects should be considered when preparing two-terminal HVDC system specifications.

A difference exists between system performance specifications and equipment design specifications for individual components of a system. While equipment specifications and testing requirements are not defined herein, attention is drawn to those which would affect performance specifications for a system. There are many possible variations between different HVDC systems, therefore these are not considered in detail. This report should not be used directly as a specification for a specific project, but rather to provide the basis for an appropriate specification tailored to fit actual system requirements for a particular electric power transmission scheme. This report does not intend to discriminate between the responsibility of users and manufacturers for the work specified.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60146-1-1, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-1: Specification of basic requirements*

IEC/TR 60146-1-2, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-2: Application guide*

IEC 60146-1-3, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-3: Transformers and reactors*

IEC/TR 60919-1:2005, *Performance of high-voltage direct current (HVDC) systems with line-commutated converters – Part 1: Steady-state conditions*

IEC/TR 60919-2:2008, *Performance of high-voltage direct current (HVDC) systems with line-commutated converters – Part 2: Faults and switching*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	45
1 Domaine d'application	47
2 Références normatives	47
3 Généralités sur les spécifications relatives au fonctionnement dynamique des réseaux CCHT	48
3.1 Spécification relative au fonctionnement dynamique	48
3.2 Commentaire général	49
4 Commande du transfert de puissance et de la fréquence des réseaux à courant alternatif	49
4.1 Généralités	49
4.2 Commande du transfert de puissance	49
4.2.1 Exigences relatives à la commande de la puissance en régime établi	49
4.2.2 Exigence relative à la modification graduelle de la puissance	51
4.3 Commande de la fréquence	53
5 Commande de la tension dynamique des réseaux à courant alternatif et interactions avec les sources de puissance réactive	54
5.1 Généralités	54
5.2 Caractéristiques de tension et de puissance réactive d'un poste CCHT et des autres sources de puissance réactive	55
5.2.1 Généralités	55
5.2.2 Convertisseur source de puissance active et réactive	55
5.2.3 Caractéristiques de tension des réseaux à courant alternatif en fonction de la charge imposée à la barre omnibus du poste CCHT	58
5.2.4 Caractéristiques de tension des filtres côté courant alternatif, des batteries de condensateurs et des inductances shunt, pour la compensation de puissance au poste CHT	60
5.2.5 Caractéristiques de tension des compensateurs statiques	60
5.2.6 Caractéristiques de tension des compensateurs synchrones	61
5.3 Ecart de tension à la barre omnibus d'un poste CCHT	61
5.4 Interactions entre la tension et la puissance réactive dans le poste et les autres sources de puissance réactive	63
5.4.1 Convertisseurs CCHT, filtres commutables côté réseau alternatif, batteries de condensateurs et inductances shunt	63
5.4.2 Convertisseurs CCHT, sources de puissance réactive commutables, compensateur statique	64
5.4.3 Convertisseurs CCHT, sources de puissance réactive commutables et compensateurs synchrones	64
6 Stabilité des réseaux à courant alternatif dans des conditions transitoires et en régime établi	65
6.1 Généralités	65
6.2 Caractéristiques de la modulation de la puissance active et réactive	66
6.2.1 Généralités	66
6.2.2 Modulation de grands signaux	66
6.2.3 Modulation de petits signaux	67
6.2.4 Modulation de la puissance réactive	67
6.3 Classification des configurations de réseau	68
6.4 Réseau à courant alternatif en parallèle avec le réseau CCHT	68
6.5 Amélioration de la stabilité dans l'un des réseaux à courant alternatif reliés au réseau CCHT	72

6.6	Détermination des caractéristiques de la commande de l'amortissement	72
6.7	Mise en œuvre des exigences relatives au contrôleur d'amortissement et aux communications.....	73
7	Fonctionnement dynamique des réseaux CCHT aux fréquences supérieures.....	74
7.1	Généralités.....	74
7.2	Types d'instabilité	74
7.2.1	Instabilité de boucle (instabilité harmonique)	74
7.2.2	Instabilité de boucle de courant.....	74
7.2.3	Instabilité associée à la saturation des noyaux	74
7.2.4	Interactions harmoniques	75
7.3	Informations à prendre en compte lors de la conception	76
7.4	Moyens de prévention des instabilités	76
7.5	Amortissement des harmoniques d'ordre inférieur par des commandes	77
7.6	Démonstration de la qualité du fonctionnement aux fréquences supérieures.....	77
8	Oscillations sous-synchrones	78
8.1	Généralités	78
8.2	Critères d'une interaction de torsion sous-synchrone avec un réseau CCHT	79
8.3	Critères d'analyse pour l'identification des groupes d'alternateurs susceptibles de subir des effets de torsion.....	80
8.4	Considérations relatives à la performance pour l'utilisation de commandes sous-synchrones de l'amortissement.....	81
8.5	Essai de fonctionnement.....	81
8.6	Protection des groupes turbines-alternateurs	82
9	Interaction avec les centrales électriques	82
9.1	Généralités.....	82
9.2	Effets spécifiques	82
9.2.1	Généralités	82
9.2.2	Répercussions des variations de fréquence.....	82
9.2.3	Interactions des commandes de fréquence.....	83
9.2.4	Effets des surtensions	83
9.2.5	Harmoniques	84
9.2.6	Effets sous-synchrones et répercussions sur l'arbre	84
9.2.7	Résonance	84
9.2.8	Surtensions	84
9.2.9	Contraintes dans le matériel de commutation à courant alternatif	85
9.2.10	Sous-fréquences.....	85
9.2.11	Procédure de démarrage d'un convertisseur.....	85
9.3	Cas spécial d'une centrale nucléaire	85
	Bibliographie	86

Figure 1 – Composants pour la compensation de la puissance réactive à un poste CCHT	56
Figure 2 – Diagramme P/Q d'un convertisseur.....	57
Figure 3 – Exigences de puissance réactive pour un réseau alternatif à basse puissance en fonction de la puissance active de charge pour diverses caractéristiques de tension constante à la barre côté alternatif d'un poste CCHT	59
Figure 4 – Représentation d'un réseau alternatif.....	59
Figure 5 – Exemple d'une caractéristique tension – courant présentant une plage de modulation de courant possible en l'absence de communication entre le redresseur et l'onduleur	67

Figure 6 – Modulation de la puissance réactive dans un réseau de transport CCHT fonctionnant à l'angle d'extinction minimal $\gamma_{\min}$	69
Figure 7 – Modulation de puissance réactive dans un transport CCHT s'effectuant à un angle d'extinction $\gamma > \gamma_{\min}$	70
Figure 8 – Amélioration de la stabilité d'une liaison ou d'un réseau alternatif.....	71
Figure 9 – Configurations de principe d'un contrôleur d'amortissement	71

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FONCTIONNEMENT DES SYSTÈMES À COURANT CONTINU HAUTE TENSION (CCHT) MUNIS DE CONVERTISSEURS COMMUTÉS PAR LE RÉSEAU –

Partie 3: Conditions dynamiques

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI 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'élaboration de Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, par exemple, des informations sur l'état de l'art.

La CEI 60919-3, qui est un rapport technique, a été établie par le sous-comité 22F: Electronique de puissance pour les réseaux électriques de transport et de distribution, du comité d'études 22 de la CEI: Systèmes et équipements électroniques de puissance.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue comme spécification technique en 1999. Elle constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) ce rapport technique ne concerne que les convertisseurs commutés par le réseau;
- b) des changements significatifs ont été apportés à la technologie du système de contrôle;
- c) certaines contraintes environnementales ont été ajoutées, par exemple les niveaux de bruit audible maximaux;
- d) les convertisseurs connectés au travers de condensateurs (CCC) et les convertisseurs à condensateurs en série contrôlés (CCSC) ont été ajoutés.

Le texte du présent rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
22F/183/DTR	22F/192/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.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60919 présentées sous le titre général *Fonctionnement des systèmes à courant continu haute tension (CCHT) munis de convertisseurs commutés par le réseau*, peut être consultée sur le site Internet de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

FONCTIONNEMENT DES SYSTÈMES À COURANT CONTINU HAUTE TENSION (CCHT) MUNIS DE CONVERTISSEURS COMMUTÉS PAR LE RÉSEAU –

Partie 3: Conditions dynamiques

1 Domaine d'application

Le présent Rapport technique contient des indications générales sur le fonctionnement dynamique des réseaux à courant continu haute tension (CCHT). Dans cette spécification, on utilise le terme fonctionnement dynamique pour désigner les événements et les phénomènes dont les fréquences caractéristiques ou la plage temporelle correspondent à un état entre des conditions transitoires et celles du régime établi. Ce type de fonctionnement résulte de l'interaction entre les réseaux CCHT à deux extrémités et les réseaux à courant alternatif ou leurs composants, par exemple les centrales, les lignes et les barres à courant alternatif et les sources de puissance réactive, etc. dans des conditions transitoires ou en régime établi. On suppose que les réseaux CCHT à deux extrémités utilisent des unités de conversion à 12 impulsions montées en pont triphasé (bidirectionnel). On suppose également que les convertisseurs utilisent des valves à thyristors comme les bras du pont, ainsi que des parafoudres à oxyde métallique sans éclateur pour la coordination de l'isolement et pour permettre le transfert de puissance dans les deux sens. Les valves à diodes ne sont pas étudiées dans cette spécification. Bien que les réseaux de transport CCHT à extrémités multiples ne soient pas mentionnés expressément ici, la majeure partie de l'information contenue dans cette spécification s'applique également à ces réseaux.

Seuls les convertisseurs commutés par le réseau sont traités dans le présent rapport, lequel comprend des configurations de circuit de convertisseurs commutés par des condensateurs. Les exigences générales pour les convertisseurs à semi-conducteurs commutés par le réseau sont données dans les CEI 60146-1-1, CEI 60146-1-2 et CEI 60146-1-3. Les convertisseurs à source de tension ne sont pas traités.

Le présent rapport (CEI 60919-3) qui porte sur le fonctionnement dynamique est accompagné de publications concernant le fonctionnement en régime établi (CEI 60919-1) et le fonctionnement dans des conditions transitoires (CEI 60919-2). Il convient de tenir compte des trois aspects lors de la préparation des spécifications d'un réseau CCHT à deux extrémités.

Il existe une différence entre les spécifications de fonctionnement des réseaux et les spécifications de conception des matériels qui constituent les composants individuels d'un réseau. Les spécifications des matériels et les exigences relatives aux essais ne sont pas définies ici; l'accent est mis plutôt sur celles qui pourraient avoir une influence sur les spécifications de fonctionnement d'un réseau. Il existe de multiples variantes de réseaux CCHT, c'est pourquoi elles ne sont pas étudiées en détail ici. Il convient de ne pas utiliser ce rapport comme la spécification d'un projet particulier, mais plutôt en tant que base dans la préparation d'une spécification plus appropriée, permettant de répondre aux exigences réelles d'un réseau pour un schéma particulier de transport d'énergie électrique. Ce rapport n'a pas pour objet de distinguer la responsabilité de l'utilisateur de celle du fabricant en ce qui concerne le projet spécifié.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60146-1-1, *Convertisseurs à semiconducteurs – Exigences générales et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-1: Spécification des exigences de base*

CEI/TR 60146-1-2, *Convertisseurs à semiconducteurs – Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-2: Guide d'application*

CEI 60146-1-3, *Convertisseurs à semiconducteurs – Spécifications communes et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-3: Transformateurs et bobines d'inductance*

CEI/TR 60919-1:2005, *Performance of high-voltage direct current (HVDC) systems with line-commutated converters – Part 1: Steady-state conditions*

CEI/TR 60919-2:2008, *Fonctionnement des systèmes à courant continu haute tension (CCHT) munis de convertisseurs commutés par le réseau – Partie 2: Défauts et manoeuvres*