

NORME INTERNATIONALE

Détermination des pertes en puissance dans les stations de conversion en courant continu à haute tension (CCHT)

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED
Copyright © 2026 IEC, Geneva, Switzerland

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications, symboles graphiques et le glossaire. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	3
1 Domaine d'application	5
2 Références normatives	5
3 Termes, définitions et symboles	6
3.1 Termes et définitions	6
3.2 Symboles	7
3.2.1 Communs	7
3.2.2 Convertisseurs commutés par le réseau	8
4 Vue d'ensemble	8
4.1 Généralités	8
4.2 Conditions ambiantes	12
4.2.1 Généralités	12
4.2.2 Température extérieure de référence normalisée	12
4.2.3 Température de référence normalisée de l'agent de refroidissement	12
4.2.4 Pression de l'air de référence normalisée	12
4.3 Paramètres de fonctionnement	12
5 Détermination des pertes du matériel	13
5.1 Pertes de valves à thyristor (LCC uniquement)	13
5.1.1 Généralités	13
5.1.2 Pertes de conduction de thyristors par valve	16
5.1.3 Pertes par étalement dans le thyristor par valve	17
5.1.4 Autres pertes de conduction par valve	19
5.1.5 Pertes qui dépendent de la tension continue par valve	19
5.1.6 Pertes d'amortissement par valve (terme dépendant de la résistance)	21
5.1.7 Pertes d'amortissement par valve (variation du terme énergie du condensateur)	22
5.1.8 Pertes au blocage par valve	22
5.1.9 Perte d'inductance par valve	23
5.1.10 Pertes totales de valve	24
5.1.11 Effets de la température	24
5.1.12 Pertes en fonctionnement à vide par valve	24
5.2 Pertes d'un transformateur	25
5.2.1 Généralités	25
5.2.2 Pertes en fonctionnement à vide	25
5.2.3 Pertes en fonctionnement	25
5.2.4 Pertes en puissance auxiliaire	27
5.3 Pertes par filtres côté alternatif	27
5.3.1 Généralités	27
5.3.2 Pertes au niveau d'un condensateur de filtrage à courant alternatif	28
5.3.3 Pertes au niveau d'une inductance de filtrage à courant alternatif	29
5.3.4 Pertes au niveau d'une résistance de filtrage à courant alternatif	29
5.3.5 Pertes totales au niveau d'un filtre côté alternatif	29
5.4 Pertes au niveau d'une batterie de condensateurs shunt	29
5.5 Pertes au niveau d'une bobine d'inductance shunt	30
5.6 Pertes au niveau d'une bobine d'inductance de lissage en courant continu	30
5.7 Pertes au niveau d'un filtre côté continu	32

5.7.1	Généralités	32
5.7.2	Pertes au niveau d'un condensateur de filtrage à courant continu	32
5.7.3	Pertes au niveau d'une inductance de filtrage à courant continu	33
5.7.4	Pertes au niveau d'une résistance de filtrage à courant continu	33
5.7.5	Pertes totales au niveau d'un filtre côté continu	33
5.8	Pertes du matériel auxiliaire et de la station en service	33
5.9	Pertes au niveau d'un filtre en série	34
5.10	Pertes au niveau de l'inductance de phase (VSC uniquement)	35
5.11	Pertes au niveau de l'inductance de valve (VSC uniquement)	37
5.12	Autres pertes au niveau du matériel	37
Annexe A (informative) Calcul des courants et tensions harmoniques (LCC uniquement)		38
A.1	Courants harmoniques dans les transformateurs de conversion	38
A.2	Courants harmoniques dans les filtres côté alternatif	38
A.3	Tensions harmoniques sur le côté continu	39
A.4	Courants harmoniques côté continu dans la bobine d'inductance de lissage	39
Annexe B (informative) Pertes types de station		40
Annexe C (informative) Évaluation des pertes d'une station de conversion CCHT – Illustration		41
C.1	Généralités	41
C.2	Évaluation des pertes selon différents cas	42
Bibliographie		45
<p style="text-align: center; color: red; font-size: 2em; opacity: 0.5;">Sample Document</p>		
Figure 1 – Matériel type en courant continu à haute tension (CCHT) pour un pôle d'un système LCC		10
Figure 2 – Matériel type en courant continu à haute tension (CCHT) pour un pôle d'un système VSC		11
Figure 3 – Schéma triphasé simplifié d'un convertisseur à 12 pulsations à CCHT (LCC)		14
Figure 4 – Circuit équivalent simplifié d'une valve type à thyristors		15
Figure 5 – Formes d'onde de courant et de tension d'une valve fonctionnant dans un convertisseur à 12 pulsations		16
Figure 6 – Courbe caractéristique d'un thyristor à l'état passant		17
Figure 7 – Courant de conduction et chute de tension d'un thyristor		18
Figure 8 – Répartition de l'inductance de commutation entre L_1 et L_2		20
Figure 9 – Courant dans le thyristor durant le rétablissement inverse		22
Figure 10 – Montage type d'une inductance de phase et d'une inductance de valve par bras d'un système VSC		36
Tableau B.1 – Valeurs types des pertes pour une station LCC		40
Tableau B.2 – Valeurs types des pertes pour une station VSC MMC		40
Tableau C.1 – Conditions de calcul des pertes dans le cas D1		43
Tableau C.2 – Conditions de calcul des pertes dans le cas D2		44

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

Détermination des pertes en puissance dans les stations de conversion en courant continu à haute tension (CCHT)

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC 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 l'IEC. L'IEC 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 61803 a été établie par le sous-comité 22F: Électronique de puissance pour les réseaux électriques de transport et de distribution, du comité d'études 22 de l'IEC: Systèmes et équipements électroniques de puissance. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2020. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) les stations CCHT qui disposent de la technologie des convertisseurs de source de tension (VSC) ont été incluses;
- b) en vue de faciliter l'application de la norme sans en détériorer la qualité, le 5.1.8 et le 5.8 ont été revus en tenant compte du fait que la technologie de production de thyristors actuelle occasionne considérablement moins de dispersion dans les paramètres des thyristors par rapport à la situation de 1999, lorsque la première édition de l'IEC 61803 a été élaborée; ainsi, les données enregistrées de production de thyristors peuvent être utilisées pour les calculs de pertes en puissance;
- c) le calcul des pertes totales d'une station en charge (cas D1 et D2 à l'Annexe C) a été corrigé.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
22F/860/FDIS	22F/868/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

1 Domaine d'application

Le présent document s'applique à toutes les stations de conversion en courant continu à haute tension (CCHT) avec convertisseurs commutés par le réseau (LCC, *Line-Commutated Converters*) et avec convertisseurs de source de tension (VSC, *Voltage-Sourced Converters*), utilisées pour l'échange de puissance (transmission de puissance ou installation dos à dos) dans des systèmes de distribution d'énergie. Pour les convertisseurs commutés par le réseau (LCC), le présent document présuppose l'utilisation de convertisseurs à thyristors à 12 pulsations, mais peut également, en prenant les précautions appropriées, s'appliquer à des convertisseurs à thyristors à 6 pulsations.

Lorsqu'il est fait référence à un VSC dans le présent document, il est admis par hypothèse qu'il s'agit d'un VSC de type MMC ou similaire, avec une très faible génération d'harmoniques. Il est important de traiter d'autres types de VSC selon le cas.

Dans certaines applications, des compensateurs synchrones, des compensateurs var statiques (CVS) ou des compensateurs statiques synchrones (STATCOM) sont connectés au bus en courant alternatif de la station de conversion en courant continu à haute tension (CCHT). Les procédures de détermination de pertes pour ce type de matériel ne figurent pas dans le présent document.

Le présent document décrit un ensemble de procédures types qui permettent de déterminer l'ensemble des pertes d'une station de conversion CCHT, à l'exception des valves VSC qui sont couvertes par la série IEC 62751. Les procédures s'appliquent à toutes les pièces, à l'exception de celles susmentionnées, et prennent en compte les pertes en fonctionnement à vide et les pertes en fonctionnement ainsi que leurs méthodes de calcul qui utilisent, dans la mesure du possible, des paramètres mesurés.

Les conceptions de station de conversion qui utilisent des composants ou des configurations de circuit originaux par rapport à la conception type prise pour hypothèse dans le présent document, ou des conceptions équipées de circuits auxiliaires inhabituels susceptibles de modifier les pertes, sont évaluées selon leurs propres mérites.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC 60076-1, *Transformateurs de puissance - Partie 1: Généralités*

IEC 60076-6, *Transformateurs de puissance - Partie 6: Bobines d'inductance*

IEC 60633, *Transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) - Vocabulaire*

IEC 60700-1:2015, *Valves à thyristors pour le transport d'énergie en courant continu à haute tension (CCHT) - Partie 1: Essais électriques*
IEC 60700-1:2015/AMD1:2021

IEC 60871-1, *Condensateurs shunt pour réseaux à courant alternatif de tension assignée supérieure à 1 000 V - Partie 1: Généralités*

IEC 62747, *Terminologie relative aux convertisseurs de source de tension (VSC) des systèmes en courant continu à haute tension (CCHT)*

3 Termes, définitions et symboles

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60633 et de l'IEC 62747 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1 Termes et définitions

3.1.1

pertes auxiliaires

puissance électrique exigée pour alimenter les charges auxiliaires des stations de conversion

Note 1 à l'article: Les pertes auxiliaires dépendent du nombre d'unités de conversion utilisées et varient selon que la station fonctionne à vide ou en charge, auquel cas les pertes auxiliaires dépendent du niveau de charge.

3.1.2

pertes en fonctionnement à vide du matériel

pertes produites dans un élément de matériel tandis que la station de conversion est sous tension, mais que les convertisseurs sont bloqués et que toutes les charges de station en service et le matériel auxiliaire sont connectés comme cela est exigé pour la captation immédiate d'une charge à la puissance minimale spécifiée

3.1.3

niveau de charge

ensemble des conditions de fonctionnement du réseau à courant alternatif et du convertisseur dans lesquelles la station de conversion fonctionne

Note 1 à l'article: Pour les systèmes LCC, le niveau de charge est défini par le courant continu, la tension continue, l'angle d'allumage, la tension du réseau à courant alternatif et la position du changeur de prises du transformateur de conversion.

Note 2 à l'article: Pour les systèmes VSC, le niveau de charge est défini par le courant continu, la tension continue, la tension du réseau à courant alternatif, la position du changeur de prises du transformateur d'interface (le cas échéant), la tension alternative du convertisseur, le courant alternatif du convertisseur et l'angle de phase entre la tension alternative et le courant alternatif du convertisseur.

3.1.4

pertes en fonctionnement du matériel

pertes produites dans un élément de matériel à un niveau de charge donné, tandis que la station de conversion est sous tension et que les convertisseurs sont en fonctionnement

3.1.5

charge assignée

charge qui correspond au fonctionnement aux valeurs nominales des conditions de fonctionnement définies au 3.1.3

Note 1 à l'article: Par hypothèse, le réseau à courant alternatif doit être à la fréquence nominale et ses tensions triphasées sont nominales et équilibrées. La position du changeur de prises du transformateur de conversion/d'interface et le nombre de filtres à courant alternatif et d'éléments d'inductance shunt éventuellement connectés doivent être cohérents avec un fonctionnement sous une charge assignée, qui coïncide avec des conditions nominales.

3.1.6

pertes totales en fonctionnement à vide d'une station

somme de toutes les pertes en fonctionnement à vide du matériel (3.1.2) et des pertes auxiliaires correspondantes (3.1.1)

3.1.7**pertes totales en fonctionnement d'une station**

somme de toutes les pertes en fonctionnement du matériel (3.1.4) et des pertes auxiliaires correspondantes (3.1.1) à un niveau de charge particulier

Note 1 à l'article: L'Annexe C, cas D1, illustre ceci par un exemple utilisant les pertes totales en fonctionnement d'une station et l'évaluation des pertes correspondante.

3.1.8**pertes totales d'une station en charge**

différence entre les pertes totales en fonctionnement d'une station (3.1.7) et les pertes totales en fonctionnement à vide d'une station (3.1.6)

Note 1 à l'article: Les pertes totales d'une station en charge ainsi calculées sont considérées comme équivalentes, sur un plan quantitatif, aux pertes dues à la charge telles que celles de la pratique conventionnelle pour une station en courant alternatif.

Note 2 à l'article: Il est admis que certains acheteurs évaluent les pertes totales en fonctionnement à vide d'une station (3.1.6) et les pertes totales d'une station en charge de manière individuelle plutôt que d'évaluer les pertes totales en fonctionnement d'une station (3.1.7).

Note 3 à l'article: L'Annexe C, cas D2, illustre ceci par un exemple permettant d'extraire les pertes dues à la charge, les pertes dues à la charge équivalentes et l'évaluation des pertes correspondante.

3.1.9**charge auxiliaire essentielle à la station**

charge dont la défaillance compromet la capacité de conversion de la station de conversion CCHT (par exemple, le refroidissement des valves), ou charge qui continue à fonctionner en cas de coupure totale de l'alimentation en courant alternatif (par exemple, les chargeurs de batterie, les mécanismes de fonctionnement)

3.2 Symboles**3.2.1 Communs**

f	fréquence du réseau à courant alternatif, en hertz (Hz)
I_d	courant continu, en ampères (A)
I_n	courant efficace harmonique de rang n , en ampères (A)
n	rang de l'harmonique
P	perte en puissance dans un élément de matériel, en watts (W)
Q_n	facteur de qualité d'une bobine d'inductance pour un rang d'harmonique n
R	valeur de la résistance, en ohms (Ω)
U_d	tension continue, en volts (V)
U_n	tension efficace harmonique de rang n , en volts (V)
X_n	réactance inductive pour un rang d'harmonique n , en ohms (Ω)

3.2.2 Convertisseurs commutés par le réseau

α	angle de retard (d'amorçage/allumage), en radians (rad)
γ	angle d'extinction, en radians (rad)
μ	angle d'empiétement, en radians (rad)
L_1	inductance, en henrys (H), se rapportant à l'enroulement de la valve, entre la source de tension de commutation et le point de couplage commun des enroulements en étoile et en triangle; L_1 doit inclure toute inductance externe entre les bornes d'enroulement de ligne du transformateur et le point de connexion des filtres d'harmoniques à courant alternatif
L_2	inductance, en henrys (H), se rapportant à l'enroulement de la valve, entre le point de couplage commun des enroulements en étoile et en triangle; la valve L_2 doit inclure l'inductance saturée des bobines d'inductance de la valve
m	facteur de couplage électromagnétique à bande étroite, $m = L_1/(L_1 + L_2)$
N_t	nombre de thyristors connectés en série par valve
U_{vo}	valeur efficace de la tension à vide entre phases sur le côté valve du transformateur de conversion à l'exclusion des harmoniques, en volts (V)

4 Vue d'ensemble

4.1 Généralités

Il est important que les fournisseurs sachent précisément comment et où sont générées les pertes, en raison de l'influence de ces dernières sur les valeurs assignées des composants et matériels. Les acheteurs souhaitent disposer d'une valeur de perte vérifiable qui permet une comparaison équitable des offres et d'une procédure qui permet de vérifier objectivement les exigences de caractéristiques fonctionnelles garanties par le fournisseur après la livraison. L'objet principal du présent document est de servir spécifiquement cet intérêt des acheteurs.

En règle générale, il est souhaitable de déterminer l'efficacité d'une station de conversion CCHT en mesurant directement ses pertes d'énergie. Cependant, d'après les tentatives effectuées pour déterminer les pertes de station en soustrayant la puissance mesurée en sortie de la puissance mesurée en entrée, il convient de reconnaître que ces mesurages présentent une inexactitude inhérente, particulièrement lorsqu'ils sont réalisés à haute tension. Les pertes de station de conversion CCHT à pleine charge sont généralement inférieures à 1 % de la puissance transmise. Par conséquent, il est probable que les pertes mesurées, qui représentent une faible différence entre deux grandes quantités, ne fournissent pas une indication suffisamment exacte des pertes réelles.

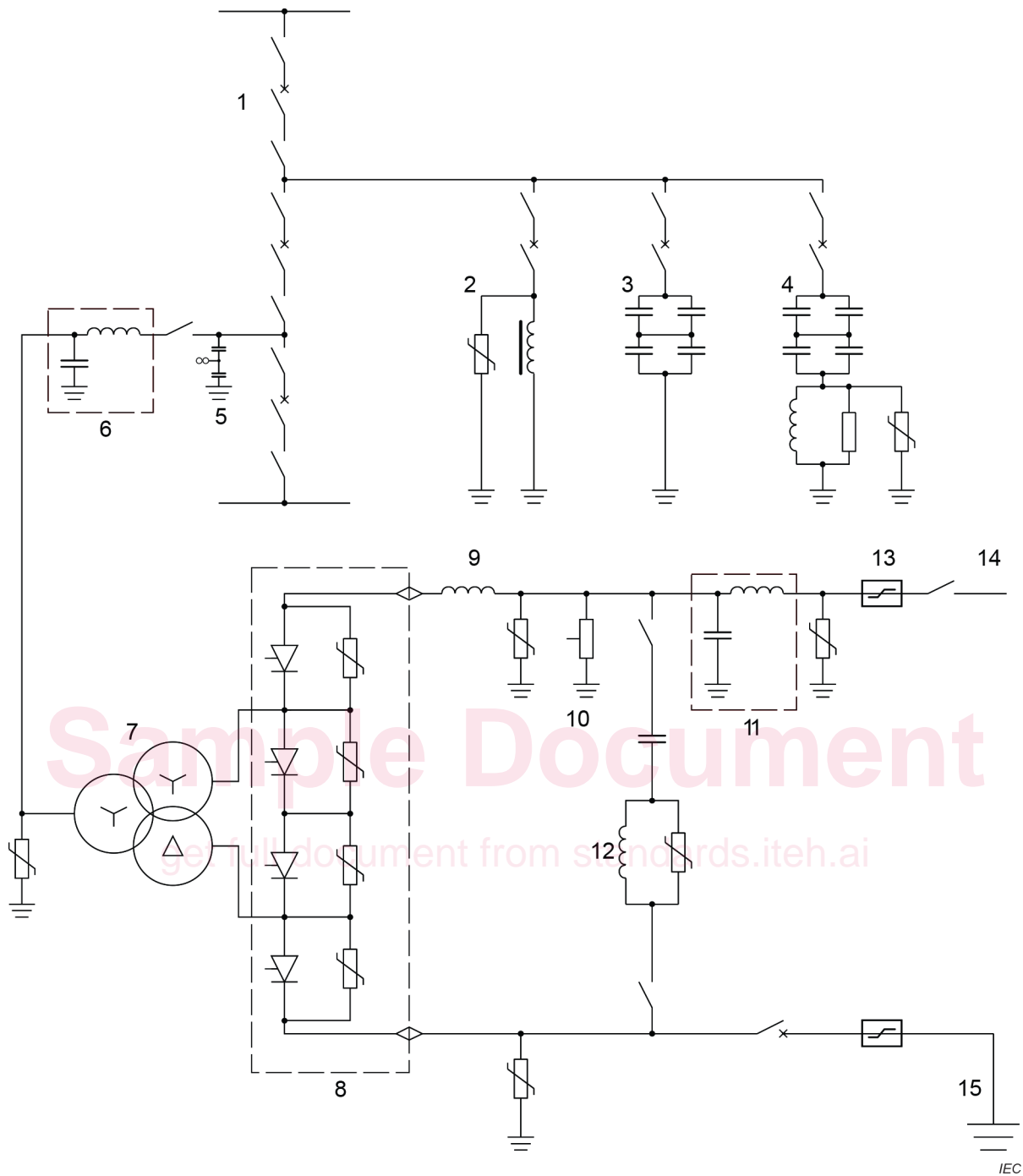
Dans certaines circonstances particulières, il peut être possible, par exemple, de réaliser un montage d'essai temporaire dans lequel deux convertisseurs fonctionnent à partir de la même source de courant alternatif et sont également raccordés par l'intermédiaire de leurs bornes en courant continu. Dans ce raccordement, la puissance issue de la source de courant alternatif est égale aux pertes dans le circuit, même si dans la plupart des cas cela ne représente pas un mode nominal de fonctionnement normal. Cependant, la source de courant alternatif doit également fournir un support var et une tension de commutation aux deux convertisseurs. Là encore, des difficultés liées au mesurage pratique sont rencontrées, et il est toujours important de recalculer/corriger les pertes pour les paramètres nominaux et les conditions ambiantes/de fonctionnement.

Pour éviter les problèmes décrits ci-dessus, puisque ces mesurages pratiques ne sont pas fiables et dépendent également du type de solution CCHT, il est recommandé d'utiliser le présent document qui normalise une méthode de calcul des pertes de station de conversion CCHT en additionnant les pertes calculées pour chaque élément de matériel. La méthode de calcul normalisée aide l'acheteur à réaliser une comparaison significative des offres concurrentes. Elle permet également de créer facilement des courbes qui représentent les caractéristiques fonctionnelles pour un large éventail de conditions de fonctionnement dans lesquelles ces caractéristiques doivent être connues. En l'absence de méthode expérimentale peu coûteuse permettant une vérification objective des pertes au cours d'essais de type, la méthode de calcul constitue la meilleure solution de remplacement, car elle utilise, dans la mesure du possible, des données expérimentales obtenues à partir des mesurages réalisés sur un matériel et des composants individuels dans des conditions équivalentes à celles rencontrées en fonctionnement réel.

La Figure 1 et la Figure 2 représentent le matériel type en courant continu à haute tension (CCHT) pour un pôle d'une station CCHT LCC et pour un pôle d'une station CCHT VSC, respectivement. Le calcul des courants et tensions harmoniques dans le matériel CCHT pour les stations à convertisseurs commutés par le réseau est décrit à l'Annexe A.

Sample Document

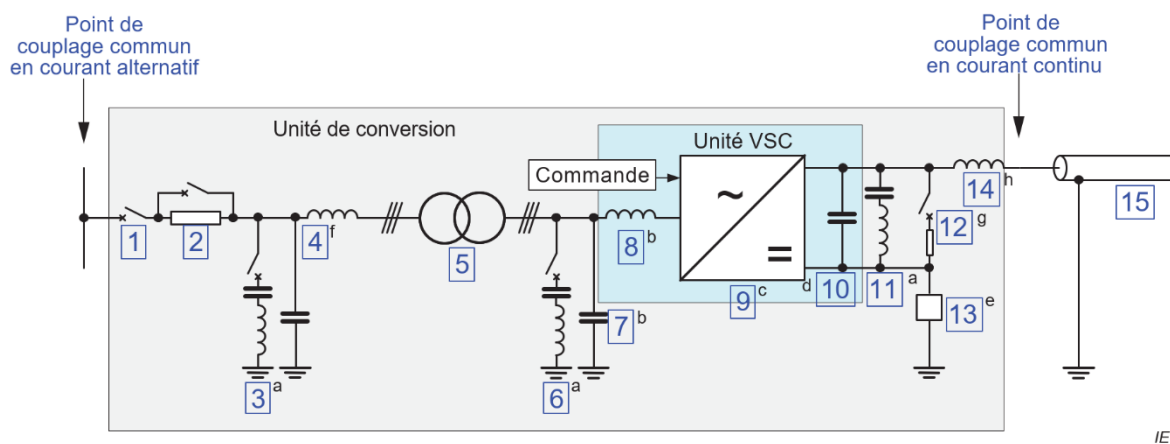
get full document from standards.iteh.ai



Légende

- | | | | |
|---|---|----|---|
| 1 | poste de manœuvres courant alternatif | 9 | bobine d'inductance de lissage en courant continu |
| 2 | batterie d'inductances shunt | 10 | diviseur de tension |
| 3 | batterie de condensateurs shunt | 11 | filtre PLC |
| 4 | batterie de filtres côté courant alternatif | 12 | filtre côté continu |
| 5 | transformateur capacitif de tension | 13 | dispositif de mesure de courant continu |
| 6 | filtre PLC | 14 | ligne des pôles |
| 7 | transformateur de conversion | 15 | électrode de terre |
| 8 | salle des valves | | |

Figure 1 – Matériel type en courant continu à haute tension (CCHT) pour un pôle d'un système LCC



IEC

Légende

- | | | | |
|-------|---|----|--|
| 1 | disjoncteur | 9 | unité VSC |
| 2 | résistance de préinsertion | 10 | condensateur à courant continu à VSC |
| 3 | filtre d'harmonique côté réseau | 11 | filtre d'harmonique à courant continu |
| 4 | filtre haute fréquence côté réseau | 12 | système de freinage dynamique |
| 5 | transformateur d'interface | 13 | branche de mise à la terre du point neutre |
| 6 | filtre d'harmonique côté convertisseur | 14 | inductance à courant continu |
| 7 + 8 | filtre haute fréquence côté convertisseur | 15 | câble à courant continu ou ligne de transport aérienne |
| 8 | inductance de phase | | |
- a Dans certaines conceptions de VSC fondées sur des valves de type commutateur VSC, les filtres harmoniques peuvent ne pas être exigés.
- b Dans certaines conceptions de VSC, l'inductance de phase peut remplir une partie de la fonction du filtre haute fréquence côté convertisseur.
- c Dans certaines topologies de VSC, chaque valve de l'unité VSC peut contenir une "inductance de valve", qui peut être intégrée dans la valve ou fournie comme un composant séparé.
- d Dans certaines conceptions de VSC, le condensateur à courant continu à VSC peut être en partie ou en totalité réparti entre les trois unités de phase de l'unité VSC, auquel cas il est appelé condensateur de sous-module à courant continu.
- e La philosophie et l'emplacement de la branche de mise à la terre du point neutre peuvent être différents selon la conception de l'unité VSC.
- f Dans certaines conceptions de VSC, le transformateur d'interface peut remplir une partie de la fonction du filtre haute fréquence côté ligne.
- g Facultatif.
- h Facultatif, si les inductances de phase ou les inductances de valve sont situées du côté continu du convertisseur.

Figure 2 – Matériel type en courant continu à haute tension (CCHT) pour un pôle d'un système VSC

Par rapport aux LCC, les VSC pour systèmes CCHT produisent une forme d'onde de courant coté alternatif beaucoup moins déformée. Selon la topologie du convertisseur et les méthodes de commande employées pour les VSC, la tension coté réseau générée par le convertisseur peut s'approcher d'une sinusoïde propre de fréquence fondamentale. Le convertisseur VSC peut être considéré comme une source de tension harmonique derrière une impédance interne, plutôt que comme une source de courant comme pour les LCC, car c'est la tension harmonique générée qui reste indépendante de la charge. Les niveaux d'harmoniques peuvent être extrêmement faibles par rapport aux LCC, mais en raison du régime de commutation adopté, ils ont une plage de fréquences significatives beaucoup plus élevée que pour les LCC et ils peuvent contenir des interharmoniques, qui sont un résultat de la stratégie de commande adoptée. Se référer à l'IEC TR 62001-5 pour la génération d'harmoniques des convertisseurs VSC.

NOTE Dans le présent document, lorsque le terme "harmonique" est utilisé pour les convertisseurs VSC, il est considéré qu'il s'agit du "groupe d'harmoniques" selon l'IEC 61000-4-7, qui comprend l'harmonique entier et les classes spectrales de $h - 0,5$ à $h + 0,5$, plutôt que du "rang d'harmonique n ".

Il est important de noter que la perte en puissance dans chaque élément de matériel dépend des conditions ambiantes dans lesquels il fonctionne, ainsi que des conditions de fonctionnement ou des cycles de service auxquels il est soumis. Par conséquent, les conditions ambiantes et de fonctionnement doivent être définies pour chaque élément de matériel à partir des conditions ambiantes et de fonctionnement de l'ensemble de la station de conversion CCHT.

Il est reconnu que, pour les matériels de filtrage côté alternatif et continu, les exigences théoriques spécifiées ne représentent pas les pertes réelles à prévoir en service, mais l'approche simplifiée spécifiée dans le présent document est considérée comme acceptable pour estimer les pertes et comparer les différentes offres.

4.2 Conditions ambiantes

4.2.1 Généralités

Un ensemble de conditions ambiantes de référence doit être utilisé pour déterminer les pertes en puissance des stations de conversion CCHT.

4.2.2 Température extérieure de référence normalisée

Une température extérieure ambiante sèche de 20 °C doit être utilisée comme température de référence normalisée pour déterminer les pertes totales de station de conversion. La température correspondante de la salle des valves peut être définie par le fournisseur si nécessaire. La température humide équivalente (si nécessaire) doit être définie par l'acheteur.

Lorsqu'elle n'est pas définie, il est recommandé que la température humide soit de 14 °C, ce qui correspond approximativement à 50 % d'humidité relative pour une température sèche de 20 °C.

4.2.3 Température de référence normalisée de l'agent de refroidissement

Lorsqu'un refroidissement forcé est utilisé pour le matériel, le débit et la température de l'agent de refroidissement peuvent influencer la hausse de température et les pertes associées de ce matériel. Par conséquent, les températures et les débits de l'agent de refroidissement établis par l'acheteur et le fournisseur doivent servir de base pour déterminer les pertes.

4.2.4 Pression de l'air de référence normalisée

La pression de l'air de référence à utiliser pour l'évaluation des pertes totales en puissance d'une station de conversion doit correspondre à la pression atmosphérique normalisée (101,3 kPa) corrigée en fonction de l'altitude de l'installation en question lorsque la station est située à plus de 1 000 m au-dessus du niveau de la mer.

4.3 Paramètres de fonctionnement

Les pertes d'une station de conversion CCHT dépendent de ses paramètres de fonctionnement.

Les pertes des stations de conversion CCHT sont classées en deux catégories désignées comme suit: pertes en fonctionnement (3.1.4 et 3.1.7) et pertes en fonctionnement à vide (3.1.2 et 3.1.6).

Les pertes en fonctionnement et les pertes auxiliaires sont influencées par le niveau de charge de la station, car le nombre de certains types de matériels sous tension (par exemple, filtres d'harmoniques et matériel de refroidissement) peut dépendre du niveau de charge et les pertes au niveau des éléments individuels de matériel eux-mêmes varient avec le niveau de charge.

Les pertes de station de conversion CCHT doivent être déterminées pour la tension et la fréquence nominales (équilibrées) du réseau à courant alternatif, les impédances symétriques du transformateur (entre les phases et, pour les systèmes LCC, entre les ponts connectés en étoile et en triangle) et, pour les systèmes LCC, les angles d'allumage symétriques. Par hypothèse, le changeur de prises du transformateur doit occuper la position qui correspond à la tension nominale du réseau à courant alternatif ou celle décidée par le système de commande pour la condition de fonctionnement définie.

Les pertes en fonctionnement doivent être déterminées pour les niveaux de charge spécifiés par l'acheteur, ou pour une charge assignée si ces conditions ne sont pas spécifiées. Pour chaque niveau de charge, les conditions de fonctionnement du convertisseur définies au 3.1.3, la compensation shunt et le matériel de filtrage d'harmonique doivent être compatibles avec le niveau de charge respectif et les autres exigences de caractéristiques fonctionnelles spécifiées, en ce qui concerne, par exemple, la distorsion harmonique et l'échange minimal de puissance réactive avec le réseau à courant alternatif raccordé. Par hypothèse, le matériel de refroidissement et les autres matériels auxiliaires, en fonction de la température de référence normalisée (voir le 4.2.2 et le 4.2.3), doivent être connectés pour supporter le niveau de charge respectif. Sauf spécification particulière, la puissance réactive doit par hypothèse être nulle dans le cas d'une station VSC.

Pour le mode de fonctionnement à vide, les transformateurs doivent être mis sous tension et les convertisseurs doivent être bloqués. Par hypothèse, tous les filtres et matériels de compensation de puissance réactive doivent être déconnectés à l'exception de ceux qui sont exigés pour maintenir un fonctionnement à vide afin, par exemple, de satisfaire aux exigences de puissance réactive spécifiées. Par hypothèse, les charges de station en service et le matériel auxiliaire (par exemple, des pompes à eau de refroidissement) doivent être connectés selon les exigences pour une montée en charge immédiate de la station de conversion (sans attendre le déplacement du changeur de prises) à la puissance minimale spécifiée.

NOTE Pour certaines valves VSC MMC, il peut être impossible de maintenir le convertisseur bloqué avec le disjoncteur de courant alternatif fermé pendant un certain temps, en raison de la nécessité d'équilibrer les tensions des condensateurs des sous-modules. L'état de fonctionnement généralement appelé "état de fonctionnement en veille" présente également une contribution supplémentaire aux pertes de la valve. Toutefois, pour les besoins du calcul des pertes sous garantie, il suffit de comparer les pertes en fonctionnement à vide, comme cela est défini au 3.1.2, à puissance active et réactive nulle.

5 Détermination des pertes du matériel

5.1 Pertes de valves à thyristor (LCC uniquement)

5.1.1 Généralités

Les mécanismes de production de pertes applicables lorsque les valves sont bloquées (pertes en fonctionnement à vide) sont différents des mécanismes applicables en fonctionnement normal (pertes en fonctionnement). Les pertes en fonctionnement sont traitées du 5.1.2 au 5.1.11, et les pertes en fonctionnement à vide sont traitées au 5.1.12. Les pertes auxiliaires sont examinées au 5.8.

Un schéma triphasé simplifié d'un convertisseur à 12 pulsations en courant continu à haute tension est représenté à la Figure 3. Les valves individuelles sont marquées selon l'ordre de leur séquence en conduction.