

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Superconductivity –
Part 22-1: Superconducting electronic devices – Generic specification for
sensors and detectors**

**Supraconductivité –
Partie 22-1: Dispositifs électroniques supraconducteurs – Spécification
générique pour les capteurs et détecteurs**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220; 29.050

ISBN 978-2-8322-7308-1

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

CONTENTS	2
FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Symbols	10
5 Terminology and classification.....	11
5.1 Terminology.....	11
5.2 Classification	14
6 Cryogenic operation condition	15
7 Marking	15
7.1 Device identification.....	15
7.2 Packing.....	15
8 Test and measurement procedures.....	15
Annex A (informative) Coherent detection.....	16
A.1 Superconducting hot electron bolometric (SHEB) type	16
A.2 Superconducting tunnel junction (STJ) type	17
A.3 Superconducting quantum interference device (SQUID) type	18
Annex B (informative) Direct detection	20
B.1 Metallic magnetic calorimetric (MMC) type	20
B.2 Microwave kinetic inductance (MKI) type.....	21
B.3 Superconducting strip (SS) type.....	22
B.4 Superconducting tunnel junction (STJ) type	22
B.5 Transition edge sensor (TES) type.....	23
Annex C (normative) Graphical symbols for use on equipment and diagrams.....	25
C.1 Superconducting region, one superconducting connection	25
C.2 Superconducting region, one normal-conducting connection	25
C.3 Normal-superconducting boundary.....	25
C.4 A variation	26
C.5 Josephson junction	26
Bibliography.....	27
Figure A.1 – SHEB mixer	17
Figure A.2 – STJ mixer	18
Figure A.3 – DC SQUID	19
Figure B.1 – MMC detector	20
Figure B.2 – MKI detector	21
Figure B.3 – SS detector.....	22
Figure B.4 – STJ detector	23
Figure B.5 – TES detector.....	24
Figure C.1 – Superconducting region, one superconducting connection.....	25
Figure C.2 – Superconducting region, one normal-conducting connection.....	25

Figure C.3 – Superconducting region, one superconducting connection, and one normal-conducting connection (normal-superconducting boundary, IEC 60417-6370:2016-09) 25

Figure C.4 – Series connection 26

Figure C.5 – Superconducting region, two superconducting connections with extremely small non-superconducting region (Josephson junction, IEC 60417-6371:2016-09)..... 26

Table 1 – Measurands 12

Table 2 – Classification of measurands..... 12

Table 3 – Nomenclature of superconducting sensors and detectors: type, full names, and acronym examples 13

Table 4 – Classification of detection principles..... 14

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SUPERCONDUCTIVITY –**Part 22-1: Superconducting electronic devices –
Generic specification for sensors and detectors**

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.

International Standard IEC 61788-22-1 has been prepared by IEC technical committee 90: Superconductivity.

This bilingual version (2019-08) corresponds to the monolingual English version, published in 2017-07.

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

FDIS	Report on voting
90/388/FDIS	90/391/RVD

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

The French version of this standard has not been voted upon.

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

A list of all parts in the IEC 61788 series, published under the general title *Superconductivity*, can be found on the IEC website.

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

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

INTRODUCTION

Superconductivity offers various possibilities for the realization of sensing and detection of a variety of measurands. Several sensors and detectors have been developed, exploiting features like superconducting energy gaps, sharp normal-superconducting transition, nonlinear I – V characteristics, superconducting coherent states, and quantization of magnetic flux. All these properties can be influenced by the interaction with electromagnetic fields, photons, ions, etc. Superconducting sensors and detectors have extremely high performance for energy resolution, time response, and low noise, most of which cannot be realized by any other phenomena.

The word "sensor" is normally used for measuring stationary or slowly changing electromagnetic fields, physical quantities such as current and temperature. On the other hand, the word "detector" is normally used for single quanta such as photons from infrared to γ -rays and individual particles. However, the boundary between "sensor" and "detector" is ambiguous. In this document, therefore, both "sensor" and "detector" are used. Additionally, a detector using a sensor is possible, for example, X-ray detector using transition edge sensor (TES) that measures temperature rise due to the deposition of measurand energy. In this document, for example, the terminology "transition edge sensor X-ray detector" is used for X-ray detection using TES.

Superconducting sensors and detectors have been applied to a variety of fields including medical diagnosis, telecommunications, mineral exploration, astronomical instruments, quantum information processing, and analytical instruments. For users, IEC standardization is necessary because there is confusing terminology, there are no graphical symbols for diagrams, and no test methods.

SUPERCONDUCTIVITY –

Part 22-1: Superconducting electronic devices – Generic specification for sensors and detectors

1 Scope

This part of IEC 61788-22-1 describes general items concerning the specifications for superconducting sensors and detectors, which are the basis for specifications given in other parts of IEC 61788 for various types of sensors and detectors. The sensors and detectors described are basically made of superconducting materials and depend on superconducting phenomena or related phenomena. The objects to be measured (measurands) include magnetic fields, electromagnetic waves, photons of various energies, electrons, ions, α -particles, and others.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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 60027 (all parts), *Letter symbols to be used in electrical technology*

IEC 60050-815, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 815: Superconductivity*

IEC 60417, *Graphical symbols for use on equipment* (available at: <http://www.graphical-symbols.info>)

IEC 60617, *Graphical symbols for diagrams* (available at: <http://std.iec.ch/iec60617>)

ISO 1000, *SI units and recommendations for the use of their multiples and of certain other units*

ISO 7000, *Graphical symbols for use on equipment – Registered symbols* (available at: <http://www.graphical-symbols.info>)

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	30
INTRODUCTION.....	32
1 Domaine d'application	33
2 Références normatives	33
3 Termes et définitions	33
4 Symboles	37
5 Terminologie et classification.....	37
5.1 Terminologie.....	37
5.2 Classification	40
6 Condition de fonctionnement cryogénique	41
7 Marquage	41
7.1 Identification du dispositif.....	41
7.2 Boîtier.....	41
8 Procédures de mesure et essai	41
Annexe A (informative) Détection cohérente	42
A.1 Type bolométrique supraconducteur à électrons chauds (SHEB)	42
A.2 Type jonction supraconductrice à effet tunnel (STJ).....	43
A.3 Type interféromètre quantique supraconducteur (SQUID)	44
Annexe B (informative) Détection directe	46
B.1 Type calorimétrique magnétique métallique (MMC).....	46
B.2 Type inductance cinétique à hyperfréquences (MKI)	47
B.3 Type bande supraconductrice (SS)	48
B.4 Type jonction supraconductrice à effet tunnel (STJ).....	49
B.5 Type bolomètre supraconducteur (TES).....	50
Annexe C (normative) Symboles graphiques pour l'utilisation sur le matériel et les schémas.....	52
C.1 Région supraconductrice, une connexion supraconductrice	52
C.2 Région supraconductrice, une connexion conductrice normale.....	52
C.3 Limite supraconductrice normale.....	52
C.4 Variation	53
C.5 Jonction Josephson	53
Bibliographie.....	54
Figure A.1 – Mélangeur SHEB	43
Figure A.2 – Mélangeur STJ	44
Figure A.3 – DC SQUID	45
Figure B.1 – Détecteur MMC.....	46
Figure B.2 – Détecteur MKI.....	47
Figure B.3 – Détecteur SS	48
Figure B.4 – Détecteur STJ.....	49
Figure B.5 – Détecteur TES	50
Figure C.1 – Région supraconductrice, une connexion supraconductrice	52
Figure C.2 – Région supraconductrice, une connexion conductrice normale	52

Figure C.3 – Région supraconductrice, une connexion supraconductrice, et une connexion conductrice normale (limite supraconductrice normale, IEC 60417-6370:2016-09)	52
Figure C.4 – Connexion en série	53
Figure C.5 – Région supraconductrice, deux connexions supraconductrices avec une région non supraconductrice très petite (jonction Josephson, IEC 60417-6371:2016-09)	53
Tableau 1 – Mesurandes	38
Tableau 2 – Classification des mesurandes	38
Tableau 3 – Nomenclature des capteurs et détecteurs supraconducteurs: type, noms complets et exemples d'acronymes	39
Tableau 4 – Classification des principes de détection	40

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 22-1: Dispositifs électroniques supraconducteurs – Spécification générique pour les capteurs et détecteurs

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'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 61788-22-1 a été établie par le comité d'études 90 de l'IEC: Supraconductivité.

La présente version bilingue (2019-08) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2017-07.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 90/388/FDIS et 90/391/RVD.

Le rapport de vote 90/391/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61788, publiées sous le titre général *Supraconductivité*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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 "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

INTRODUCTION

La supraconductivité offre différentes possibilités pour capter et détecter une grande variété de mesurandes. Plusieurs capteurs et détecteurs qui exploitent des caractéristiques comme le paramètre de bande interdite, la transition supraconductrice normale brusque, les caractéristiques non linéaires $I-V$, les états cohérents supraconducteurs, et la quantification du flux magnétique, ont été développés. Toutes ces propriétés peuvent être influencées par l'interaction avec les champs magnétiques, les photons, les ions, etc. Les capteurs et détecteurs supraconducteurs possèdent une performance extrêmement élevée pour la résolution énergétique, la réponse temporelle, et le bruit faible, la plupart ne pouvant être réalisés par tout autre phénomène.

Le terme "capteur" est généralement utilisé pour le mesurage des champs électriques stationnaires ou se déplaçant lentement, des grandeurs physiques comme le courant et la température. Le terme "détecteur", lui, est généralement utilisé pour les quanta uniques comme les photons allant des infrarouges aux rayons γ et les particules individuelles. La frontière entre les "capteurs" et les "détecteurs" reste cependant ambiguë. Par conséquent, dans le présent document, les termes "capteur" et "détecteur" sont utilisés. De plus, il est possible qu'un détecteur utilise un capteur, par exemple un détecteur de rayons X utilisant un bolomètre supraconducteur qui mesure l'élévation de la température due au dépôt d'énergie du mesurande. Dans le présent document, la terminologie "détecteur de rayons X par bolomètre supraconducteur" est utilisée pour la détection des rayons X utilisant un bolomètre supraconducteur.

Les capteurs et détecteurs supraconducteurs ont été appliqués à une variété de domaines comprenant le diagnostic médical, les télécommunications, l'exploration minière, les instruments astronomiques, le traitement de l'information quantique, et les instruments analytiques. Pour les utilisateurs, la normalisation IEC est nécessaire en raison d'une terminologie ambiguë, du manque de symboles graphiques des schémas et du manque de méthodes d'essai.

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 22-1: Dispositifs électroniques supraconducteurs – Spécification générique pour les capteurs et détecteurs

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61788-22-1 décrit les éléments généraux relatifs aux spécifications des capteurs et détecteurs supraconducteurs, qui sont la base des spécifications données dans les autres parties de l'IEC 61788 pour différents types de capteurs et de détecteurs. Les capteurs et détecteurs décrits sont principalement constitués de matériaux supraconducteurs et dépendent des phénomènes supraconducteurs ou relatifs. Les objets à mesurer (mesurandes) comprennent les champs magnétiques, les ondes électromagnétiques, les photons de différentes énergies, les électrons, les ions, les particules α , et autres.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte 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 60027 (toutes les parties), *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*

IEC 60050-815, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 815: Supraconductivité*

IEC 60417, *Symboles graphiques utilisables sur le matériel* (disponible à l'adresse: <http://www.graphical-symbols.info>)

IEC 60617, *Symboles graphiques pour schémas* (disponible à l'adresse: <http://std.iec.ch/iec60617>)

ISO 1000, *Unités SI et recommandations pour l'emploi de leurs multiples et de certaines autres unités*

ISO 7000, *Symboles graphiques utilisables sur le matériel – Symboles enregistrés* (disponible à l'adresse: <http://www.graphical-symbols.info>)