

TECHNICAL SPECIFICATION

SPECIFICATION TECHNIQUE



Power electronics systems and equipment – Operation conditions and characteristics of active infeed converter (AIC) applications including design recommendations for their emission values below 150 kHz

Systèmes et équipements électroniques de puissance – Conditions de fonctionnement et caractéristiques des convertisseurs à alimentation active (AIC), y compris les recommandations de conception pour leurs valeurs d'émission inférieures à 150 kHz

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.200

ISBN 978-2-8322-2585-1

**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

FOREWORD.....	9
INTRODUCTION.....	11
1 Scope.....	12
2 Normative references	12
3 Terms and definitions	13
4 General system characteristics of PWM active infeed converters connected to the power supply network	18
4.1 General.....	18
4.2 Basic topologies and operating principles	18
4.2.1 General	18
4.2.2 Operating principles.....	18
4.2.3 Equivalent circuit of an AIC.....	20
4.2.4 Filters	21
4.2.5 Pulse patterns	21
4.2.6 Control methods	22
4.2.7 Control of current components.....	22
4.2.8 Active power factor correction.....	22
4.3 AIC rating	23
4.3.1 General	23
4.3.2 Converter rating under sinusoidal conditions	23
4.3.3 Converter rating in case of harmonic currents.....	23
4.3.4 Converter rating under dynamic conditions	24
5 Electromagnetic compatibility (EMC) considerations for the use of AICs	24
5.1 General.....	24
5.2 Low-frequency phenomena (<150 kHz)	25
5.2.1 General	25
5.2.2 Emerging converter topologies and their advantages for the power supply network	25
5.2.3 Active equalizing of the power supply network	27
5.2.4 Measured power supply network impedances in the range between 2 kHz to 20 kHz	32
5.2.5 Proposal of an appropriate line impedance stabilisation network (LISN) from 2 kHz to 9 kHz	37
5.2.6 Effects on industrial equipment in the frequency band 2 kHz to 9 kHz.....	41
5.3 High-frequency phenomena (> 150 kHz)	44
5.3.1 General	44
5.3.2 Mitigation of distortion	44
5.3.3 Immunity.....	44
5.3.4 EMI filters	44
5.4 Audible noise effects.....	45
5.5 Leakage currents	45
5.6 Aspects of system integration and dedicated tests	45
6 Characteristics of a PWM active infeed converter of voltage source type and two level topology	46
6.1 General.....	46
6.2 General function, basic circuit topologies	46

6.3	Power control.....	49
6.4	Dynamic performance	50
6.5	Desired non-sinusoidal line currents	50
6.6	Undesired non-sinusoidal line currents.....	50
6.7	Availability and system aspects.....	51
6.8	Operation in active filter mode	52
7	Characteristics of a PWM active infeed converter of voltage source type and three level topology	52
7.1	General function, basic circuit topologies	52
7.2	Power control.....	53
7.3	Dynamic performance	53
7.4	Undesired non-sinusoidal line currents.....	54
7.5	Availability and system aspects.....	54
8	Characteristics of a PWM Active Infeed Converter of Voltage Source Type and Multi Level Topology.....	55
8.1	General function, basic circuit topologies	55
8.2	Power control.....	56
8.3	Dynamic performance	57
8.4	Power supply network distortion.....	57
8.5	Availability and system aspects.....	57
9	Characteristics of a F3E AIC of the Voltage Source Type	58
9.1	General function, basic circuit topologies	58
9.2	Power control and line side filter	59
9.3	Dynamic performance	61
9.4	Harmonic current	61
10	Characteristics of an AIC of Voltage Source Type in Pulse Chopper Topology.....	62
10.1	General.....	62
10.2	General function, basic circuit topologies	62
10.3	Desired non-sinusoidal line current	63
10.4	Undesired non-sinusoidal line current	63
10.5	Reliability.....	63
10.6	Performance	64
10.7	Availability and system aspects.....	64
11	Characteristics of a two level PWM AIC of current source type (CSC).....	64
11.1	General.....	64
11.2	General function, basic converter connections	64
11.3	Power control.....	66
11.4	Dynamic performance	67
11.5	Line current distortion	68
11.6	Operation in active filter mode	68
11.7	Availability and system aspects.....	68
Annex A	(informative)	69
A.1	Control methods for AICs in VSC (Voltage Source Converter) topology.....	69
A.1.1	General	69
A.1.2	Considerations of control methods.....	69
A.1.3	Short-circuit ride through functionality for decentralized power infeed with AIC.....	70
A.1.4	Fault ride through mode.....	70

A.2	Examples of practical realized AIC applications	72
A.2.1	AIC of current source type (CSC).....	72
A.2.2	Active infeed converter with commutation on the d.c. side (reactive power converter).....	74
A.3	Details concerning two level and multi-level AICs in VSC Topology.....	76
A.3.1	Properties of active infeed converters (PWM) with different number of levels.....	76
A.3.2	Examples of typical waveforms of AICs	77
A.3.3	Construction and realization	78
A.4	Basic transfer rules between voltage and current distortion of an AIC	78
A.5	Examples of the influence of AICs to the voltage quality	79
A.6	Withstand capability of power capacitors towards distortion in the range of 2 kHz to 9 kHz	80
A.6.1	General	80
A.6.2	Catalogue information about permissible harmonic load	82
A.6.3	Frequency boundaries for permissible distortion levels	82
A.6.4	Frequency spectrum of active infeed converters	83
A.6.5	Conclusion	84
A.7	Impact of additional AIC filter measures in the range of 2 kHz to 9 kHz.....	85
A.7.1	General	85
A.7.2	Example of a PDS constellation (AIC and CSI)	86
A.7.3	Conclusion	88
A.8	Example of the power supply network impedance measurement	89
A.8.1	General	89
A.8.2	Basic principle of measurement	89
A.8.3	Harmonic component injection methods for measurement.....	90
A.8.4	Harmonic current generation by disturbing device.....	90
A.8.5	References based on current injection by disturbance (Method A)	90
A.8.6	References based on sinusoidal single frequency injection (Method B).....	92
Annex B (informative)	94
B.1	Basic considerations for design recommendations of AICs in the range of 2 kHz to 9 kHz	94
B.1.1	Overview	94
B.1.2	General	94
B.1.3	Withstand capability of power capacitors connected to the power supply network and recommendation for the compatibility in the frequency range 2 kHz to 9 kHz	95
B.1.4	Basic conditions for setting the capacitor withstand capability curve	95
B.1.5	Matching of AIC converters (2-Level PWM) to different power supply network conditions without overloading the power capacitor burden.....	97
B.1.6	Considerations in regard to medium voltage power supply networks	99
B.1.7	AIC filtering considerations	100
B.1.8	AIC appropriate technical and economical amount.....	100
B.1.9	Frequency range from 2 kHz to 9 kHz.....	101
B.2	Design recommendations for conducted emission of low voltage AICs in the reasonable context of higher frequencies between 9 kHz and 150 kHz.....	102
B.2.1	General	102
B.2.2	Data collection results	103
B.2.3	Conclusions.....	105
Bibliography	107

Figure 1 – AIC in VSC topology, basic structure	19
Figure 2 – AIC in CSC topology, basic structure	19
Figure 3 – Equivalent circuit for the interaction of the power supply network with an AIC	20
Figure 4 – Voltage and current vectors of line and converter at fundamental frequency for different load conditions	23
Figure 5 – The basic issues of EMC as tools of economics	24
Figure 6 – Typical power supply network current $i_L(t)$ and voltage $u_{LN}(t)$ of a phase controlled converter with d.c. output and inductive smoothing	26
Figure 7 – Typical power supply network current $i_L(t)$ and voltage $u_{LN}(t)$ of an uncontrolled converter with d.c. output and capacitive smoothing	26
Figure 8 – Typical power supply network current $i_L(t)$ and voltage $u_{LN}(t)$ of an AIC realized by a PWM Converter with capacitive smoothing without additional filters	26
Figure 9 – Example of attainable active and reactive power of the AIC (VSC-type) at different line to line voltages in per unit (with 10 % combined transformer and filter inductor short-circuit voltage, X/R ratio = 10/1, d.c. voltage = 6,5 kV)	27
Figure 10 – Principle of compensating given harmonics in the power supply system by using an AIC and suitable control simultaneously	28
Figure 11 – Typical Voltage Distortion in the Line-to-Line and Line-to-Neutral Voltage generated by an AIC without additional filters (u in % and t in degrees)	29
Figure 12 – Basic characteristic of the relative voltage distortion (59th harmonic) of one AIC operated at a pulse frequency of 3 kHz versus R_{SCe} with the line impedance according to 5.2.4	30
Figure 13 – Basic characteristic of the relative current emission (59th harmonic) of one AIC at a pulse frequency of 3 kHz versus R_{SCe} with the line impedance according to 5.2.4	31
Figure 14 – Single phase electric circuit of the three commonly used differential mode passive line filter topologies for VSC and one example for passive damping	31
Figure 15 – Example of the attenuation of the VSC line to line voltage to the line to line voltage at the IPC with state of the art differential mode passive line filter topologies	32
Figure 16 – Connection of the power supply network impedance measurement equipment	33
Figure 17 – Example of the measured impedance of a low-voltage transformer under no load condition S = 630 kVA, $u_k = 6,08 \%$	34
Figure 18 – Measured variation of the power supply network impedance over the course of a day at one location	34
Figure 19 – Power supply network impedance with partly negative imaginary part	35
Figure 20 – Distribution of power system impedance (measured between phase and neutral conductor) in low-voltage systems versus frequency	35
Figure 21 – Statistical distribution of positive-sequence impedance versus frequency in low-voltage power supply networks	37
Figure 22 – Equivalent circuit describing the power supply network impedance	38
Figure 23 – Circuit topology for power system simulation	38
Figure 24 – Approximated and measured 50 % impedance curve	39
Figure 25 – Single phase circuit topology according to IEC 61000-4-7+ used for line impedance stabilisation network	40
Figure 26 – Three-phase circuit topology for the line impedance stabilisation network	41
Figure 27 – Impedance variation in the 90 % curve of the LISN described in Figure 26	41
Figure 28 – PDS with large d.c. capacitance	43

Figure 29 – PDS with large capacitance and line inductor43

Figure 30 – PDS with a large d.c. capacitance and inductors in the d.c. link43

Figure 31 – Basic EMI filter topology.....45

Figure 32 – Block diagram of a PDS with high frequency EMI filter system45

Figure 33 – Basic illustration of a topology of a two level PWM voltage source AIC.....47

Figure 34 – Typical waveforms of voltages $u_{S1N} / U_{LN, 1}$ and voltage $u_{S12} / U_{LN, 1}$ at pulse frequency of 4 kHz.....48

Figure 35 – Typical waveforms of the common mode voltage $u_{CM} / U_{LN,1}$ at pulse frequency of 4 kHz. Power supply frequency is 50Hz48

Figure 36 – Waveform of the current i_{L1} / I_{equ} at pulse frequency of 4 kHz, relative impedance of $u_{SCV, equ} = 6 \%$49

Figure 37 – Block diagram of a two level PWM AIC49

Figure 38 – Distortion of the current i_{L1} of reactance X_{equ} , pulse frequency: 4 kHz, relative reactance of $u_{SCV, equ} = 6 \%$51

Figure 39 – Typical voltages $u_{L1N} / U_{LN, 1}$ and $u_{L12} / U_{LN, 1}$ at pulse frequency of 4 kHz, relative reactance $u_{SCV, equ} = 6 \%$, $R_{SCe} = 100$ 51

Figure 40 – Basic topology of a three level AIC. For a Power Drive System (PDS) the same topology may be used also on the load side52

Figure 41 – Typical curve shape of the phase-to-phase voltage of a three level PWM converter53

Figure 42 – Example of a sudden load change of a 13 MW three level converter where the current control achieves a response time within 5 ms.....54

Figure 43 – Typical topology of a flying capacitor (FC) four level AIC using IGBTs.....55

Figure 44 – Typical curve shape of the phase-to-phase voltage of a multi-(four)-level AIC56

Figure 45 – Distorting frequencies and amplitudes in the line voltage (measured directly at the bridge terminals in Figure 25 and the line current of a multilevel (four) AIC (transformer with 10 % short-circuit voltage)57

Figure 46 – Topology of a F3E AIC58

Figure 47 – Line side filter and equivalent circuit for the F3E-converter behaviour for the power supply network59

Figure 48 – Current transfer function together with $R_{SCe} = 100$ and $R_{SCe} = 750$ and a line side filter: $G(f) = i_{L1} / i_{conv}$59

Figure 49 – PWM – voltage distortion over power supply network impedance for F3E-infeed including power supply network side filter.....60

Figure 50 – Input current spectrum of a 75kW-F3E-converter.....61

Figure 51 – Harmonic spectrum of the input current of an F3E-converter with $R_{SCe} = 100$ 61

Figure 52 – An illustration of a distortion effect caused by a single phase converter with capacitive load62

Figure 53 – a.c. to a.c. AIC pulse chopper, basic circuit.....63

Figure 54 – Illustration of a converter topology for a current source AIC65

Figure 55 – Typical waveforms of currents and voltages of a current source AIC with high switching frequency.....66

Figure 56 – Typical block diagram of a current source PWM AIC67

Figure 57 – Current source AIC used as an active filter to compensate the harmonic currents generated by a nonlinear load67

Figure 58 – Step response (reference value and actual value) of current source AIC with low switching frequency [33]68

Figure A.1 – Principle sketch for combined voltage- and current-injecting modulation example for phase leg R	71
Figure A.2 – Example for controlled phase current during a voltage dip at the power supply network using hysteresis plus PWM control	72
Figure A.3 – Typical waveforms of electrical power supply network current and voltage for a current source AIC with low switching frequency [33]	72
Figure A.4 – Currents and voltages in a (semiconductor) valve device of an AIC and a machine side converter both of the current source with low pulse frequency [33]	73
Figure A.5 – Total harmonic distortion of electrical power supply network and motor current [33] remains always below 8 % (triangles in straight line) in this application	73
Figure A.6 – Basic topology of an AIC with commutation on the d.c. side (six pulse variant)	74
Figure A.7 – Dynamic performance of a reactive power converter	75
Figure A.8 – Line side current for a twelve pulse Reactive Power Converter in a capacitive and inductive operation mode ($u_{SCV, equ} = 15\%$)	75
Figure A.9 – The origin of the current waveform of a RPC by the line voltage (sinusoidal) and the converter voltage (rectangular)	76
Figure A.10 – Two level topology with nominal voltage of maximum 1 200 V and timescale of 5 ms/div	77
Figure A.11 – Three level topology with nominal voltage of maximum 2 400 V and timescale of 5 ms/div	77
Figure A.12 – Four level topology with nominal voltage of maximum 3 300 V and timescale of 5 ms/div	78
Figure A.13 – General influence of significant characteristics to the voltage distortion and current distortion	79
Figure A.14 – Measured reduction of voltage distortion when four AICs are connected to the power supply network	80
Figure A.15 – Excerpts from a catalogue information of a power capacitor manufacturer; 760 V AC; (rated voltage: 690 V AC) for temperature calculation	81
Figure A.16 – Reactive power and losses of a power capacitor supplied by a source with constant reference voltage and variable frequency ($R_{CP} = f(h)$)	82
Figure A.17 – Apparent power and losses of a typical power capacitor at different voltage distortion levels and the critical frequency boundaries (at singular frequency) where the temperature rise reaches substantial values (vertical arrows)	83
Figure A.18 – Voltage spectrum of an AIC and the impact of a line impedance reduction to the temperature of the capacitor (from 10 K to 0,44 K) and the composition of the spectrum	84
Figure A.19 – A wind turbine plant and a mine winder drive connected on the same power line	86
Figure A.20 – Power supply network configuration for the plant of Figure A.19 with allocated measurement points	86
Figure A.21 – Regular current of the CSI (AIC-filter disabled) and amplification of the current in case of resonance caused by the AIC-filter circuit (when AIC filter is enabled)	87
Figure A.22 – Basic principle of impedance measurement	89
Figure A.23 – Harmonic current generation by disturbing device	90
Figure A.24 – Measurement by switching a resistor	91
Figure A.25 – Measurement by a capacitor bank	91
Figure A.26 – A 6,6 kV power supply network impedance measurement system for islanding detection by injecting interharmonics	92

Figure B.1 – Withstand capability level towards harmonic voltages in the power supply network in view of permissible temperature rise within capacitors if the voltage distortion is determined either by one predominating frequency (upper line) or if the distortion is predominantly determined by a harmonic spectrum, caused by several parallel operated AICs (2-Level PWM) (lower line)	96
Figure B.2 – Harmonic voltage spectrum of one 2-Level PWM AIC with acceptable temperature increase of a power capacitor not exceeding 10 K.....	97
Figure B.3 – Maximum voltage distortion of a spectrum, caused by several AICs (single phase topologies)	98
Figure B.4 – Maximum voltage distortion of a spectrum, caused by several AICs (three phases topologies).....	98
Figure B.5 – Spreadsheet of matching single phase AICs (2-level) to different power supply network conditions in order to apply the power capacitor limit curves	99
Figure B.6 – Spreadsheet of matching three phases AICs (2-level) to different power supply network conditions in order to apply the power capacitor limit curves	99
Figure B.7 – Illustration of the typical power supply network resonance frequency by increasing AIC filtering population, versus the voltage distortion level.....	100
Figure B.8 – Sketch of the typical size/cost of an AIC application versus switching frequency of the AIC	101
Figure B.9 – Illustration of the probability of overload and stress problems for the power supply network and the equipment connected thereto, depending on stipulated distortion levels fixed in miscellaneous assumptions	101
Figure B.10 – Results of the data collection versus the maximum values proposed in the IEC TS 62578 for products rated above 75 kVA	103
Figure B.11 – Results of the data collection versus the maximum values proposed in the IEC TS 62578 for products rated below 75 kVA.....	104
Figure B.12 – Results of the data collection versus the maximum values proposed in the IEC TS 62578 for products rated above 75 kVA	104
Figure B.13 – Recommended maximum emission values for AIC of different categories in the range from 9 kHz up to 150 kHz	105
Table 1 – Parameters of line impedance stabilisation network for different power system impedance curves	39
Table 2 – Parameters of the LISN described in Figure 25 and Figure 26	40
Table A.1 – Condition state 1: positive current limit reached, transistor T1 is switch-off to reduce the current.....	71
Table A.2 – Condition state 2: negative current limit reached, transistor T2 is switch-off to reduce the current.....	71
Table A.3 – Condition state 0: current in phase R within tolerance range, pure voltage injection active (e.g. with PWM)	71
Table A.4 – Comparison of different PWM AICs of VSC topology	76
Table A.5 – Voltage distortion on both power lines (II and III) without and with filter circuit (the filter had been designed to achieve 0,2 % distortion level on the MV-power line)	87
Table A.6 – Current distribution within the network described for specific frequencies and on allocated measurement points as pointed out in Figure A.20	88
Table B.1 – AIC design recommendation for a maximum distortion factor in the frequency range from 2 to 9 kHz	102
Table B.2 – Recommended maximum emission values for AIC of different categories in the range from 9 kHz up to 150 kHz	106

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER ELECTRONICS SYSTEMS AND EQUIPMENT –**Operation conditions and characteristics of active
infed converter (AIC) applications including design
recommendations for their emission values below 150 kHz**

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. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical specification when

- the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts, or
- The subject is still under technical development or where, for any other reason, there is the future but no immediate possibility of an agreement on an International Standard.

Technical specifications are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards.

IEC TS 62578, which is a technical specification, has been prepared by IEC technical committee TC 22: Power electronic systems and equipment.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2009. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) IEC TS 62578, in its revised version includes observed values out of practical applications for emission values below 150 kHz.
- b) Therefore the document has been extended compared to the first edition, several detailed analysis results are given in the extended Annexes.
- c) Design recommendations have been derived from the international working group by an assessment of the power supply impedances between 2 kHz and 9 kHz, a comprehensive analysis of the withstand capability of power capacitors against harmonic currents injected by AIC, immunity tests of equipment and considerations about shifted resonances in the power supply network with increased population of undamped filter capacitors.

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

Enquiry draft	Report on voting
22/235/DTS	22/239/RVC

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

The French version of this technical specification has not been voted upon.

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability 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

- transformed into an International standard,
- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

This revision of the technical specification IEC TS 62578 is necessary because active infeed converters (AIC) are a state of the art technology in power electronic products and will be of major importance in order to realize the "smart grid" and the "energy efficiency" initiatives.

AICs in industrial and domestic use are necessary to feedback energy from an energy source (e.g. solar panels, fuel cells or wind turbines) or from a motor load to the power supply network and make it available for other consumers instead of dissipating it as a waste-heat to the environment.

Dispersed power generating equipment uses AICs to synchronise their voltages and currents to the power supply network or to exchange electrical energy between energy storage devices such as batteries and consumers.

Utilities will require information on how to correctly apply the AICs in order to mitigate harmonics in the power supply network.

AICs can also be used to mitigate pre-existing harmonics in the supply system – information on this is of interest to utilities.

Different possible topologies of AICs are described together with their specific advantages.

Warning: The recommendations of maximum emission values for conducted emissions <150 kHz defined in this document are based on observations and experience gained from state of the art AICs operating today in most power supply networks together with other equipment without creating intolerable interference and should lead to an increased acceptance of using AICs.

Nevertheless it has to be highlighted that electromagnetic environment is subject to changes e.g. because of smart grid deployment and that emission limits that are currently under development by the IEC EMC Committees may be different to the maximum emission values recommended in this document.

This document is being issued in the Technical Specification series of publications (according to the ISO/IEC Directives, Part 1, 3.1.1.1) as a "prospective standard for provisional application" in the field of power electronics because there is an urgent need for guidance on the design and use of active infeed converters (AIC) today and in "smart grid environments".

It remains unclear during revision of this document, how and when the smart grid vision will be realized and to what extent in the future. AICs will be the "key link components" if several electrical energy storage devices or storage technologies and energy users are to be connected together and will interact under "smart grid behaviour" conditions. The power supply network may adapt its future characteristics compared to the state of the art while increasing the installed density of AIC.

POWER ELECTRONICS SYSTEMS AND EQUIPMENT –

Operation conditions and characteristics of active infeed converter (AIC) applications including design recommendations for their emission values below 150 kHz

1 Scope

This Technical Specification IEC TS 62578 describes the operation conditions and typical characteristics of active infeed converters (AIC) of all technologies and topologies which can be connected between the electrical power supply network (lines) a.c. side and a constant current or voltage type d.c. side and which can convert electrical power (active and reactive) in both directions (generative or regenerative).

Applications with active infeed converters are commonly used with the d.c. sides of adjustable speed power drive systems (PDS), uninterruptible power systems (UPS), active filters, photovoltaic systems, wind turbine systems, battery backed power management systems etc. of all voltages and power ratings.

Active infeed converters are generally connected between the electrical power supply network (a.c. side) and a current or voltage d.c. side, with the objective to avoid emitting low frequency harmonics (e.g. less than 1 kHz) by synthesizing a sinusoidal a.c. current. Some of them can additionally compensate the pre-existing harmonic distortion of a given supply side voltage. They are moreover able to control the power factor of a power supply network section by moving the electrical power (active and reactive) in both directions (generative or regenerative), which enables energy saving in the system and stabilizes the power supply voltage or enables coupling of renewable energy sources or electrical energy storage devices to the supply.

A practical and analytical approach for emission values for AICs in power supply networks is given, which is based on the latest results for line impedance values between 2 kHz and 9 kHz and withstand capability of capacitors connected directly to the supply.

This results in design recommendations for emission values below 150 kHz.

The following is excluded from the scope.

- Requirements for the design, development or further functionality of active infeed applications.
- Probability of interactions or influences of the AIC with other equipment caused by parasitic elements in an installation or caused by poor electronic design as well as their mitigations.
- "Overhead line" power supply networks because of lack of information (measurements) of their three phase impedances. This could be the subject for future editions.

2 Normative references

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

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at www.electropedia.org)

IEC TR 60725:2012, *Consideration of reference impedances and public supply network impedances for use in determining the disturbance characteristics of electrical equipment having a rated current ≤ 75 A per phase*

IEC 61800-3, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 3: EMC requirements and specific test methods*

IEC 61800-5-1, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 5-1: Safety requirements – Electrical, thermal and energy*

IEC 62040-1, *Uninterruptible power systems (UPS) – Part 1: General and safety requirements for UPS*

IEC 62103, *Electronic equipment for use in power installations*

IEC 61000-4-7:2002, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto*
IEC 61000-4-7:2002/AMD1:2008

CISPR 16-1-1, *Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	118
INTRODUCTION	120
1 Domaine d'application	122
2 Références normatives	123
3 Termes et définitions	123
4 Caractéristiques générales du système de convertisseurs à alimentation active MLI connectés au réseau d'alimentation	128
4.1 Généralités	128
4.2 Topologies de base et principes de fonctionnement	128
4.2.1 Généralités	128
4.2.2 Principes de fonctionnement	128
4.2.3 Circuit équivalent d'un AIC	131
4.2.4 Filtres	133
4.2.5 Modèles d'impulsions	133
4.2.6 Méthodes de commande	134
4.2.7 Commande des composantes du courant	134
4.2.8 Correction de facteur de puissance active	134
4.3 Caractéristiques assignées de l'AIC	136
4.3.1 Généralités	136
4.3.2 Caractéristiques assignées du convertisseur dans les conditions sinusoïdales	136
4.3.3 Caractéristiques assignées du convertisseur en cas de courants harmoniques	136
4.3.4 Caractéristiques assignées du convertisseur dans les conditions dynamiques	136
5 Considérations relatives à la compatibilité électromagnétique (CEM) pour l'utilisation des AIC	136
5.1 Généralités	136
5.2 Phénomènes à basse fréquence (< 150 kHz)	137
5.2.1 Généralités	137
5.2.2 Topologies de convertisseur émergentes et leurs avantages pour le réseau d'alimentation	138
5.2.3 Égalisation active du réseau d'alimentation électrique	139
5.2.4 Impédances mesurées du réseau d'alimentation électrique dans la plage comprise entre 2 kHz et 20 kHz	146
5.2.5 Proposition de réseau de stabilisation d'impédance de ligne (RSIL) entre 2 kHz et 9 kHz	152
5.2.6 Effets sur les équipements industriels dans la bande de fréquences comprises entre 2 kHz et 9 kHz	157
5.3 Phénomènes à haute fréquence (> 150 kHz)	160
5.3.1 Généralités	160
5.3.2 Atténuation de la distorsion	160
5.3.3 Immunité	160
5.3.4 Filtres EMI	160
5.4 Effets de bruit audible	161
5.5 Courants de fuite	161
5.6 Aspects relatifs à l'intégration de système et aux essais dédiés	162

6	Caractéristiques d'un convertisseur à alimentation active MLI de type à source de tension et de topologie à deux niveaux	162
6.1	Généralités	162
6.2	Fonction générale, topologies de circuit de base	162
6.3	Commande de puissance	165
6.4	Performances dynamiques	166
6.5	Courants de ligne non sinusoïdaux souhaités	167
6.6	Courants de ligne non sinusoïdaux non souhaités	167
6.7	Disponibilité et aspects liés au système	168
6.8	Fonctionnement en mode de filtre actif	169
7	Caractéristiques d'un convertisseur à alimentation active MLI de type à source de tension et de topologie à trois niveaux	169
7.1	Fonction générale, topologies de circuit de base	169
7.2	Commande de puissance	170
7.3	Performances dynamiques	170
7.4	Courants de ligne non sinusoïdaux non souhaités	171
7.5	Disponibilité et aspects liés au système	171
8	Caractéristiques d'un convertisseur à alimentation active MLI de type à source de tension et de topologie à plusieurs niveaux	172
8.1	Fonction générale, topologies de circuit de base	172
8.2	Commande de puissance	173
8.3	Performances dynamiques	174
8.4	Distorsion du réseau d'alimentation électrique	174
8.5	Disponibilité et aspects liés au système	175
9	Caractéristiques d'un AIC F3E du type à source de tension	175
9.1	Fonction générale, topologies de circuit de base	175
9.2	Commande de puissance et filtre côté réseau	177
9.3	Performances dynamiques	180
9.4	Courant harmonique	180
10	Caractéristiques d'un AIC du type à source de tension dans une topologie de hacheur d'impulsion	180
10.1	Généralités	180
10.2	Fonction générale, topologies de circuit de base	180
10.3	Courant de ligne non sinusoïdal souhaité	182
10.4	Courant de ligne non sinusoïdal non souhaité	182
10.5	Fiabilité	183
10.6	Performances	183
10.7	Disponibilité et aspects liés au système	183
11	Caractéristiques d'un AIC MLI à deux niveaux du type à source de courant (CSC)	183
11.1	Généralités	183
11.2	Fonction générale, connexions de base du convertisseur	183
11.3	Commande de puissance	185
11.4	Performances dynamiques	187
11.5	Distorsion du courant de ligne	187
11.6	Fonctionnement en mode de filtre actif	187
11.7	Disponibilité et aspects liés au système	188
Annexe A	(informative)	189
A.1	Méthodes de commande des AIC dans la topologie VCS (convertisseur à source de tension)	189

A.1.1	Généralités	189
A.1.2	Considérations relatives aux méthodes de commande	189
A.1.3	Fonctionnalité d'alimentation continue de court-circuit pour l'alimentation de puissance décentralisée avec l'AIC	190
A.1.4	Mode d'alimentation sans panne	190
A.2	Exemples de réalisation pratique d'applications AIC	194
A.2.1	AIC du type à source de courant (CSC)	194
A.2.2	Convertisseur à alimentation active avec commutation côté continu (convertisseur de puissance réactive)	196
A.3	Détails relatifs aux AIC à deux et à plusieurs niveaux dans la topologie VSC	200
A.3.1	Propriétés des convertisseurs à alimentation active (MLI) à différents nombres de niveaux	200
A.3.2	Exemples de formes d'onde typiques des AIC	200
A.3.3	Construction et réalisation	202
A.4	Règles de transfert de base entre la distorsion de tension et de courant d'un AIC	203
A.5	Exemples de l'influence des AIC sur la qualité de la tension	204
A.6	Capacité de tenue des condensateurs de puissance à la distorsion dans la plage comprise entre 2 kHz et 9 kHz	205
A.6.1	Généralités	205
A.6.2	Informations relatives à la charge harmonique admissible	208
A.6.3	Limites de fréquence pour des niveaux de distorsion admissibles	208
A.6.4	Spectre de fréquence des convertisseurs à alimentation active	209
A.6.5	Conclusion	210
A.7	Impact des mesures de filtre AIC supplémentaires dans la plage comprise entre 2 kHz et 9 kHz	211
A.7.1	Généralités	211
A.7.2	Exemple de constellation de PDS (AIC et CSI)	212
A.7.3	Conclusion	215
A.8	Exemple de mesure de l'impédance du réseau d'alimentation électrique	216
A.8.1	Généralités	216
A.8.2	Principe de base du mesurage	216
A.8.3	Méthodes d'injection de composante harmonique pour la mesure	217
A.8.4	Génération de courant harmonique par un dispositif perturbateur	218
A.8.5	Références basées sur l'injection de courant par perturbation (Méthode A)	219
A.8.6	Références reposant sur l'injection monofréquence sinusoïdale (Méthode B)	221
Annexe B (informative)	223
B.1	Considérations de base relatives aux recommandations de conception des AIC dans la plage comprise entre 2 kHz et 9 kHz	223
B.1.1	Vue d'ensemble	223
B.1.2	Généralités	223
B.1.3	Capacité de tenue des condensateurs de puissance raccordés au réseau d'alimentation électrique et recommandation en matière de compatibilité dans la plage de fréquences comprises entre 2 kHz et 9 kHz	224
B.1.4	Conditions de base pour la définition de la courbe de capacité de tenue du condensateur	224
B.1.5	Mise en correspondance de convertisseurs AIC (MLI à 2 niveaux) avec différentes conditions de réseau d'alimentation électrique sans surcharge du condensateur de puissance	226

B.1.6	Considérations relatives aux réseaux d'alimentation électrique moyenne tension	229
B.1.7	Considérations relatives au filtrage AIC	230
B.1.8	Considérations techniques et économiques appropriées relatives à l'AIC	230
B.1.9	Plage de fréquences comprises entre 2 kHz et 9 kHz	232
B.2	Recommandations de conception pour les émissions conduites d'AIC basse tension dans le contexte raisonnable de fréquences supérieures comprises entre 9 kHz et 150 kHz	233
B.2.1	Généralités	233
B.2.2	Résultats de la collecte de données	234
B.2.3	Conclusions	236
	Bibliographie	238
	Figure 1 – AIC dans la topologie VSC, structure de base	129
	Figure 2 – AIC dans la topologie CSC, structure de base	130
	Figure 3 – Circuit équivalent pour l'interaction du réseau d'alimentation avec un AIC	132
	Figure 4 – Vecteurs de tension et de courant de la ligne et du convertisseur à la fréquence fondamentale pour différentes conditions de charge	135
	Figure 5 – Questions fondamentales de la CEM comme instruments économiques	137
	Figure 6 – Courant d'alimentation réseau typique $i_L(t)$ et tension $u_{LN}(t)$ d'un convertisseur à commande de phase avec sortie à courant continu et lissage inductif	138
	Figure 7 – Courant d'alimentation réseau typique $i_L(t)$ et tension $u_{LN}(t)$ d'un convertisseur non commandé avec sortie à courant continu et lissage capacitif	139
	Figure 8 – Courant d'alimentation réseau typique $i_L(t)$ et tension $u_{LN}(t)$ d'un AIC réalisé par un convertisseur MLI avec lissage capacitif sans filtre supplémentaire	139
	Figure 9 – Exemple de puissance active et réactive de l'AIC (type VSC) qu'il est possible d'obtenir à différentes tensions entre phases en valeur relative (avec un transformateur combiné à 10 % et une tension de court-circuit de bobine d'inductance de filtre, rapport X/R = 10/1, tension continue = 6,5 kV)	140
	Figure 10 – Principe de compensation d'harmoniques donnés dans le réseau d'alimentation à l'aide d'un AIC et d'une commande adaptée simultanément	141
	Figure 11 – Distorsion de tension typique typique dans la tension entre phases et la tension phase-neutre générées par un AIC sans filtre supplémentaire (u en % et t en degrés)	142
	Figure 12 – Caractéristique de base de la distorsion de tension relative (59 ^{ème} harmonique) d'un AIC fonctionnant à la fréquence d'impulsion de 3 kHz par rapport à R_{SCe} , l'impédance de ligne étant conforme à 5.2.4	143
	Figure 13 – Caractéristique de base de l'émission de courant relative (59 ^{ème} harmonique) d'un AIC à une fréquence d'impulsion de 3 kHz avec une impédance de ligne R_{SCe} conforme à 5.2.4	144
	Figure 14 – Circuit électrique monophasé des trois topologies de filtre de ligne passif en mode différentiel les plus souvent utilisées pour le VSC, et exemple d'amortissement passif	145
	Figure 15 – Exemple d'atténuation de la tension entre phases du VSC à la tension entre phases au niveau du PCI, avec l'état de l'art des topologies de filtres de ligne passifs en mode différentiel	146
	Figure 16 – Raccordement de l'appareil de mesure de l'impédance du réseau d'alimentation électrique	147
	Figure 17 – Exemple d'impédance mesurée d'un transformateur basse tension en fonctionnement à vide S = 630 kVA, $u_k = 6,08 \%$	148

Figure 18 – Variation mesurée de l'impédance du réseau d'alimentation électrique à un endroit au cours de la journée.....	148
Figure 19 – Impédance du réseau d'alimentation électrique avec partie imaginaire partiellement négative.....	149
Figure 20 – Répartition de l'impédance du réseau d'alimentation (mesurée entre le conducteur de ligne et le conducteur de neutre) dans des réseaux basse tension en fonction de la fréquence.....	150
Figure 21 – Répartition statistique de l'impédance directe en fonction de la fréquence dans les réseaux d'alimentation électrique basse tension.....	151
Figure 22 – Circuit équivalent décrivant l'impédance de réseau d'alimentation électrique.....	152
Figure 23 – Topologie de circuit pour la simulation du réseau d'alimentation.....	152
Figure 24 – Courbe d'impédance approximée et mesurée à 50%.....	154
Figure 25 – Topologie de circuit monophasé conformément à l'IEC 61000-4-7+ utilisée pour le réseau de stabilisation d'impédance de ligne.....	155
Figure 26 – Topologie de circuit triphasé du réseau de stabilisation d'impédance de ligne.....	156
Figure 27 – Variation d'impédance dans la courbe de 90 % du RSIL décrit à la Figure 26..	156
Figure 28 – PDS avec grande valeur de capacité à courant continu.....	158
Figure 29 – PDS avec grande valeur de capacité et inductance de ligne.....	159
Figure 30 – PDS avec grande valeur de capacité à courant continu et inductances dans la liaison à courant continu.....	159
Figure 31 – Topologie de filtre EMI de base.....	161
Figure 32 – Schéma fonctionnel d'un PDS doté d'un système de filtre EMI à haute fréquence.....	161
Figure 33 – Illustration de base de la topologie d'un AIC à source de tension MLI à deux niveaux.....	163
Figure 34 – Formes d'onde typiques des tensions $u_{S1N} / U_{LN,1}$ et tension $u_{S12} / U_{LN,1}$ à la fréquence d'impulsion de 4 kHz.....	164
Figure 35 – Formes d'onde typiques de la tension en mode commun $u_{CM} / U_{LN,1}$ à la fréquence d'impulsion de 4 kHz.....	164
Figure 36 – Forme d'onde du courant i_{L1} / I_{equ} à la fréquence d'impulsion de 4 kHz, impédance relative de $u_{SCV, equ} = 6\%$	165
Figure 37 – Schéma fonctionnel d'un AIC MLI à deux niveaux.....	166
Figure 38 – Distorsion du courant i_{L1} de la réactance X_{equ} , fréquence d'impulsion: 4 kHz, réactance relative de $u_{SCV, equ} = 6\%$	168
Figure 39 – Tensions typiques $u_{L1N} / U_{LN,1}$ et $u_{L12} / U_{LN,1}$ à la fréquence d'impulsion de 4 kHz, réactance relative $u_{SCV, equ} = 6\%$, $R_{Sce} = 100$	168
Figure 40 – Topologie de base d'un AIC à trois niveaux. Pour un entraînement électrique de puissance (PDS) la même topologie peut également être utilisée côté charge.....	169
Figure 41 – Forme de courbe typique de la tension entre phases d'un convertisseur MLI à trois niveaux.....	170
Figure 42 – Exemple de variation de charge soudaine d'un convertisseur à trois niveaux de 13 MW lorsque la commande de courant atteint un temps de réponse de l'ordre de 5 ms.....	171
Figure 43 – Topologie typique d'un AIC à quatre niveaux à condensateur flottant (FC) utilisant des transistors bipolaires à grille isolée.....	172
Figure 44 – Forme de courbe typique de la tension entre phases d'un AIC à plusieurs (quatre) niveaux.....	173

Figure 45 – Distorsion de fréquences et d'amplitudes dans la tension d'alimentation (mesurée directement au niveau des bornes du pont de la Figure 25) et le courant de ligne d'un AIC à plusieurs niveaux (quatre) (transformateur à 10 % de tension de court-circuit)	175
Figure 46 – Topologie d'un AIC F3E	176
Figure 47 – Filtre côté réseau et circuit équivalent pour le comportement du convertisseur F3E du réseau d'alimentation électrique.....	177
Figure 48 – Fonction de transfert de courant avec $R_{SCe} = 100$ et $R_{SCe} = 750$ et un filtre côté réseau: $G(f) = i_{L1} / i_{conv}$	178
Figure 49 – MLI – Distorsion de tension sur l'impédance du réseau d'alimentation électrique d'une alimentation F3E comprenant un filtre côté réseau d'alimentation électrique.....	179
Figure 50 – Spectre de courant d'entrée d'un convertisseur F3E de 75 kW	179
Figure 51 – Spectre harmonique du courant d'entrée d'un convertisseur F3E avec $R_{SCe} = 100$	180
Figure 52 – Illustration d'un effet de distorsion provoqué un convertisseur monophasé avec une charge capacitive.....	181
Figure 53 – Hacheur d'impulsion d'AIC courant alternatif/courant alternatif, circuit de base	182
Figure 54 – Illustration d'une topologie de convertisseur pour un AIC à source de courant	184
Figure 55 – Formes d'onde typiques des courants et tensions d'un AIC à source de courant à fréquence de commutation élevée	185
Figure 56 – Schéma fonctionnel typique d'un AIC MLI à source de courant.....	186
Figure 57 – AIC à source de courant faisant office de filtre actif afin de compenser les courants harmoniques générés par une charge non linéaire.....	186
Figure 58 – Réponse à un échelon (valeur de référence et valeur réelle) d'un AIC à source de courant à basse fréquence de commutation [33].	187
Figure A.1 – Plan de principe de modulation par injection de tension et de courant combinée pour bras de phase R	191
Figure A.2 – Exemple de courant de phase commandé pendant un creux de tension au niveau du réseau d'alimentation électrique utilisant une hystérésis plus une commande MLI	193
Figure A.3 – Formes d'onde typiques du courant du réseau d'alimentation électrique et tension d'un AIC à source de courant à basse fréquence de commutation [33]......	194
Figure A.4 – Courants et tensions dans un interrupteur (à semi-conducteurs) d'un AIC et d'un convertisseur côté machine à source de courant à basse fréquence d'impulsion [33]......	195
Figure A.5 – Taux de distorsion harmonique totale en courant dans un réseau d'alimentation électrique et d'un moteur [33] restant toujours inférieur à 8 % (triangles dans la ligne droite) dans cette application	196
Figure A.6 – Topologie de base d'un AIC avec commutation côté continu (variante à six impulsions).....	197
Figure A.7 – Performances dynamiques d'un convertisseur de puissance réactive	198
Figure A.8 – Courant côté réseau d'un convertisseur de puissance réactive à douze impulsions en mode de fonctionnement capacitif et inductif ($u_{SCV, equ} = 15\%$).....	199
Figure A.9 – Origine de la forme d'onde du courant d'un convertisseur de puissance réactive par la tension d'alimentation (sinusoïdale) et la tension du convertisseur (rectangulaire)	199
Figure A.10 – Topologie à deux niveaux avec tension nominale maximale de 1 200 V et échelle de temps de 5 ms/div.....	201

Figure A.11 – Topologie à trois niveaux avec tension nominale maximale de 2 400 V et échelle de temps de 5 ms/div.....	201
Figure A.12 – Topologie à quatre niveaux avec tension nominale maximale de 3 300 V et échelle de temps de 5 ms/div.....	202
Figure A.13 – Influence générale des caractéristiques significatives en fonction de la distorsion de tension et de la distorsion de courant.....	203
Figure A.14 – Réduction mesurée de la distorsion de tension lorsque quatre AIC sont raccordés au réseau d'alimentation électrique	205
Figure A.15 – Extraits d'informations d'un fabricant de condensateur de puissance; 760 V courant alternatif; (tension assignée: 690 V courant alternatif) pour le calcul de température	206
Figure A.16 – Puissance réactive et pertes du condensateur de puissance alimenté par une source avec tension de référence constante et fréquence variable ($R_{CP} = f(h)$)	207
Figure A.17 – Puissance apparente et pertes d'un condensateur de puissance typique à différents niveaux de distorsion de tension, et limites de fréquence critiques (à la fréquence singulière) où l'échauffement atteint des valeurs substantielles (flèches verticales).....	209
Figure A.18 – Spectre de tension d'un AIC et impact d'une réduction de l'impédance de ligne sur la température du condensateur (de 10 K à 0,44 K) et la composition du spectre	210
Figure A.19 – Éolienne et entraînement de machine d'extraction raccordés à la même ligne d'énergie	212
Figure A.20 – Configuration du réseau d'alimentation pour l'usine de la Figure A.19 avec points de mesure attribués	213
Figure A.21 – Courant régulier du CSI (filtre AIC désactivé) et amplification du courant en cas de résonance provoquée par le circuit de filtrage AIC (lorsque le filtre AIC est désactivé).....	213
Figure A.22 – Principe de base du mesurage d'impédance	217
Figure A.23 – Génération de courant harmonique par le dispositif perturbateur	218
Figure A.24 – Mesurage par commutation d'une résistance.....	219
Figure A.25 – Mesure par une batterie de condensateurs	220
Figure A.26 – Système de mesure de l'impédance du réseau d'alimentation électrique de 6,6 kV pour la détection d'îlotage par injection d'interharmoniques.....	221
Figure B.1 – Niveau de capacité de tenue en fonction des tensions harmoniques dans le réseau d'alimentation électrique compte tenu de l'échauffement admissible à l'intérieur des condensateurs si la distorsion de tension est déterminée soit par une fréquence prédominante (ligne supérieure) soit, si la distorsion est essentiellement déterminée par un spectre harmonique, générée par plusieurs AIC fonctionnant en parallèle (MLI à 2 niveaux) (ligne inférieure)	225
Figure B.2 – Spectre de tension harmonique d'un AIC MLI à 2 niveaux dont l'échauffement acceptable d'un condensateur de puissance ne dépasse pas 10 K.....	226
Figure B.3 – Distorsion de tension maximale d'un spectre, générée par plusieurs AIC (topologies monophasées).....	227
Figure B.4 – Distorsion de tension maximale d'un spectre, générée par plusieurs AIC (topologies triphasées)	228
Figure B.5 – Feuille de calcul de mise en correspondance des AIC monophasés (2 niveaux) à différentes conditions de réseau d'alimentation électrique afin d'appliquer les courbes limites de condensateur de puissance.....	229
Figure B.6 – Feuille de calcul de mise en correspondance des AIC triphasés (2 niveaux) à différentes conditions de réseau d'alimentation électrique afin d'appliquer les courbes limites de condensateur de puissance.....	229

Figure B.7 – Illustration de la fréquence de résonance typique du réseau d'alimentation électrique par augmentation de la population de filtrage AIC, en fonction du niveau de distorsion de tension.....	230
Figure B.8 – Schéma de la taille/du coût habituels d'une application AIC par rapport à la fréquence de commutation de l'AIC.....	231
Figure B.9 – Illustration de la probabilité de problèmes de surcharge et de contrainte du réseau d'alimentation électrique et de l'équipement qui y est raccordé, en fonction des niveaux de distorsion stipulés fixés dans diverses hypothèses	232
Figure B.10 – Résultats de la collecte de données par rapport aux valeurs maximales proposées dans l'IEC TS 62578 pour les produits présentant des caractéristiques assignées supérieures à 75 kVA	234
Figure B.11 – Résultats de la collecte de données par rapport aux valeurs maximales proposées dans l'IEC TS 62578 pour les produits présentant des caractéristiques assignées inférieures à 75 kVA.....	235
Figure B.12 – Résultats de la collecte de données par rapport aux valeurs maximales proposées dans l'IEC TS 62578 pour les produits présentant des caractéristiques assignées supérieures à 75 kVA.....	236
Figure B.13 – Valeurs d'émission maximales recommandées pour les AIC de différentes catégories dans la plage comprise entre 9 kHz et 150 kHz	237
Tableau 1 – Paramètres du réseau de stabilisation d'impédance de ligne pour différentes courbes d'impédance de réseau d'alimentation.....	153
Tableau 2 – Paramètres du RSIL décrit à la Figure 25 et la Figure 26.....	155
Tableau A.1 – État de condition 1: limite de courant positif atteinte, le transistor T1 est coupé pour réduire le courant	192
Tableau A.2 – État de condition 2: limite de courant négatif atteinte, le transistor T2 est coupé pour réduire le courant.....	192
Tableau A.3 – État de condition 0: courant en phase R dans la plage de tolérance, injection de tension pure active (avec la MLI, par exemple)	193
Tableau A.4 – Comparaison des différents AIC MLI de la topologie VSC	200
Tableau A.5 – Distorsion de tension sur les deux lignes d'énergie (II et III) avec et sans circuit de filtrage (le filtre a été conçu pour obtenir un niveau de distorsion de 0,2 % sur la ligne d'énergie MT).....	214
Tableau A.6 – Distribution de courant dans un réseau décrite pour des fréquences spécifiques et sur des points de mesure attribués comme indiqué à la Figure A.20.....	215
Tableau B.1 – Recommandation de conception de l'AIC pour un facteur de distorsion maximal dans la plage de fréquences comprises entre 2 kHz et to 9 kHz.....	233
Tableau B.2 – Valeurs d'émission maximales recommandées pour les AIC de différentes catégories dans la plage comprise entre 9 kHz et 150 kHz	237

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SYSTÈMES ET ÉQUIPEMENTS ÉLECTRONIQUES DE PUISSANCE –

Conditions de fonctionnement et caractéristiques des convertisseurs à alimentation active (AIC), y compris les recommandations de conception pour leurs valeurs d'émission inférieures à 150 kHz

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique 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. A 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 tâche principale des comités d'études de l'IEC est l'élaboration des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'une spécification technique

- lorsqu'en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale, ou
- lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou quand, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat.

Les spécifications techniques font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales.

L'IEC TS 62578, qui est une spécification technique, a été établie par le comité d'études 22 de l'IEC: Systèmes et équipements électroniques de puissance.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition, parue en 2009. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) L'IEC TS 62578, dans sa version révisée, inclut les valeurs observées hors des applications pratiques pour les valeurs d'émission inférieures à 150 kHz.
- b) Par conséquent, le document a été développé comparé à la première édition, plusieurs résultats d'analyse détaillée étant donnés dans les Annexes étendues.
- c) Les recommandations de conception ont été établies par le groupe de travail international suite à une évaluation des impédances d'alimentation comprises entre 2 kHz et 9 kHz, à une analyse approfondie de la capacité de tenue des condensateurs de puissance par rapport aux courants harmoniques injectés par l'AIC, à des essais d'immunité de l'équipement et à des considérations relatives aux résonances décalées dans le réseau d'alimentation avec l'augmentation de la population des condensateurs de filtrage sans amortissement.

Le texte de cette spécification technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
22/235/DTS	22/239/RVC

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

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

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

Le comité a décidé que le contenu de cette publication 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 à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- transformée en Norme internationale,
- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Cette révision de la spécification technique IEC TS 62578 est nécessaire car les convertisseurs à alimentation active (AIC) sont à la pointe de la technologie en matière de produits électroniques de puissance et sont d'un intérêt majeur pour la mise en place d'un "réseau intelligent" et pour répondre aux initiatives d' "efficacité énergétique".

Dans les domaines industriel et domestique, les AIC sont nécessaires pour renvoyer l'énergie entre une source (des panneaux solaires, des piles à combustible ou des éoliennes, par exemple) ou une charge de type moteur vers le réseau d'alimentation et la mettre à disposition des autres utilisateurs au lieu de la dissiper sous forme de chaleur dans l'environnement.

Les équipements dispersés générant de la puissance utilisent les AIC pour synchroniser leurs tensions et courants au réseau d'alimentation ou pour échanger de l'énergie électrique entre les dispositifs de stockage de l'énergie (les batteries, par exemple) et les utilisateurs.

Les compagnies de distribution ont besoin d'informations pour savoir comment appliquer correctement les AIC afin de limiter les harmoniques dans le réseau d'alimentation.

Les AIC peuvent également être utilisés pour limiter les harmoniques préexistants dans le réseau d'alimentation, ces informations présentant un intérêt pour les compagnies de distribution.

Différentes topologies possibles d'AIC sont décrites, avec leurs avantages spécifiques.

Avertissement: Les recommandations en matière de valeurs maximales d'émission pour les émissions conduites < 150 kHz définies dans le présent document reposent sur des observations et sur l'expérience acquise avec les AIC d'aujourd'hui interconnectés à la plupart des réseaux d'alimentation, avec d'autres équipements, sans générer d'interférences intolérables, et il convient d'obtenir un consensus quant à l'utilisation des AIC.

Toutefois, il est à souligner que l'environnement électromagnétique fait l'objet d'évolutions en raison, par exemple, du déploiement de réseau intelligent, et que les limites d'émission en cours de développement par les comités CEM de l'IEC peuvent s'écarter des valeurs maximales d'émission recommandées dans le présent document.

Le présent document est publié dans la série Spécifications Techniques (conformément aux Directives ISO/IEC, Partie 1, 3.1.1.1) comme "norme prospective d'application provisoire" dans le domaine de l'électronique de puissance, en raison de l'urgence de disposer de lignes directrices quant à la conception et l'utilisation des convertisseurs à alimentation active (AIC) aujourd'hui et dans les "environnements de réseau intelligent".

Ce document n'est pas à considérer comme une "Norme Internationale". Il est proposé pour une mise en œuvre provisoire, dans le but de recueillir des informations et d'acquérir de l'expérience quant à son application dans la pratique. Il convient d'envoyer les observations éventuelles relatives au contenu de ce document au Bureau Central de l'IEC.

Une révision de la présente Spécification Technique sera réalisée au plus tard 3 ans après sa publication, avec soit la possibilité d'une prolongation supplémentaire de 3 ans soit sa conversion en Norme Internationale ou son retrait.

Dans le cadre de la révision du présent document, il reste encore à clairement définir la manière et le moment où cette approche de réseau intelligent sera réalisée et dans quelle mesure elle le sera. Les AIC seront les "composants de liaison essentiels" lorsque plusieurs dispositifs de stockage d'énergie ou technologies de stockage et utilisateurs d'énergie seront connectés ensemble et interagiront dans le cadre d'un "comportement de réseau intelligent".

Le réseau d'alimentation peut adapter ses futures caractéristiques par rapport à l'état de l'art, tout en augmentant la densité d'AIC installés.

SYSTÈMES ET ÉQUIPEMENTS ÉLECTRONIQUES DE PUISSANCE –

Conditions de fonctionnement et caractéristiques des convertisseurs à alimentation active (AIC), y compris les recommandations de conception pour leurs valeurs d'émission inférieures à 150 kHz

1 Domaine d'application

La présente Spécification technique IEC TS 62578 décrit les conditions de fonctionnement et les caractéristiques typiques des convertisseurs à alimentation active (AIC), quelles que soient leurs technologies et topologies, qui peuvent être connectés entre le réseau (les phases) d'alimentation électrique côté alternatif et un type de courant ou de tension constant(e) côté continu, et qui peuvent convertir la puissance électrique (active et réactive) dans les deux directions (génératrice ou régénératrice).

Les applications dotées de convertisseurs à alimentation active sont souvent utilisées avec les côtés continus des entraînements électriques de puissance à vitesse variable (PDS), des alimentations sans interruption (ASI), des filtres actifs, des systèmes photovoltaïques, des éoliennes, des systèmes de gestion d'énergie à pile, etc. de toutes les tensions et puissances assignées possibles.

Les convertisseurs à alimentation active sont en général raccordés entre le réseau d'alimentation (côté alternatif) et un courant ou une tension côté continu. Il s'agit d'éviter d'émettre des harmoniques à basse fréquence (inférieurs à 1 kHz, par exemple) en synthétisant un courant alternatif sinusoïdal. Certains d'entre eux peuvent en outre compenser la distorsion harmonique préexistante d'une tension du côté d'une alimentation donnée. De plus, ils sont capables de contrôler le facteur de puissance d'une section de réseau d'alimentation en déplaçant la puissance électrique (active et réactive) dans les deux sens (génératrice ou régénératrice), ce qui permet d'économiser l'énergie dans le réseau et de stabiliser la tension d'alimentation ou de coupler les sources d'énergie renouvelable ou les dispositifs de stockage de l'énergie électrique à l'alimentation.

Une approche pratique et analytique des valeurs d'émission des AIC dans les réseaux d'alimentation est proposée. Elle s'appuie sur les derniers résultats correspondant à des valeurs d'impédance de ligne comprises entre 2 kHz et 9 kHz et sur la capacité de tenue des condensateurs raccordés directement à l'alimentation.

Cela se traduit par des recommandations de conception correspondant à des valeurs d'émission inférieures à 150 kHz.

Les aspects suivants sont exclus du domaine d'application.

- Les exigences de conception, de développement ou autres fonctionnalités des applications à alimentation active.
- La probabilité d'interactions ou d'influences de l'AIC avec d'autres équipements générées par des éléments parasites dans une installation ou par une conception électronique peu avancée, ainsi que leurs limitations.
- Les réseaux d'alimentation par "ligne aérienne", en raison du manque d'informations (mesures) relatives à leurs impédances triphasées. Ces éléments peuvent faire l'objet de futures éditions.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire électrotechnique international* (disponible à www.electropedia.org)

IEC TR 60725:., *Étude des impédances de référence et des impédances des réseaux publics d'alimentation aux fins de la détermination des caractéristiques de perturbation des équipements électriques utilisant un courant nominal ≤ 75 A par phase*

IEC 61800-3, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 3: Exigences de CEM et méthodes d'essais spécifiques*

IEC 61800-5-1, *Entraînements électriques de puissance à vitesse variable – Partie 5-1: Exigences de sécurité – Electrique, thermique et énergétique*

IEC 62040-1, *Alimentations sans interruption (ASI) – Partie 1: Exigences générales et règles de sécurité pour les ASI*

IEC 62103, *Équipements électroniques utilisés dans les installations de puissance*

IEC 61000-4-7:2002, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-7: Techniques d'essai et de mesure – Guide général relatif aux mesures d'harmoniques et d'interharmoniques, ainsi qu'à l'appareillage de mesure, applicable aux réseaux d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés*

IEC 61000-4-7:2002/AMD1:2008

CISPR 16-1-1, *Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Appareils de mesure*