

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Railway applications – Fixed installations – Electronic power converters –
Part 3-1: AC traction applications – Electronic power compensators**

**Applications ferroviaires – Installations fixes – Convertisseurs électroniques de
puissance –**

**Partie 3-1: Applications de traction en courant alternatif – Compensateurs
électroniques de puissance**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

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

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

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee, ...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Railway applications – Fixed installations – Electronic power converters –
Part 3-1: AC traction applications – Electronic power compensators**

**Applications ferroviaires – Installations fixes – Convertisseurs électroniques de
puissance –
Partie 3-1: Applications de traction en courant alternatif – Compensateurs
électroniques de puissance**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 45.060.01

ISBN 978-2-8322-4774-7

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.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms, definitions and abbreviated terms	9
3.1 Terms and definitions.....	9
3.2 Abbreviated terms.....	14
4 Types of electronic power compensators	14
4.1 General.....	14
4.2 Single-phase equipment which injects reactive power into a 1AC traction system	17
4.2.1 General	17
4.2.2 Equipment installed on the far end or middle of a 1AC traction system	17
4.2.3 Equipment installed on the near end of a 1AC traction system	18
4.3 Multi-phase equipment connected to the 1AC traction side	18
4.3.1 General	18
4.3.2 Equipment exchanging active power between a pair of different 1AC circuits and/or injecting reactive power into 1AC circuits.....	18
4.3.3 Application of Steinmetz principle	21
4.3.4 Equipment connected to the traction side of the V-connection transformer.....	22
4.4 Application on 3AC power network.....	23
4.4.1 General	23
4.4.2 Equipment connected to the 3AC power network side of a traction transformer.....	23
5 Design and integration.....	25
5.1 General.....	25
5.2 Survey of power quality criteria	26
5.3 Survey of the condition of the 3AC power network	26
5.4 Traction load requirements	26
5.5 Estimation of the power quality without any countermeasures	26
5.5.1 General	26
5.5.2 Calculation of voltage drop in a 1AC traction system	26
5.5.3 Calculation of three-phase imbalance at the interface to 3AC power network	27
5.5.4 Calculation of power factor at the interface to 3AC power network.....	27
5.6 Choice of the countermeasures.....	27
5.7 Evaluation of the electronic power compensator	27
5.8 Specification of the electronic power compensator	28
5.8.1 General	28
5.8.2 Coordination with other systems	28
6 Performance requirements	28
6.1 General.....	28
6.1.1 Rating.....	28
6.1.2 Number of connected phases	29
6.1.3 Temperature rise	29
6.1.4 Losses and efficiency	29

6.2	Control and protective function	30
6.2.1	Start and stop sequence	30
6.2.2	Control function	31
6.2.3	Protective function	31
6.3	Electromagnetic compatibility (EMC)	31
6.4	Harmonics	32
6.5	Failure conditions for the electronic power compensator	32
6.6	Mechanical characteristics	32
6.6.1	General	32
6.6.2	Safety requirements for maintenance	33
6.6.3	Environmental conditions	33
6.6.4	Degree of protection	33
6.7	Electrical safety requirements for maintenance	33
6.8	Rating plate	33
7	Tests	34
7.1	Test category	34
7.1.1	General	34
7.1.2	Type test	34
7.1.3	Routine test	34
7.1.4	Large equipment	35
7.1.5	Overview of tests	35
7.2	Test items	36
7.2.1	Visual inspection	36
7.2.2	Test of accessory and auxiliary components	36
7.2.3	Insulation test	36
7.2.4	Start and stop sequence test	37
7.2.5	Checking of the protective functions	37
7.2.6	Control function test	37
7.2.7	Light load functional test	37
7.2.8	Load test	38
7.2.9	Temperature rise test	38
7.2.10	Power loss determination	38
7.2.11	Acoustic noise measurement	38
7.2.12	EMC test	38
7.2.13	Harmonic measurement	39
7.2.14	Degree of protection test	39
Annex A	(informative) Calculation of voltage drop in a 1AC traction system	40
Annex B	(informative) Calculation of three-phase imbalance at the interface to a 3AC power network	41
Annex C	(informative) Examples of limits of power quality at the interface to a 3AC power network	43
C.1	General	43
C.2	Examples of limits of three-phase imbalance	43
C.3	Examples of limits of harmonics	44
C.3.1	General	44
C.3.2	Japan	45
C.3.3	China	45
C.3.4	France	46
Bibliography		47

Figure 1 – Example of the possible electrical position of electronic power compensators	15
Figure 2 – Single-phase equipment installed on the far end or middle of a 1AC traction system	17
Figure 3 – Single-phase equipment installed on the near end of a 1AC traction system	18
Figure 4 – Equipment exchanging active power between a pair of orthogonal 1AC circuits and/or injecting reactive power into 1AC circuits	20
Figure 5 – Application of Steinmetz principle	22
Figure 6 – Equipment connected to traction side of the V-connection traction transformer	23
Figure 7 – Equipment which reduces imbalance at the 3AC power network side of a traction transformer	24
Figure 8 – Equipment which reduces imbalance generated in multiple traction substations as a whole.....	25
Figure A.1 – Calculation of voltage drop in a 1AC traction system.....	40
Figure B.1 – Typical interface methods between power network and 1AC traction system.....	41
Table 1 – Types of typical electronic power compensators.....	16
Table 2 – Immunity level	32
Table 3 – Overview of tests.....	35
Table B.1 – Formulae to calculate voltage imbalance at primary side of a traction transformer	41
Table C.1 – Examples of limits of three-phase imbalance	44
Table C.2 – Limitation of harmonic content in Japan	45
Table C.3 – Limitation of harmonic content in China	45
Table C.4 – Factors for limitation of harmonic content in France	46

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RAILWAY APPLICATIONS – FIXED INSTALLATIONS –
ELECTRONIC POWER CONVERTERS –****Part 3-1: AC traction applications –
Electronic power compensators**

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.

IEC 62590-3-1 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways. It is an International Standard.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
9/2843/FDIS	9/2864/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications.

A list of all parts in the IEC 62590 series, published under the general title *Railway applications – Fixed installations – Electronic power converters*, 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 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62590-3-1:2022

INTRODUCTION

Single-phase AC traction systems are typically used for railway lines with high power load up to the double-digit MW range. The nature of the loads serving the intended traffic in those railway lines leads to permanent power fluctuations. Due to their inherent structure, single-phase traction systems are prone to having difficulty with power quality indicators such as power factor, voltage fluctuation and/or imbalance within the electric traction system and/or the feeding three-phase power network. In order to improve the power quality, an electronic power compensator can be applied.

Components of electronic power compensators especially electronic power converters must withstand the more rugged electric environment when compared with those for other industrial use, due to the nature of electric traction systems mentioned above. This includes not only high load fluctuation, but also frequent switching operation with inrush current and short circuits caused by faults on the overhead contact line systems. Therefore, specific requirements are needed in addition to the common requirements for converters for other industrial use.

This document defines typical system configurations and basic requirements as well as appropriate test methods for electronic power compensators used for single-phase AC traction systems. This document is intended for the use by railway operators, manufacturers and system integrators.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62590-3-1:2022

RAILWAY APPLICATIONS – FIXED INSTALLATIONS – ELECTRONIC POWER CONVERTERS –

Part 3-1: AC traction applications – Electronic power compensators

1 Scope

This document specifies the requirements and test methods for electronic power compensators for 1AC traction systems. This equipment is used to improve electric power quality inside the electric traction system and/or at the interface to the 3AC power network, applying power electronics technology.

This document applies to equipment which is installed to achieve one or more of the following objectives as its function(s):

- to mitigate voltage fluctuation;
- to improve power factor;
- to reduce imbalance at the interface to the 3AC power network.

NOTE In some cases, this type of equipment is used to reduce harmonics from the traction load towards the 3AC power network, and for energy saving.

The equipment designed to conform to each particular installation site and the packaged equipment for generic use both fall within the scope of this document.

This document applies to equipment with all possible configurations to implement different technical solutions for compensation, but equipment consisting of only passive components is excluded.

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 60050-151:2001, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050-151:2001/AMD1:2013

IEC 60050-151:2001/AMD2:2014

IEC 60050-151:2001/AMD3:2019

IEC 60050-151:2001/AMD4:2020

IEC 60050-151:2001/AMD5:2021

IEC 60146-1-1:2009, *Semiconductor converters – General requirements and line commutated converters – Part 1-1: Specification of basic requirements*

IEC 60146-2:1999, *Semiconductor converters – Part 2: Self-commutated semiconductor converters including direct d.c. converters*

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*

IEC 60850, *Railway applications – Supply voltages of traction systems*

IEC 61000-4-30:2015, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods*
IEC 61000-4-30:2015/AMD1:2021

IEC 61936-1, *Power installations exceeding 1 kV AC and 1,5 kV DC – Part 1: AC*

IEC 62236-2, *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 2: Emission of the whole railway system to the outside world*

IEC 62236-5, *Railway applications – Electromagnetic compatibility – Part 5: Emission and immunity of fixed power supply installations and apparatus*

IEC 62313, *Railway applications – Power supply and rolling stock – Technical criteria for the coordination between power supply (substation) and rolling stock*

IEC 62590:2019, *Railway applications – Fixed installations – Electronic power converters for substations*

IEC 62695:2014, *Railway applications – Fixed installations – Traction transformers*

3 Terms, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 62590:2019 and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1.1

power quality

characteristics of the electric current, voltage and frequency at a given point in an electric power system, evaluated against a set of reference technical parameters

Note 1 to entry: These parameters might, in some cases, relate to the compatibility between electricity supplied in an electric power system and the loads connected to that electric power system.

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-01-01]

3.1.2

power factor

under periodic conditions, ratio of the absolute value of the active power P to the apparent power S :

$$\lambda = \frac{|P|}{S}$$

Note 1 to entry: Under sinusoidal conditions, the power factor is the absolute value of the active factor.

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-11-46]

3.1.3

compensate

<electric power>improve power quality at a certain point of the circuit

3.1.4

electric traction system

railway electric distribution network used to provide energy for rolling stock

Note 1 to entry: The system includes:

- contact line systems,
- return circuit of electric traction systems,
- electric installations, which are supplied from contact lines either directly or via a transformer,
- electric installations in power plants and substations, which are utilized solely for generation and distribution of power directly to the contact line,
- electric installations of switching stations.

[SOURCE: IEC 60050-811:2017, 811-36-21, modified – third dash in the list of the Note 1 to entry was removed.]

3.1.5

1AC traction system

single phase traction system

electric traction system operating with single phase AC

Note 1 to entry: The system includes auto-transformer system.

3.1.6

near end

<of electric traction system> area in electric traction system close to the traction substation

Note 1 to entry: This term is typically used for the single-side-fed electric traction systems.

3.1.7

far end

<of electric traction system> area in electric traction system most distant from the traction substation, typically near a sectioning post

Note 1 to entry: This term is typically used for the single-side-fed electric traction systems.

3.1.8

feeding section

electric section of the route fed by individual track feeder circuit-breakers within the area supplied by one or more substations

[SOURCE: IEC 60050-811:2017, 811-36-25]

3.1.9

3AC power network

three phase power network

three-phase electric circuit or set of electric circuits, interconnected or having intentional capacitive or inductive coupling between them

Note 1 to entry: In this document, this term is used to indicate an upstream power supply network.

3.1.10

traction unit

locomotive, motor coach or train-unit

[SOURCE: IEC 60050-811, 811-02-04]

3.1.11**voltage drop**

<of electric traction system> change of the voltage at the location of traction unit due to impedance of electric traction system as well as impedance of the 3AC power network, measured when traction current flows from or into traction units

3.1.12**voltage fluctuation**

<of electric traction system> series of supply voltage changes or continuous variation of the RMS or peak value of the voltage

Note 1 to entry: Whether the RMS or peak value is chosen depends upon the application, and which is used should be specified.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-08-05, modified – “series of voltage” was replaced with “series of supply voltage”.]

3.1.13**voltage imbalance**

in a polyphase system, condition in which the RMS values of the phase voltages or the phase angles between consecutive phases are not all equal

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-08-09]

3.1.14**negative sequence component**

<of a three-phase system> one of the three symmetrical sequence components which exists only in an unsymmetrical three-phase system of sinusoidal quantities and which is defined by the following complex mathematical expression:

$$X_2 = \frac{1}{3}(X_{L1} + a^2 X_{L2} + a X_{L3})$$

where a is the 120-degree operator, and X_{L1} , X_{L2} and X_{L3} are the complex expressions of the phase quantities concerned, and where X denotes the system current or voltage phasors

[SOURCE: IEC 60050-448:1995, 448-11-28]

3.1.15**electronic power converter**

operative unit for electronic power conversion, comprising one or more electronic valve devices, transformers and filters if necessary and auxiliaries if any

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-01, modified – Note and Figure 1 were removed.]

3.1.16**self-commutation**

commutation where the commutating voltage is supplied by components within the converter or the electronic switch

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-15]

3.1.17**line-commutation**

external commutation where the commutating voltage is supplied by the line

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-12]

3.1.18

electronic power compensator

EPC

equipment to improve power quality of the circuit to which it is connected, controlling current and/or voltage by use of electronic power converters

3.1.19

static var compensator

SVC

electronic power compensator adjusting reactive power

Note 1 to entry: The whole arrangement consists of fixed elements and adjustable elements. Line-commutated or self-commutated converters are examples of adjustable elements.

3.1.20

balancer

<of traction substation> electronic power compensator to reduce imbalance

Note 1 to entry: A positive side effect of a balancer is reducing voltage fluctuation and/or improving power factor in the 1AC traction system as well as the 3AC power network.

3.1.21

railway static power conditioner

RPC

set of converters which exchanges active power between different sections in the electric traction system as well as injects reactive power

Note 1 to entry: Currently, the only configuration that has been used in the already commissioned RPC is that which consists of a pair of self-commutated single-phase inverters connected back-to-back to each other through a common DC link.

Note 2 to entry: It is used to connect two feeding sections supplied by two traction substations, as well as two feeding sections supplied by two single-phase voltage sources of different phases from the same traction substation.

3.1.22

STATCOM

SVG

static var compensator using set of self-commutated converters

Note 1 to entry: "STATCOM" is used in Europe and "SVG" is used in Japan.

3.1.23

Steinmetz principle

principle for balancing voltage and/or current of an unbalanced 3AC circuit by applying reactive load between two or more pairs of phases

3.1.24

Scott connection

method of interconnecting the windings of two single-phase transformers for the transformation of three-phase voltages to two-phase voltages or vice versa

Note 1 to entry: The voltage and current of 3AC side will balance when the two loads of two 1AC side circuits are equal.

[SOURCE: IEC 60050-421:1990, 421-10-06, modified – Note 1 to entry was added.]

3.1.25

V-connection

two single phase loads between 2 different pairs of phases of a 3AC power network

Note 1 to entry: This leads statistically to a better-balanced load than one combined single-phase load.

3.1.26**rated capacity**

<of electronic power compensator> capacity of electronic power compensator to fulfil its main purpose, where calculation method and condition of equipment for measurement are defined depending on the purpose and configuration of the equipment

Note 1 to entry: Typical rated capacity is expressed in active power, reactive power, apparent power or current.

3.1.27**rated voltage**

<of electronic power compensator> voltage of electronic power compensator to operate, where part and condition of equipment for measurement are defined depending on the purpose and configuration of the equipment

3.1.28**rated current**

<of electronic power compensator> current of electronic power compensator to operate, where part and condition of equipment for measurement are defined depending on the purpose and configuration of the equipment

3.1.29**rated frequency**

<of electronic power compensator> frequency of electronic power compensator to operate, where part and condition of equipment for measurement are defined depending on the purpose and configuration of the equipment

Note 1 to entry: Intended operational frequency of the electronic power converter is taken from IEC 60850.

3.1.30**conventional efficiency**

η

power efficiency determined from calculation and/or measurement using the specified method

Note 1 to entry: Especially for large equipment as explained in 7.1.4, it is sometimes difficult to measure the power efficiency directly by testing equipment with rated load due to various restrictions.

3.1.31**control function**

function intended to regulate the behaviour of equipment or systems

[SOURCE: IEC 61892-2:2019, 3.9]

3.1.32**protective function**

<of electric traction system> function that operates to prevent harm to persons and/or damage to equipment

3.1.33**immunity level**

<for compensator> specified value of an electrical disturbance below which the equipment is designed to meet the required performances or continue operation or avoid damage

[SOURCE: IEC 62590:2019, 3.11.2, modified – converter was replaced with equipment.]

3.1.34**type test**

conformity test made on one or more items representative of the production

Note 1 to entry: In the context of this document, the word “type” expresses a group of products that has completely same design. The products with similar design but different ratings are considered as different type.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-16, modified – Note 1 to entry was added.]

3.1.35**routine test**

conformity test made on each individual item during or after manufacture

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-17]

3.2 Abbreviated terms

EPC	electronic power compensator
RPC	railway static power conditioner
STATCOM	static synchronous compensator
SVC	static var compensator
SVG	static var generator
TCR	thyristor controlled reactor

4 Types of electronic power compensators**4.1 General**

The type of electronic power compensators is categorized as follows:

a) type of compensation:

- 1) single-phase compensation by injection of reactive power into 1AC traction system;
- 2) multi-phase compensation by coordination of active and/or reactive power at the 1AC traction system side of a traction transformer;
 - by exchange of active power between phases and/or circuits;
 - by coordination of reactive power in phases.
- 3) multi-phase compensation by coordination of active and/or reactive power at the 3AC power network side of a traction transformer.

b) electrical position of installation in the electric traction system:

- 1) the far end, intermediate or the near end of a 1AC traction system;
- 2) 1AC traction system side of a traction transformer;
- 3) 3AC power network side of a traction transformer, and possibly the receiving point of a traction substation or transmitting point of a 3AC substation for power transmission dedicated to traction.

c) one or more purpose and function:

- 1) reduction of voltage drop and/or voltage fluctuation inside 1AC traction system;
- 2) peak load reduction
- 3) improvement of power factor on 3AC power network side;
- 4) mitigation of voltage fluctuation on 3AC power network side;
- 5) mitigation of imbalance on 3AC power network side;
- 6) mitigation of harmonics from traction load towards 3AC power network.

d) type of commutation:

- 1) self-commutation;
- 2) line-commutation.

NOTE 1 Line-commutation type equipment is no longer the state of the art, but is still used around the world. It is noted that a lot of harmonic issues often rise with this type of installation.

NOTE 2 An equivalent variable reactance element can be realized by using a fixed element in combination with a controlled element. The most common example is a fixed capacitance in combination with a TCR. Combination of fixed elements with converters using self-commuting principle is also possible.

NOTE 3 There may be other compensation methods besides the ones described in Clause 4.

Figure 1 shows an example of the possible electrical installation position of electronic power compensators. The power quality may be improved by one piece of equipment or a combination of different EPC.

The following subclauses from 4.2 to 4.4 describe typical technical solutions for compensation and configuration of equipment to implement their application around the world, as summarised in Table 1. However, this description is not exhaustive, and does not intend to prevent any other types, including future ones, from being selected.

NOTE 4 For simplification, active power losses in the EPCs are neglected in all figures in subclauses 4.2 through 4.4.

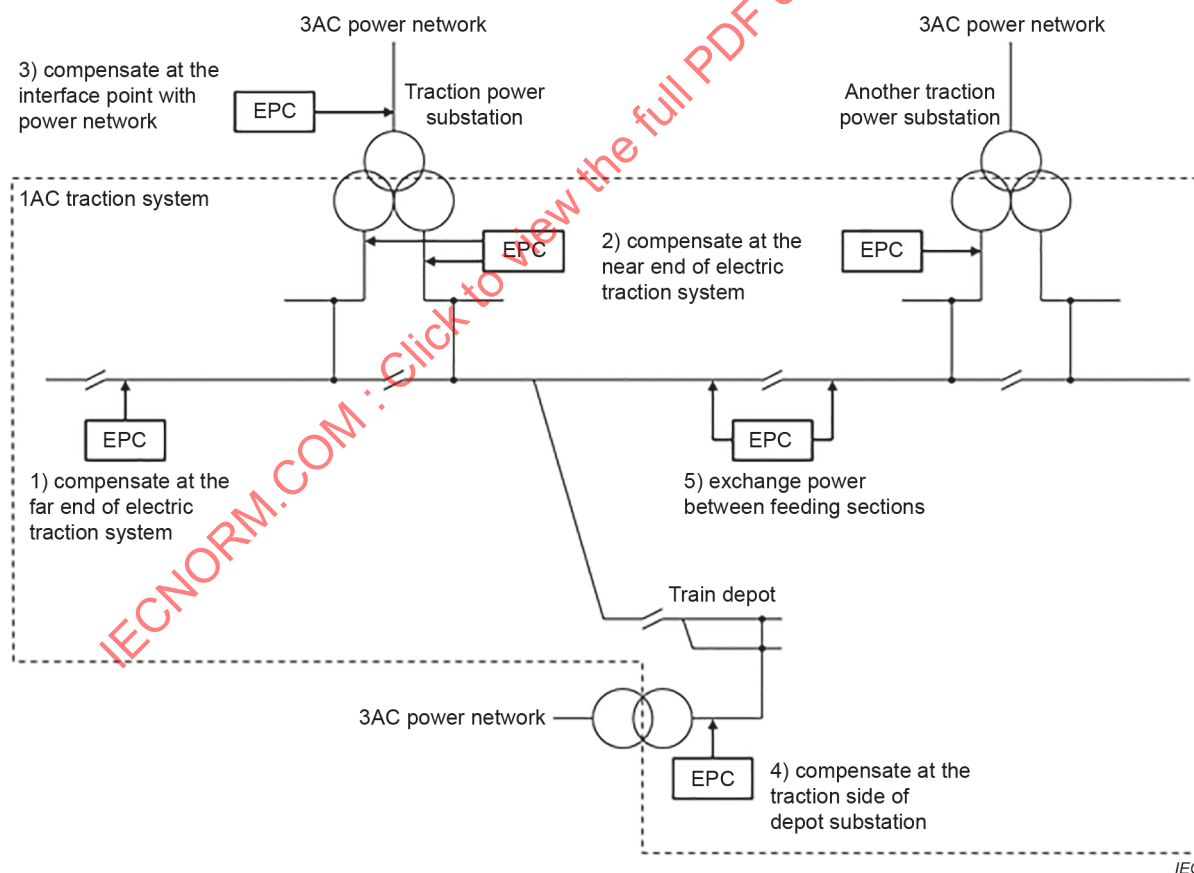


Figure 1 – Example of the possible electrical position of electronic power compensators

Table 1 – Types of typical electronic power compensators

Type of compensation	Electrical position	Purpose and function	Control strategy	Type of rated capacity	Example of equipment	Sub-clause
Single-phase compensation by injection of reactive power into a 1AC traction system	• far end or middle of 1AC traction system	• voltage drop compensation	• AC voltage control	• reactive power, in MVar	SVC	4.2.2
	• near end of 1AC traction system	• power factor compensation	• reactive power control	• reactive power, in MVar	SVC	4.2.3
Multi-phase compensation by coordination of active and/or reactive power at the 1AC traction side of a traction transformer	• near end of 1AC traction system	• three-phase imbalance compensation • three-phase voltage drop compensation • power factor compensation	• active power control • reactive power control • AC voltage control	• apparent power, in MVA	RPC	4.3.2
	• far end of 1AC traction system	• energy saving • voltage drop compensation • peak load reduction • voltage stabilization	• active power control	• apparent power, in MVA	RPC	4.3.2.4
	• near end of 1AC traction system	• three-phase imbalance compensation • three-phase voltage drop compensation • power factor compensation	• negative sequence component control • reactive power control • AC voltage control	• reactive power, in MVar ^a	STATCOM SVG	4.3.3 4.3.4
application on 3AC power network (Multi-phase compensation by coordination of active and/or reactive power at the 3AC power network side of a traction transformer)	• 3AC power network side of a traction transformer	• three-phase imbalance compensation • three-phase voltage drop compensation • power factor compensation	• negative sequence component control • reactive power control • AC voltage control • active power control	• apparent power, in MVA	STATCOM SVG	4.4

^a It is indicated by apparent power in MVA in some countries.

NOTE All the types of compensators listed above can be used for harmonic compensation and energy saving as well.

4.2 Single-phase equipment which injects reactive power into a 1AC traction system

4.2.1 General

There are two different purposes resulting in different locations for the use of single-phase equipment injecting reactive power into an 1AC traction system as shown in 4.2.2 and 4.2.3.

There is a wide variety of possible configurations for this kind of equipment. Present state-of-the-art is self-commutated converters, but older systems are still in use. These systems may use power electronics in combination with passive components, such as in the TCR.

4.2.2 Equipment installed on the far end or middle of a 1AC traction system

4.2.2.1 Purpose and function

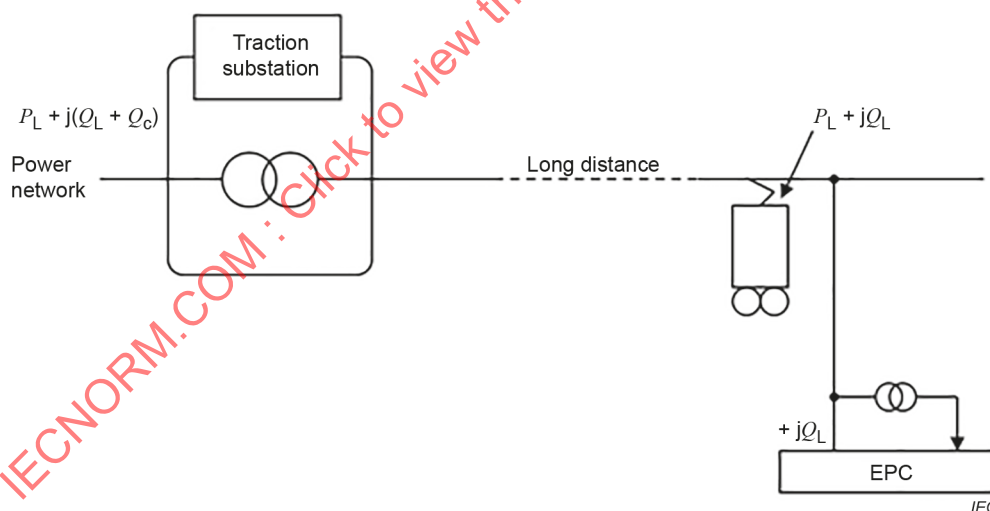
The purpose of this type of equipment is to stabilise voltage at locations far away from the substation. More stable supply voltage improves operation performance of traction units powered by the 1AC traction system. SVC is an example of this type. See Figure 2.

4.2.2.2 Configuration and interface

This equipment consists of components for adjusting reactive power and are typically connected with a traction system at the end of a feeding section.

4.2.2.3 Control strategy

The equipment acts as a lagging or leading load depending on whether the voltage measured at that point is higher or lower than the criteria.



Key

P_L active power of a feeding section

Q_L reactive power of a feeding section

Q_c reactive power consumed by EPC ("Load convention" is used. Typically $Q_c < 0$ in this application)

NOTE For simplification, active power loss and reactive power caused by the electric traction system are neglected.

Figure 2 – Single-phase equipment installed on the far end or middle of a 1AC traction system

NOTE The symbol "j" in all figures in this document is an imaginary unit.

4.2.3 Equipment installed on the near end of a 1AC traction system

4.2.3.1 Purpose and function

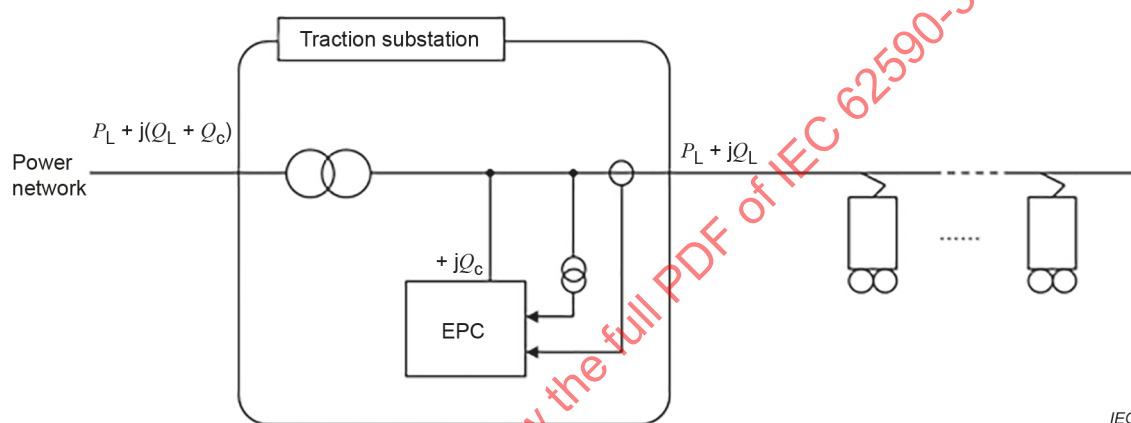
The purpose of this type of equipment is to improve the power factor seen from the power network. SVC is an example of this type. See Figure 3.

4.2.3.2 Configuration and interfaces

This equipment consists of components for adjusting reactive power and are typically connected with a traction system in the substation.

4.2.3.3 Control strategy

The value of the reactance element is controlled by the converter as a lagging or leading load to cancel all or part of the reactive power Q_L yielded in the 1AC traction system.



Key

P_L active power of a feeding section

Q_L reactive power of a feeding section

Q_c reactive power consumed by EPC ("Load convention" is used. Typically $Q_c < 0$ in this application)

Figure 3 – Single-phase equipment installed on the near end of a 1AC traction system

4.3 Multi-phase equipment connected to the 1AC traction side

4.3.1 General

Equipment installed into more than one phase of the 1AC traction system is categorized into several types as shown in 4.3.2 and 4.3.3.

4.3.2 Equipment exchanging active power between a pair of different 1AC circuits and/or injecting reactive power into 1AC circuits

4.3.2.1 Purpose and function

The purpose of this type of equipment is to improve balance and/or mitigation of voltage fluctuation in the 3AC power network with active and reactive power control. This type of equipment is called RPC.

4.3.2.2 Configuration and interfaces

An RPC consists of a set of converters which are parallelly connected to different 1AC circuits respectively. These 1AC circuits may be:

- one of the sections of the 1AC traction system;
- one of the phases of the traction side of the traction transformer (See NOTE in 4.3.2.3).

The entirety of the equipment can be installed at the near end of the section, generally in the substation, as well as at the far end, such as in the sectioning post.

4.3.2.3 Control strategy of an RPC located at a traction power substation

The substation RPC exchanges active power between different 1AC circuits to which converters of the RPC are connected. It also injects reactive power into one or more of these 1AC circuits.

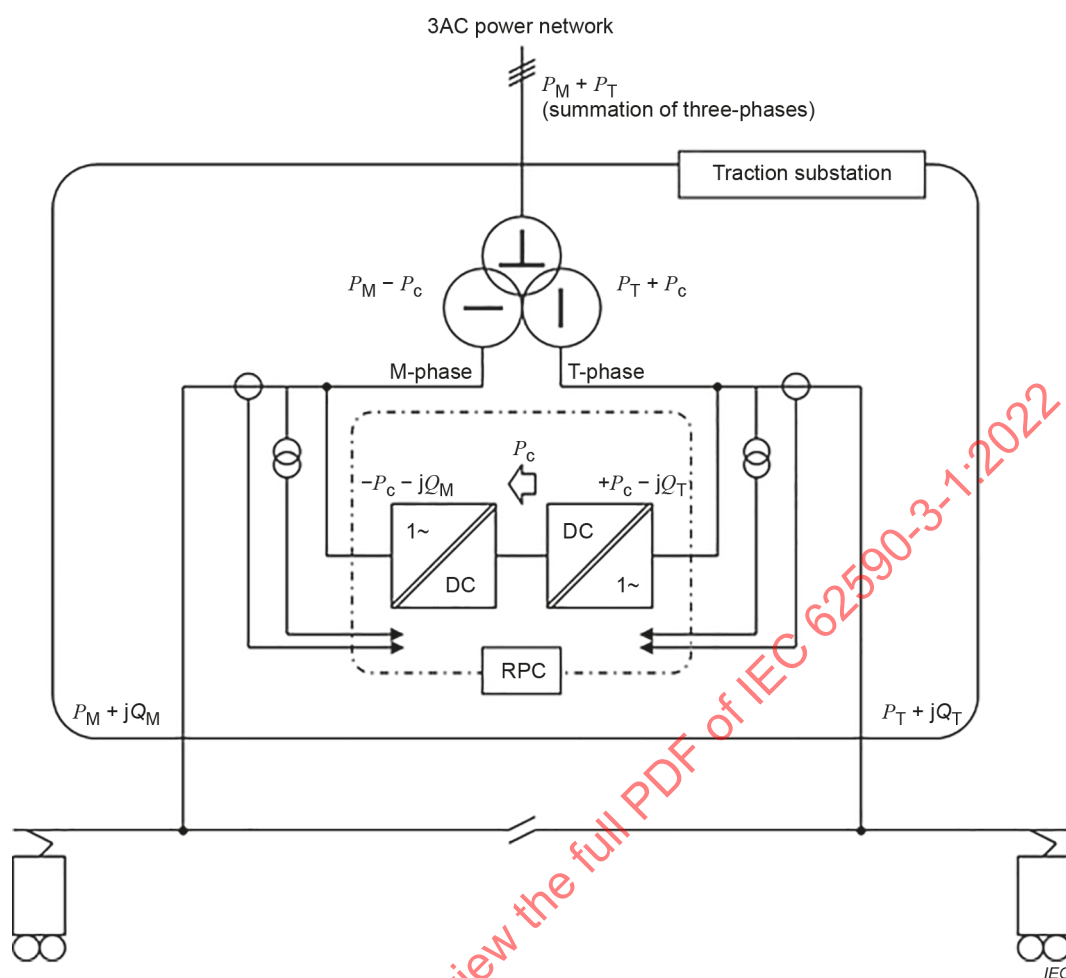
If a three-phase to two-phase conversion with orthogonal 1AC circuits is used an RPC is applicable. Transformers for this purpose are defined in Clause 10 of IEC 62695:2014, Scott transformer for example. The 3AC load can be symmetrized if both 1AC loads are equal. For this purpose, half of the difference of the active power P_c of the 1AC circuits is exchanged. See Figure 4.

Depending on the capacity of the equipment, the improvement of balance and/or mitigation of voltage fluctuation in the 3AC power network side can be achieved by compensating reactive power of each phase Q_M , Q_T through the same method as described in 4.2.

NOTE 1 According to the operating condition of the 1AC traction system, some RPCs are operated for the purpose of voltage reduction at the end or intermediate of the 1AC traction system, by injection of reactive power just the same as SVCs.

NOTE 2 When the load of a substation is only one feeding section, for example, a substation dedicated to a rolling stock depot, one of two orthogonal 1AC circuits may be used. In this case, the 3AC side will be balanced by exchanging active power between phases through an RPC connected to each phase of the traction side (See 4) of Figure 1).

An RPC may also exchange active power between two phases whose difference of phase angle are 60° or 120° . The balance in the 3AC side is improved in this case, but complete balancing is reached only if an additional measure is taken for active power transmission from the remaining one phase to the other two phases.



Key

- P_M, P_T total active power of a feeding section on M-phase and T-phase respectively
- Q_M, Q_T total reactive power of a feeding section on M-phase and T-phase respectively
- P_c active power transferred from T-phase to M-phase to decrease negative sequence component of three-phase side

NOTE DC link in RPC is an example to transfer active power between two phases. Other solutions are possibly used as well.

Figure 4 – Equipment exchanging active power between a pair of orthogonal 1AC circuits and/or injecting reactive power into 1AC circuits

NOTE For simplification, it is assumed that each electronic power compensator has enough compensation capacity to entirely compensate the reactive power and/or eliminate the voltage/current imbalance on 3AC side with the ideal condition in the figures in 4.2 to 4.4. In realistic cases, compensation is usually carried out with best effort, because the capacity of the electronic power compensator is limited.

4.3.2.4 Control strategy of an RPC located at the far ends of two different feeding sections

Regenerative energy from braking traction units is consumed by other powering traction units in the same section of the 1AC traction system. When the energy demanded by those other traction units is less than the regenerated energy, the superfluous energy returns to the 3AC power network through the traction transformer, but sometimes without being metered and charged.

An RPC connects in terms of power flow two 1AC circuits with different power sources. It means the equipment can exchange active power between two sections of the 1AC traction system supplied by adjacent substations at their far end. This enables the superfluous regenerative energy in one section to be transmitted to and consumed in the other section. This also enables better voltage stability and lower distribution losses.

The equipment is installed at the far end of the 1AC traction system typically in the sectioning post. The converter connects two feeding sections of the 1AC traction system supplied by different traction substations possibly with phase difference. Typically, each of the two converters of the RPC is connected to each section of the 1AC traction system supplied by different traction substations possibly with phase difference. See 5) of Figure 1.

The control strategy of this type of RPC is different from that described in 4.3.2.3. The RPC operates collaborating with two traction substations on both sides. Information exchange between the RPC and these substations may be needed to control the equipment properly.

4.3.3 Application of Steinmetz principle

4.3.3.1 Purpose and function

The purpose of this type of equipment is to improve balance and/or mitigation of voltage fluctuation in the 3AC power network with reactive power control. STATCOM is an example of this type. See Figure 5.

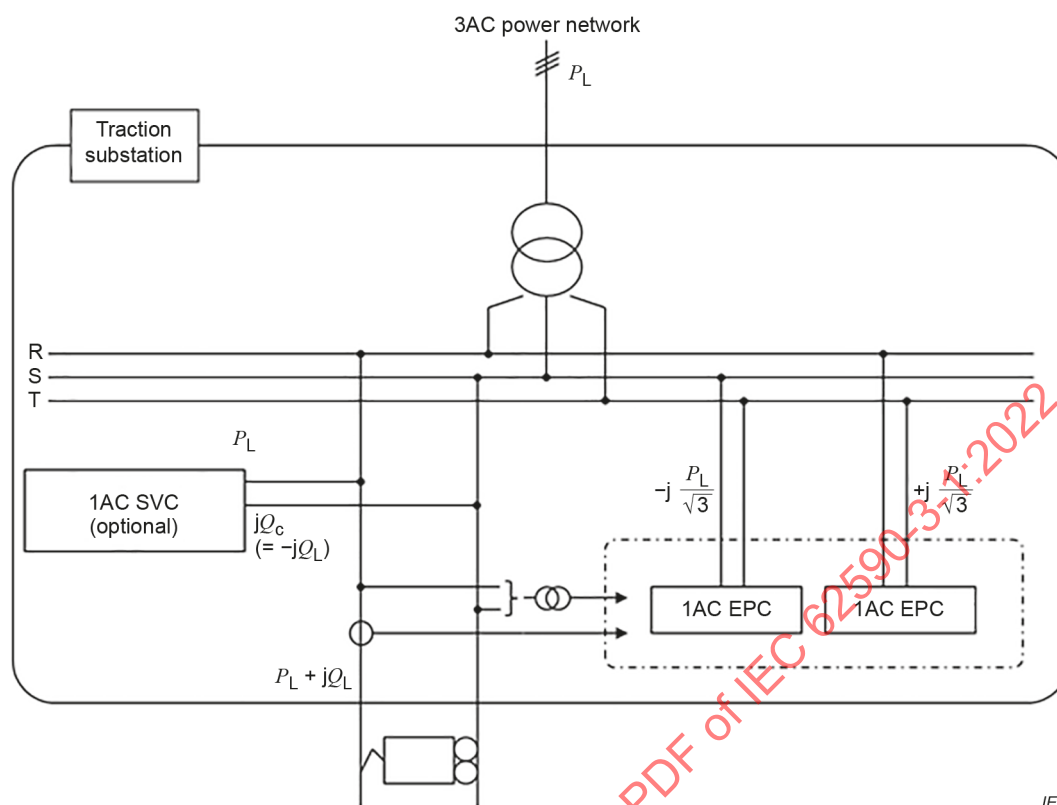
4.3.3.2 Configuration and interfaces

Two sets of single-phase SVCs described in 4.2.1 are inserted into each pair of phases other than the one connected to the 1AC traction system.

A single-phase SVC, be it line-commutated or self-commutated, may be combined at one or more phases with train running load, to improve the power factor at the power receiving point by compensating the reactive power from traction units with low power factor driving systems.

4.3.3.3 Control strategy

Two sets of single-phase SVCs are asymmetrically controlled totally as one group in such a way that the 3AC power network side is loaded with balanced current.



Key

P_L total active power of a feeding section

Q_L total reactive power of a feeding section

Q_c reactive power consumed by single-phase SVC ("Load convention" is used. Typically $Q_c < 0$ in this application)

NOTE 1 "1AC EPC" stands for SVC, STATCOM or SVG.

NOTE 2 One of EPCs acts as capacitive, and the other acts as inductive.

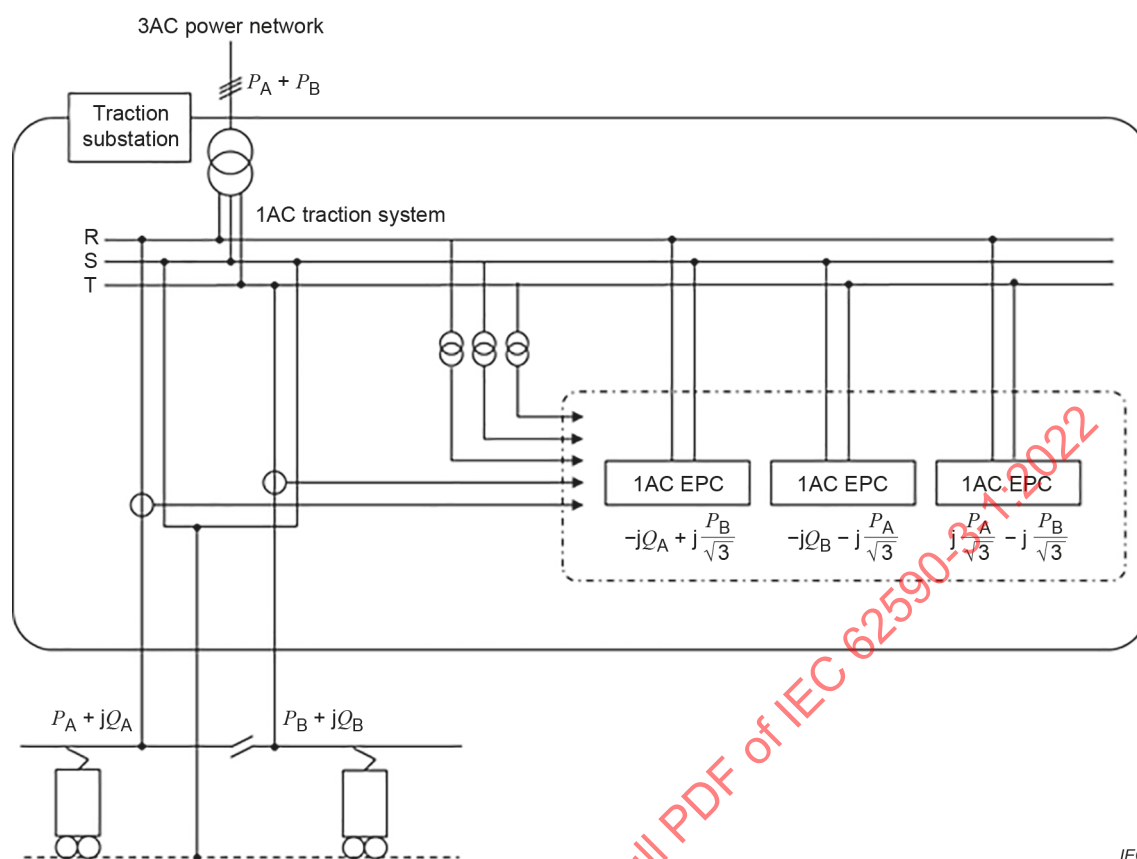
Figure 5 – Application of Steinmetz principle

4.3.4 Equipment connected to the traction side of the V-connection transformer

A conventional method to reduce imbalance is the V-connection. Two sections of a 1AC traction system are connected between different pairs of phases of the feeding 3AC power network. This can be realized by a special V-transformer, a three-phase transformer, or two single phase transformers.

The remaining imbalance can be further reduced by using the Steinmetz principle. Three independently controlled single-phase SVCs apply reactive power to the 3AC power network. See Figure 6

The description of 4.3.3 may be used with the principle of superposition for two loads and their needed compensation. The superposition leads to a partial extinction of the needed compensation power. The three single-phase SVCs can be combined in one unit, but need independent control.



IEC

Key P_A, P_B active power of a feeding section A and B Q_A, Q_B reactive power of a feeding section A and B ("Load convention" is used.)

Figure 6 – Equipment connected to traction side of the V-connection traction transformer

4.4 Application on 3AC power network

4.4.1 General

The three-phase imbalance can also be reduced with equipment installed at the 3AC power network side of a traction transformer as shown in 4.4.2. The equipment used for this purpose may be similar to that of 4.3.3, but the electrical position of installation is different. See Figure 7.

4.4.2 Equipment connected to the 3AC power network side of a traction transformer

4.4.2.1 Purpose and function

The three-phase imbalance is expressed as the negative sequence component. The purpose of this type of equipment is to reduce the three-phase imbalance of the load as seen from the 3AC side of the traction substation by using a balancer at the 3AC power network side of a traction transformer (group). This solution may be applied to any type of 1AC traction system including a Scott-connection system as well as a V-connection system.

4.4.2.2 Configuration and interfaces

The configuration of the target 1AC traction system may be any of various types

The equipment is installed in the 3AC power network side of the traction transformer. There is multiple possible equipment configuration and ways of connecting to the phases. For example:

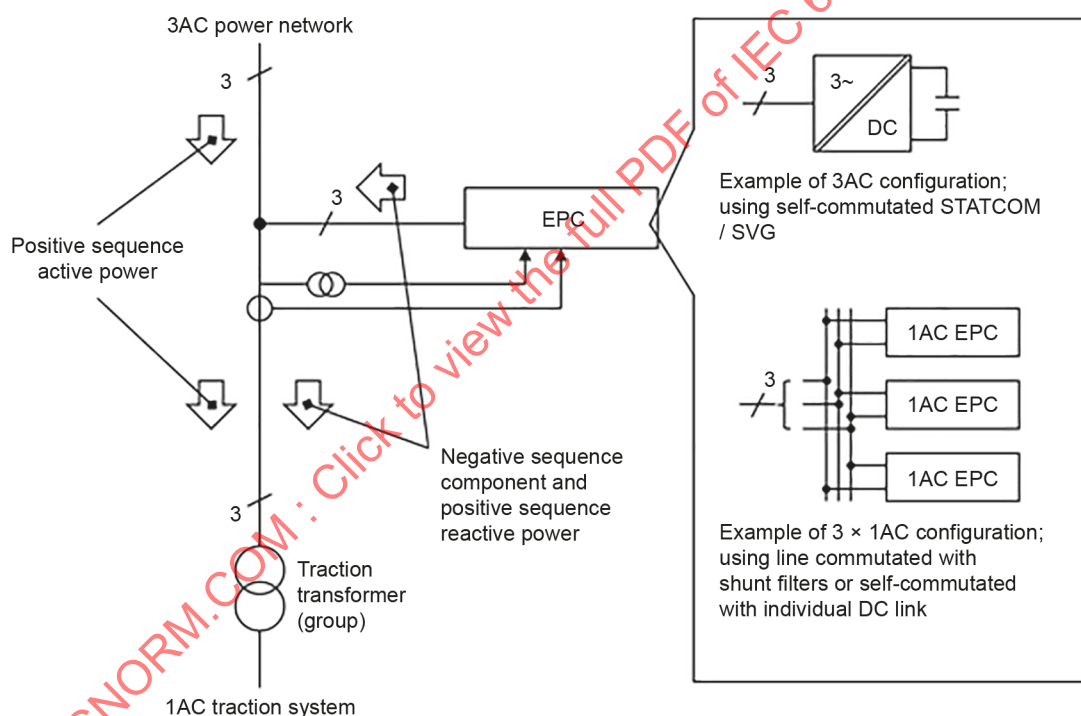
- three-phase STATCOM or three-phase SVG;
- three sets of single-phase SVC between each pair of phases.

4.4.2.3 Control strategy

This kind of equipment symmetrises the load as seen from 3AC power network side of the traction transformer by asymmetrically injecting reactive power into each pair of phases, or by exchanging active power between phases. The equipment also compensates reactive power when it has enough capacity.

This equipment can balance the load current. Different algorithms are needed for each of the tasks.

The equipment applied for this purpose is asymmetrically controlled unlike those generally used for 3AC power network despite equipment itself is similar.



IEC

NOTE “1AC EPC” stands for SVC, STATCOM or SVG.

Figure 7 – Equipment which reduces imbalance at the 3AC power network side of a traction transformer

4.4.2.4 Equipment which reduces imbalance generated in multiple traction substations as a whole

In some 1AC traction systems, a bulk receiving substation receives power from the 3AC power network and distributes to a group of traction substations through railway dedicated transmission lines.

In these cases, expanding on the concept described in other parts of 4.4, imbalance generated in multiple traction substations can be reduced as a whole at the bulk receiving substation. The equipment of this purpose asymmetrically compensates reactive power and exchanges active power between phases of the transmission line. See Figure 8.

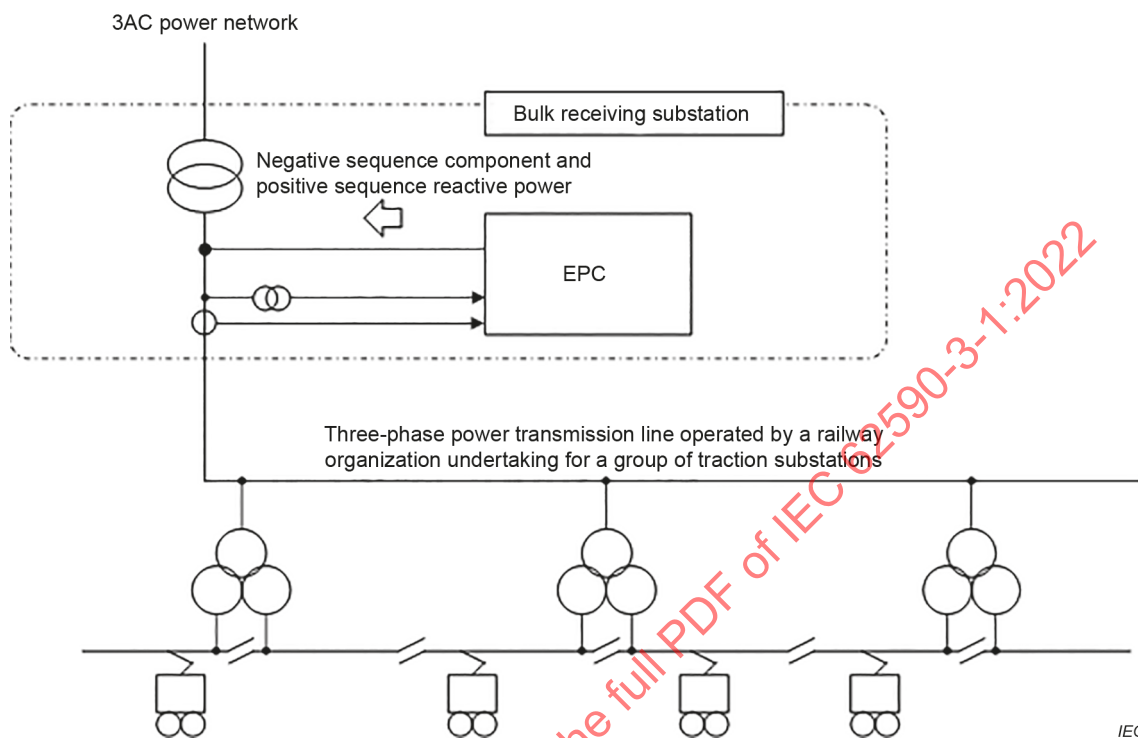


Figure 8 – Equipment which reduces imbalance generated in multiple traction substations as a whole

5 Design and integration

5.1 General

The design of an electronic power compensator is typically performed applying the following steps:

- survey of the power quality criteria;
- survey of the condition of the 3AC power network;
- traction load requirements;
- estimation of the power quality without any countermeasures;
- choice of the countermeasures;
- evaluation of the electronic power compensator;
- specification of the electronic power compensator.

This design process which is needed to achieve the effect of installation is described from a purely technical point of view. The entity who has responsibilities for the total system integration of the electric traction system with an electric power compensator may be different depending on the projects. Therefore, the actual attribution of roles among the stakeholders in the process described in Clause 5 is out of the scope of this document. The possible stakeholders are:

- railway operators;
- railway infrastructure managers;

- j) system integrators;
- k) manufacturers;
- l) 3AC power network operators.

5.2 Survey of power quality criteria

The criteria for power quality in AC traction systems shall conform to the specifications of IEC 60850 and IEC 62313. Special national conditions shall precede others, if any.

When an infrastructure manager receives 3AC or 1AC power from a power supply company, special national conditions and/or requirements specified by power supply companies shall have precedence, if any.

The examples of criteria for power quality are shown in Annex C.

5.3 Survey of the condition of the 3AC power network

The condition which is inherent to the 3AC power network to be connected by the traction substation for the target feeding section, and may affect the quality of power, shall be specified. Short-circuit capacity and harmonic impedance of the power network are two of the important parameters to be considered.

The condition for estimation of the value to be chosen as the short-circuit capacity shall be determined considering the criteria which was specified to be satisfied through the survey in 5.2.

Generally, the minimum value is needed for estimation of the power quality, and the maximum value is needed for specification of short-circuit withstanding requirements of the equipment. The following values of the 3AC power network shall be determined:

- minimum short-circuit capacity;
- maximum short-circuit capacity;
- harmonic impedance for relevant network configurations.

5.4 Traction load requirements

The maximum value and/or range of variation of active and reactive power expected in the section of AC traction system where the equipment will be installed shall be defined. More detailed study may be performed upon agreement between the user and the manufacturer.

In the case where the equipment will be installed into an existing line, the results of measurements in the target AC traction system may be used as a part or all the load estimation.

5.5 Estimation of the power quality without any countermeasures

5.5.1 General

The extent of deterioration of power quality in the target AC traction system and/or the 3AC power network shall be estimated according to the load and the condition of the power source estimated in 5.3 and 5.4.

In the case the equipment will be installed into an existing line, the results of measurements in the target AC traction system and/or 3AC power network may be used as a part or all of the load estimation.

5.5.2 Calculation of voltage drop in a 1AC traction system

The voltage drop in a 1AC traction system may be calculated by the method shown in Annex A.

5.5.3 Calculation of three-phase imbalance at the interface to 3AC power network

The three-phase imbalance at the interface to a 3AC power network may be calculated by the method shown in Annex B. The description of Clause 10 of IEC 62695:2014 may be referenced. Special national conditions shall have precedence, if any.

5.5.4 Calculation of power factor at the interface to 3AC power network

The power factor is calculated as the ratio of the absolute value of the active power to the apparent power estimated at the interface to a 3AC power network.

In case where large three-phase voltage imbalance is expected due to for example large upstream impedance, the power factor on 3AC side should be calculated with the exact formulae considering detail effect of three phase imbalance. See Table B.1. For a fluctuating load, the power factor should be calculated using the integral of the active power as well as the apparent power for the specified duration, considering instantaneous power flow. The calculation of the power factor at the point of common coupling should comply with the electric power purchase agreement between railway infrastructure manager and corresponding power supply company. Definition of this duration may be part of the step described in 5.2.

The user and the manufacturer shall agree on the more detailed definition of the power factor and its measurement method for the purpose of 5.5. IEC 61000-4-30 can be used as guidance for this purpose.

5.6 Choice of the countermeasures

In case the extent of deterioration of power quality estimated in 5.5 exceeds the permissible range determined in 5.2, a solution shall be chosen. The following measures shall be considered:

- a) solution by installing an electronic power compensator;
- b) solution by strengthening the power source infrastructures such as generation plants or transmission lines;
- c) solution by coordinating the transportation capacity of the railway line concerned.

If more than one solution is possible, an economical comparison should be made.

5.7 Evaluation of the electronic power compensator

When the solution by installing an electronic compensator is chosen in 5.6, requirements for keeping the power quality within the permissible range shall be defined. The most appropriate method of compensation shall be selected referencing Clause 4. The required compensation power shall be determined for the selected method of compensation. The policy of compensation shall be decided in advance as follows:

- a) full compensation of the power quality;
- b) minimum compensation needed to keep the power quality within the permissible range;
- c) partial compensation.

The policy concerning the required compensation power for the case when the equipment is needed to stop partially for maintenance shall be agreed upon between the user and the manufacturer, if necessary.

Full compensation is not always needed but may have contractual impacts for the user and their 3AC power network operator.

5.8 Specification of the electronic power compensator

5.8.1 General

An electronic power compensator shall be designed according to the method and required compensation power determined in 5.7. Coordination with other systems shall be considered in design.

5.8.2 Coordination with other systems

Harmonics, produced by the equipment of an electronic power compensator shall not affect the performance of other systems, especially signalling and/or communication systems.

The effects of harmonics shall be evaluated by a method such as simulation or calculation which is agreed upon between the user and the manufacturer.

The user shall indicate the frequency ranges which could affect signalling and/or communications systems

The user shall provide relevant harmonic impedance curves to allow the calculation of harmonic currents and proper design of filters, if needed. If it is necessary either to measure the harmonic impedance curves on the existing traction system or to calculate the curves for the new traction system to be built, the user and the manufacturer shall agree on the method to perform it.

Effect of harmonics propagating from outside of the electronic power compensator, such as predistortion in the 3AC power network or harmonic source in the 1AC traction system shall also be considered, to make the equipment resistant to these harmonics.

6 Performance requirements

6.1 General

6.1.1 Rating

6.1.1.1 General

The rated values of the electronic power compensator are the values determined in the system design described in Clause 5 such that the equipment can deliver an output without exceeding any specified limit values, including those of the parts used, and without causing any damage, when the equipment is operated under specified operating conditions.

There is a set of rated values needed for the intended operation. The boundary conditions for every value shall be agreed upon between the user and the manufacturer.

6.1.1.2 Load requirements

Load requirements shall conform to 6.4.3 of IEC 60146-1-1:2009.

In the case where other values are chosen, the duty class (see 151-16-02 of IEC 60050-151:2001) required for operation shall be specified upon agreement between the user and the manufacturer.

6.1.1.3 Rated capacity

The rated capacity shall be the maximum value of the capacity of the compensator under the normal operating conditions and shall be agreed upon between the user and the manufacturer. Examples are shown in Table 1.

EXAMPLE For an RPC which is used in combination with a three-phase to two-phase conversion transformer, as described in 4.3.2, the maximum value of the apparent power (not active power) which can be exchanged on every connection between the converter and the 1AC traction system can be defined as the rated capacity.

6.1.1.4 Rated voltage

The rated voltage shall be the nominal voltage of the system under the specified operating conditions and shall be agreed upon between the user and the manufacturer.

NOTE There is the case where the normal operating voltage is different from the nominal voltage. For example, the normal operating voltage is sometimes set above the nominal voltage intending to reduce transmission losses in the line.

EXAMPLE For an RPC, U_n which is specified in IEC 60850, of the electric traction system to which the equipment is connected can be defined as the rated voltage.

6.1.1.5 Rated current

The rated current shall be the maximum value of the current of the system under the normal operating conditions and shall be agreed upon between the user and the manufacturer.

The maximum current which can continuously flow under the rated voltage of the electric traction system or the specified traction power supply voltage can be defined as the rated current.

6.1.1.6 Rated frequency

The rated frequency shall be the nominal frequency of the system under the normal operating conditions and shall be agreed upon between the user and the manufacturer.

EXAMPLE For an RPC, the frequency, which is specified in IEC 60850, of the electric traction system to which the equipment is connected can be defined as the rated frequency.

6.1.2 Number of connected phases

The number of phases which are connected to the electronic power compensator shall be specified.

6.1.3 Temperature rise

The temperature of each semiconductor device used in the electronic power converter shall not exceed the allowable maximum temperature specified by the manufacturer of the semiconductor device. The allowable upper limit temperature of any accessory or auxiliary equipment of the electronic power converter shall comply with the standards for the equipment.

From the temperature rise and the expected load cycles, the expected lifetime may be calculated particularly for semiconductor valve device assemblies.

6.1.4 Losses and efficiency

6.1.4.1 General

The figures for the losses shall be given for the whole range of operation power in adequate steps.

The power efficiency of equipment is defined as the conventional efficiency which is derived from the total loss measured or calculated, unless otherwise specified. Measured efficiency may be used if the measurement can be performed without difficulty.

For equipment which has no actual flow of active power, such as SVCs, total loss should be used as the indicator of energy performance, instead of power efficiency.

The conventional efficiency shall be calculated using the following formula. The total loss is the sum of the losses of converters, transformers and other components determined respectively:

$$\eta = \frac{P}{P + P_L} \times 100 (\%)$$

where

η is the conventional efficiency,

P is the rated capacity of the equipment,

P_L is the conventional total loss.

6.1.4.2 Included losses

The following losses shall be included when determining the efficiency:

- internal losses in the converter assembly such as valve devices, fuses, potential dividers, current balancing means, snubber circuits and voltage surge absorbers;
- losses in converter transformers, transducers, interphase transformers, current limiting and balancing reactors between transformer and converter assemblies;
- losses due to main connections between converter transformers and converters for cases when they are built together and delivered as a unit;
- power consumed by auxiliaries such as permanently connected fans or pumps and relays unless otherwise specified;
- losses in passive filters, only when installed as an integral part of the compensator;
- power consumed by the control equipment.

NOTE Power consumed by permanently connected cooling fans which operate only when the temperature of the equipment is higher than the specified threshold and revert to a stand-by state when the temperature falls lower than the threshold value, is included.

6.1.4.3 Not included losses

The following losses shall not be included when determining the efficiency, but shall be stated separately if requested by the user:

- losses due to main connections between converter transformers and converters for the case when they are delivered as separate units;
- losses due to main connections to circuit breakers, disconnectors, switchgears and to the load;
- losses in circuit breakers, disconnectors, switchgears, and control gears other than those mentioned in 6.1.4.2;
- losses due to heating, ventilation of the building and supply of the coolant from outside;
- losses due to auxiliary apparatus which operate only intermittently.

NOTE Operation of cooling pumps for the purpose of preventing the cooling medium from freezing when the ambient temperature is extremely low is regarded as intermittent operation.

6.2 Control and protective function

6.2.1 Start and stop sequence

The operation sequences of the electronic power compensator, for system start-up, system stop and for system failure shall be defined and be implemented.

Other operation sequences, such as the sequence for switching the operation mode of the equipment for substations for example, shall be upon agreement between the user and the manufacturer.

6.2.2 Control function

The control function of the electronic power compensator shall be appropriate to achieve the purpose of the operation. Examples of possible control functions are shown in Table 1.

Detail of the control function shall be upon the agreement between the user and the manufacturer.

NOTE During transient phenomena such as inrush current, temporary switching pattern change or temporary switching operation suspension including gate blocking for a short while are applied to avoid overcurrent on semiconductor devices, if applicable. This is one of the control functions belonging to the electronic power compensator.

6.2.3 Protective function

6.2.3.1 External failure

An electronic power compensator shall be equipped with appropriate protective functions, such as gate blocking, fuses, opening circuit breakers or limiting output, to protect the equipment and to prevent the failure from spreading, when any failure occurs outside of the equipment, in the 3AC power network or in the electric traction system.

The possible failure effects in the 3AC power network or in the electric traction system are for example voltage dips caused by phase to phase or three-phase short circuit, earth fault, power outage and over voltage caused by load shedding or removal of a fault.

The user and the manufacturer should agree on any requirements to the response of the converters to external failures.

6.2.3.2 Internal failure

An electronic power compensator shall be equipped with appropriate protective functions. The protective functions shall protect the equipment and prevent the failure from affecting the connected networks and the environment.

EXAMPLE Separating devices, current limiting, gate blocking, and fuses.

The possible failure effects inside an electronic power compensator are for example, device failures, cooling system failures, short circuit, earth fault, under voltage, over voltage, over current, over temperature and control failures.

For equipment with a DC link capacitor, special attention should be paid to the possible charged energy in a DC link capacitor which may affect the fault environment.

6.3 Electromagnetic compatibility (EMC)

An electronic power compensator shall comply with the immunity and emission requirements described in IEC 62236-5. For emission requirements in conjunction with other parts of the electric traction system to the outside, IEC 62236-2 shall be referenced.

Additional requirements shall be agreed upon between the user and the manufacturer.

If the routing of cables, including AC and DC power cables, auxiliary cables, control cables, and cables for filtering, are arranged by the user or any other third party, the instructions provided by the manufacturer of the electronic power compensator as well as the requirements specified in IEC 62236-5 shall be followed.

6.4 Harmonics

An electronic power compensator shall not negatively affect other systems, such as signalling systems, by harmonics due to its operation.

At the interface to the 3AC power network, the harmonics of the electric traction system including compensators should not exceed the specified limit. The examples of limits are shown in Annex C.

The interference between converters of an electric power compensator and traction units which are possibly supplied by the electric traction system with the electric power compensator shall be considered according to IEC 62313.

Different railway lines can have different limits, and any additional other requirements shall be agreed upon between the user and manufacturer, if necessary.

6.5 Failure conditions for the electronic power compensator

The manufacturer of the compensator shall present the design concept regarding the various failures that could occur in the compensator by indicating the immunity level given in Table 2, which shall be agreed upon with the user.

Such failures that could occur in the compensator shall include not only a single failure of individual system components but also other failures that could occur externally, such as interruption of the external power supply and lightning surge, as well as outage of control power supply.

Combined failures of the above items should be considered if they are difficult to detect and/or of a very high importance for the operation. They should be specified by the user.

The compensator shall be constructed to indicate failures and to provide means of control when a failure occurs in the compensator according to the applicable immunity level as specified in Table 2.

Table 2 – Immunity level

Immunity level	Consequence	Information and control
R: Redundancy	No immediate consequence, full performance maintained	Warning signal
F: Functional	Degraded performance (e.g., reduced current-carrying capacity)	Warning signal or tripping signal
T: Tripping	Interruption of service due to protection devices	Tripping signal
D: Damage	Interruption of service due to damage	Tripping signal

6.6 Mechanical characteristics

6.6.1 General

The electronic power compensator may be either an enclosed-type unit or an open-type unit.

The enclosures of the electronic power compensator shall be designed to enable safe and easy operation during normal use, inspection and maintenance services, parts replacement, earthing of cables or buses, and voltage tests.

The quality and grade of all materials used shall be designed for operation under the specified conditions. Special attention shall be given to the capability to withstand moisture and fire. Unless the burning behaviour class F0 of IEC 61936-1 is acceptable, or unless the use of oil filled capacitors is agreed between the user and the manufacturer, the materials used shall be made of metal or with self-extinguishing properties.

The materials shall be selected to minimize atmospheric corrosion and electrolytic corrosion.

6.6.2 Safety requirements for maintenance

The metal portion of the enclosure or frame shall be connected to an appropriate earthing terminal located at an accessible position, such that the terminal can be connected to the main earthing system of the substation. The earthing terminals shall be properly protected from corrosion.

6.6.3 Environmental conditions

The environmental conditions specified in 6.2 of IEC 62590:2019 shall be applied.

6.6.4 Degree of protection

The user shall specify the degree of protection according to IEC 60529.

Inspection windows and ventilation holes of the enclosure shall be protected from entry of foreign objects, at least according to the specified degree of protection.

NOTE 1 Unless otherwise agreed upon between the user and the manufacturer, the degree of protection for the enclosure of the components is assumed to be valid for the doors and walls of the enclosure. Regarding specific requirements for the components in relation to cooling, AC and DC cables, and bus connection, IP 00 is considered the ordinary degrees of protection for the top and bottom parts of the enclosure.

NOTE 2 For electronic power compensators that are installed indoors, a degree of protection will not normally be specified for ingress of water, provided that no occurrence of condensation within the enclosure is expected.

NOTE 3 Under special conditions, such as in an underground station substation where the air is dusty and includes metal dust, ingress of dust is carefully considered.

6.7 Electrical safety requirements for maintenance

To ensure safety during maintenance work, all parts of the main circuit for which access is required or provided shall be properly earthed. This requirement does not apply to any part that can be accessed only after it is separated from the enclosure by drawing out or removing it.

For equipment with a DC link capacitor, proper means against the possible charged energy in the capacitor, such as short-circuiting of the capacitor, shall be provided to ensure safety of the personnel during the maintenance work. The measure shall be specified by the user.

6.8 Rating plate

Each converter unit to be delivered as an assembly as well as each of the other units to be delivered individually shall include the following information on the rating plate. Any items that are difficult to indicate may be omitted upon the agreement between the user and the manufacturer:

- a) name of the equipment;
- b) name of the manufacturer;
- c) number of this document (IEC 62590-3-1);
- d) type (defined by the manufacturer);
- e) serial number (defined by the manufacturer);
- f) rated voltage (AC and/or DC);

- g) rated current (AC and/or DC);
- h) rated capacity (AC and/or DC);
- i) rated frequency;
- j) number of phases (and number of lines, if needed);
- k) type of rated current;
- l) cooling system;
- m) mass, mass of coolant (if any);
- n) year of production.

7 Tests

7.1 Test category

7.1.1 General

The following two types of test are used:

- a) type test; and
- b) routine test.

Each component or subassembly which is a reasonably testable unit should be tested. The final assembly relies on pretested components.

The user and the manufacturer shall agree on the optional test items to be executed.

If the user requires the manufacturer to present test reports for these tests, or if it is necessary for the user to witness the tests, the test items and other details shall be determined through discussion between the user and the manufacturer before the implementation of the tests.

The accuracy of the measuring equipment used in the test shall be of sufficiently high level so that the purpose of the measurements is fulfilled. The measuring equipment shall be calibrated. This accuracy level shall be agreed upon between the user and the manufacturer.

For tests in relation to the interface with the traction unit, refer to IEC 62313.

7.1.2 Type test

The type test is implemented to verify the ratings, characteristics, and performance of a newly developed compensator.

If the manufacturer has carried out a type test that covers all items for another compensator with a similar design, the result of this type test may be used through an agreement with the user.

In the case of large equipment as explained in 7.1.4, for economic reasons, tests shown in Table 3 may be performed individually on each of these units, if agreed upon between the user and the manufacturer.

7.1.3 Routine test

Routine tests are carried out to verify that the product is correctly assembled and that all components and/or systems function correctly and operate safely.

Routine tests shall be performed by the manufacturer on each shipped item. After the performance has been verified in the type tests, only routine tests shall be required for later products that are produced based on the same design. Also, some tests which are performed as type tests may be regarded as serving routine tests, and tests dedicated to routine tests may be omitted.

In the case of large equipment, routine tests may be carried out individually on each of these units upon agreement between the user and the manufacturer.

7.1.4 Large equipment

For some test items, it may not be suitable to perform a routine test on for any equipment on the test bed in the factory because of technical constraints. If this is the case, the equipment is called large equipment. Technical constraints shall be one or more of the following:

- a) Ratings of the equipment are too high for the test bed to handle;
- b) Physical size or weight of the equipment is too large for the test bed to handle;
- c) For transporting needs, re-assembling at the final installation site is necessary; or
- d) Other technical constraints (applicable only upon agreement between the user and the manufacturer).

Equipment not categorised as large equipment shall be tested completely before being shipped in accordance with the provisions of this document.

In the case of large equipment, it is advisable for economic reasons to confine the performance of tests to those which are considered necessary. Testing of large equipment in manufacturers' works may be limited to tests on each of these units. Other tests which are not practical to be performed in the factory, such as tests on the complete compensator equipment, may be performed on site. For example, some of the tests on transformers and cooling systems may be implemented after being assembled at the site.

7.1.5 Overview of tests

The test categories are as given in Table 3.

Specifications for any special requirements of the user shall be agreed upon between the user and the manufacturer.

Table 3 – Overview of tests

Test item	Type test	Routine test	Applicable subclause
Visual inspection	M	M ^b	7.2.1
Test of accessory and auxiliary components	M	M	7.2.2
Insulation test	M	M ^b	7.2.3
Start and stop sequence test	M	M ^b	7.2.4
Checking of the protective functions	M	M ^b	7.2.5
Control function test	M	M ^b	7.2.6
Light load functional test	M	M	7.2.7
Load test	M	M ^{b,c}	7.2.8
Temperature rise test	M		7.2.9
Power loss determination	M		7.2.10
Acoustic noise measurement	O ^d	O ^d	7.2.11
EMC test	M ^e /O ^d	O ^d	7.2.12

Test item	Type test	Routine test	Applicable subclause
Harmonic measurement	M ^a	M ^{a,b}	7.2.13
Degree of protection test (mechanical test)	M		7.2.14
M: mandatory. O: optional. NOTE For the tests performed on site, test conditions different from tests performed on the factory test bed generally apply. ^a Simulation-based verification may be used. Project-specific data is to be used for the routine test. ^b Executing of this test item at the final installation site is mandatory. ^c When performing this test at the final installation site, train load may be used as the load of the equipment, which may be smaller than the rated load. ^d This test is mandatory in some countries. ^e Only for immunity.			

7.2 Test items

7.2.1 Visual inspection

Visual inspection shall be carried out to ensure that the equipment or assembly is correctly built and so far as ascertained, meets all the specified requirements. A visual inspection shall be made to check features such as compliance of the rating plate to 6.8, accessibility for maintenance, safety, compliance of the dimensions and their tolerances to the design.

7.2.2 Test of accessory and auxiliary components

The test of accessory and auxiliary components shall be carried out according to their relevant standards. The test for the cooling system shall also be included in this test.

7.2.3 Insulation test

Insulation tests shall be conducted to verify the insulation condition of the completed assembly.

For general requirements of this test, refer to IEC 62590:2019, 8.2.1.

For the insulation test to be done on site, test method and criteria shall be agreed upon between the user and the manufacturer. The following examples are given as the possible agreements.

a) Visual inspection as the insulation test

The insulation test is done by visually inspecting the insulators and other parts of the compensator. The test is passed if no physical damage, surface pollution, insufficient clearance or other visible problem is observed.

b) Using an insulation tester

The insulation test is performed by using an insulation tester. The test is passed if all of the following conditions are met:

- All terminals are correctly connected; and
- Insulation resistance between the conductor and either the metal chassis or the earth is above the safe minimum.

c) Applying test voltage

During the insulation test, the predefined test voltage shall be applied to the conductors for the predefined duration after the converter transformers and converters are combined. Upon deciding the testing voltage, care should be taken as not to unnecessarily stress the insulation through the test, and for this reason the testing voltage is generally lower than that of the insulation test on the factory test bed. The test is passed if no voltage breakdown occurs.

7.2.4 Start and stop sequence test

The objective of the sequence test is to check that the specified operation sequence is followed correctly.

The following operation sequences shall be checked:

- a) start-up;
- b) stop of operation;
- c) sequence upon failure, e.g., emergency shutdown, changing to degraded operation (see 6.5);
- d) other sequences, as agreed upon between the user and the manufacturer.

7.2.5 Checking of the protective functions

Checking of protective functions shall be done as far as possible without stressing the components above their rated values.

Due to the wide variety of protective functions and their combinations, it is not possible to state any general rules for the checking of these functions. However, If a protection function is performed or supported by control software, it shall be tested.

EXAMPLE Protection from overloads, current limiting due to short circuits or protection from earthing faults are the examples of protection functions to be tested if performed or supported by control software.

Routine tests shall be performed to check the operation of protective functions. However, it is not intended to check the operation of devices such as fuses, where the operation is based on destruction of the operating component.

EXAMPLE This test is sometimes performed by using simulated environment.

7.2.6 Control function test

The objective of the control functions test is to check that the control functions determined and agreed upon between the user and the manufacturer are demonstrated.

Because there are various strategies and schemes for the control of compensators, it is not possible to state any general rules for the testing of control functions, which are governed by the choice. Therefore, the test procedure shall be agreed upon between the user and the manufacturer.

7.2.7 Light load functional test

For a light load functional test of the electronic power converter, refer to IEC 62590:2019, 8.2.2.

For self-commutation electronic power converters, a light load functional test may be performed combined with the load test described in 7.2.8.

7.2.8 Load test

For a load test of an electronic power converter, refer to IEC 62590:2019, 8.2.3 for line-commutation types, and IEC 60146-2:1999, 7.3.6 for self-commutation types respectively.

For self-commutation electronic power converters, combined performance of a light load functional test, a load test and a temperature rise test is permitted.

For load test to be done on site, its test condition shall be agreed upon between the user and the manufacturer.

For large equipment as explained in 7.1.4, the load test on the factory test bed may be omitted if both of the following conditions are met:

- a) There is an agreement between the user and the manufacturer for such omission; and
- b) The load test on site is performed.

7.2.9 Temperature rise test

The temperature rise of the electronic power converter shall be measured under the test conditions specifically matched to the rated load and the duty cycle used.

For the temperature rise test of the electronic power converter, refer to IEC 62590:2019, 8.2.5.1.

7.2.10 Power loss determination

Losses of equipment may be determined either by calculations based on measurements or by direct measurements.

The operation condition of the equipment for power loss determination and the method of measurement including accuracy of the measuring chain shall be agreed upon between the user and the manufacturer.

If the power loss determination is performed by direct measurements, the measurement method given in Annex A of IEC 60146-2:1999 can be referenced.

Power loss may also be evaluated by measurement of the heat removed by the cooling medium (using the calorimetric method) and estimation of the heat flow through the housing of the equipment.

7.2.11 Acoustic noise measurement

The test conditions and test methods for acoustic noise measurement shall be determined through agreement between the user and the manufacturer.

7.2.12 EMC test

This test shall be performed in accordance with IEC 62236-2 and IEC 62236-5. See 8.2.10 of IEC 62590:2019 as well.

NOTE According to IEC 62236-2, the emission test is performed as a measurement of the emission of the substation at the distance of 10 m from the outer fence of the substation. Thus, when applied for a compensator, the emission test represents a part of routine test which is performed only on site.

Compatibility with other systems, such as signalling systems, shall be agreed upon between the user and the manufacturer.

7.2.13 Harmonic measurement

7.2.13.1 General

The harmonic measurement should be conducted both as the type test and the routine test. For the harmonic measurement as the routine test, the measurement shall be performed on the final installation site of the equipment.

Before conducting this measurement, it shall be confirmed that the switching frequency of the electronic power converter will not interfere with other systems, such as signalling systems.

Simulation results can be used to perform this measurement as the routine test based on the agreement between the user and the manufacturer.

7.2.13.2 Measurement on the test bed

The measurement is carried out to obtain the harmonic characteristics. Upon agreement between the user and the manufacturer, simulation-based verification may be used.

7.2.13.3 Measurement on site

The measurement is carried out to demonstrate that no interference is caused to other systems, such as signalling systems.

Any other requirements may be set based on the agreement between the user and the manufacturer.

NOTE The harmonic currents are dependent on the site-specific harmonic impedance.

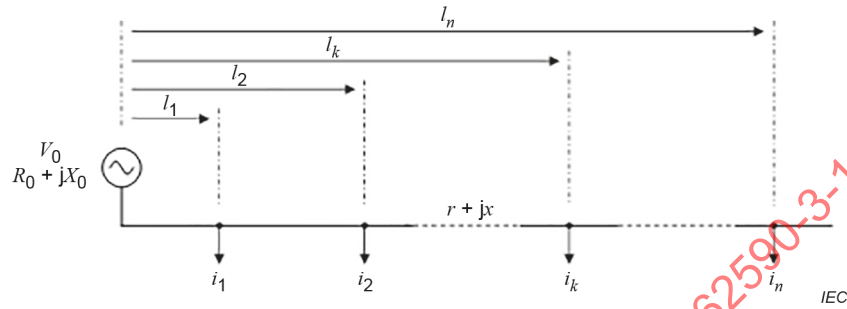
7.2.14 Degree of protection test

The degree of protection, as specified in 6.6.4, shall be verified according to the test method and criteria specified in IEC 60529.

Annex A (informative)

Calculation of voltage drop in a 1AC traction system

Figure A.1 shows the approximate simple calculation methods of voltage drop in a 1AC traction system. In some countries, more precise calculation method and/or additional requirements may be applied.



$$V_k \approx \left\{ (R_0 + jX_0)(\cos \theta - j \sin \theta) \sum_{m=1}^n i_m \right\} + \left\{ (r + jx)(\cos \theta - j \sin \theta) \left(\sum_{m=1}^k i_m l_m + l_k \sum_{m=k+1}^n i_m \right) \right\}$$

NOTE this formula is for approximate calculation use, not precise.

Key

j	(in upright shape) imaginary unit
V_k	OCS voltage at each trainset (V)
V_0	no load AC voltage (V)
$R_0 + jX_0$	impedance of the source; i.e. traction transformer and power grid (Ω)
$r + jx$	unit-length impedance of the OCS circuit (Ω/km) (OCS: overhead contact line system)
i_k	current (OCS side) of each trainset (A)
l_k	distance of each trainset from traction substation (km)
$\cos \theta$	power factor at the feeder of traction substation

Figure A.1 – Calculation of voltage drop in a 1AC traction system

Calculation for the instantaneous worst situation is performed in accordance with Figure A.1 or other appropriate formula from the position and the intake current of each trainset estimated from the planned train operation interval, performance specification of trainset and so on.

On the other hand, calculation for average power demand, which mainly affects the sizes of equipment, is often executed with simulation tools because i_k and l_k in Figure A.1 are time-dependent on the situations of each trainset.

Annex B (informative)

Calculation of three-phase imbalance at the interface to a 3AC power network

Figure B.1 shows typical interface methods between a 3AC power network and 1AC traction system. The 3AC side voltage imbalance ratio may be calculated using formulae shown in Table B.1 for simple use. In some countries, more precise calculation methods and/or additional requirements of imbalance criteria may be applied. See 5.2.

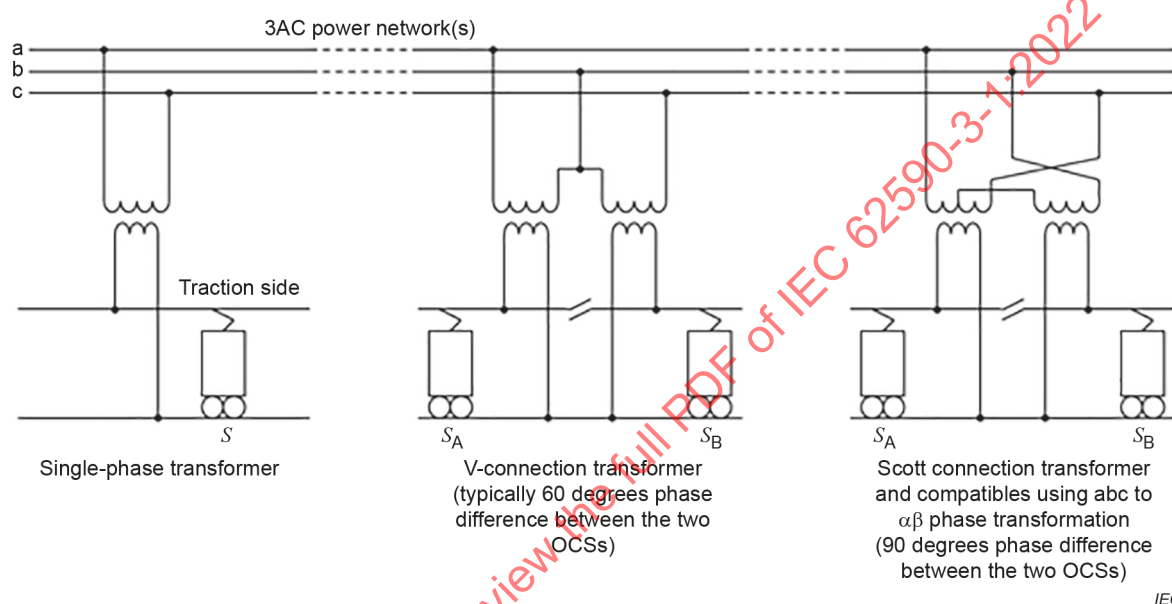


Figure B.1 – Typical interface methods between power network and 1AC traction system

**Table B.1 – Formulae to calculate voltage imbalance
at primary side of a traction transformer**

Type of connection of traction transformer	Exact formulae	^a Approximate formulae
Single-phase	$K = \left \frac{S}{S_{SC} + S} \right $	$K = \frac{S}{S_{SC}}$
V-connection	$K = \left \frac{aS_A + S_B}{S_{SC} + S_A + S_B} \right $	$K = \frac{\sqrt{S_A^2 - S_A S_B + S_B^2}}{S_{SC}}$
Scott connection and compatibles	$K = \left \frac{S_A - S_B}{S_{SC} + S_A + S_B} \right $	$K = \frac{ S_A - S_B }{S_{SC}}$
K voltage imbalance ratio at primary side of the traction transformer S_{SC} short circuit capacity of 3AC power network, unit in kVA S total apparent power of traction load, unit in kVA S_A and S_B apparent power of traction load on each phase, unit in kVA. A phase rotation operator of 120° ^a It is assumed that short circuit impedance in a 3AC power network is much smaller than load impedances and both S_A and S_B have unity power factor and same power flow direction. NOTE Bold font in the column “Exact formulae” indicates complex numbers.		

For S , S_A and S_B shown in Table B.1, values are calculated for the instantaneous worst situation in accordance with Table B.1, considering the conditions such as position and the intake current of each trainset estimated from the planned train operation interval, performance specification of trainset and so on.

Calculation of these values is often executed with simulation tools because the apparent power is time-dependent on the situations of each trainset.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62590-3-1:2022

Annex C (informative)

Examples of limits of power quality at the interface to a 3AC power network

C.1 General

In some countries or areas, requirements for power quality at the interface between the 3AC power network and 1AC traction system can be specified. Various manners of limitation are utilized in different countries and areas, such as laws, national standards, technical specifications, conditions for electric power contracts, and non-mandatory targets set by power supply companies.

Annex C aims to provide information about limits of three-phase imbalance and harmonics applied in some countries, as requirements for power quality which are typical in 1AC traction systems.

When contents of Annex C are used, the following nature of this annex should be noted:

- a) the contents are provided only for the sake of convenience to the users of this document, and are not intended to be referenced from other documents;
- b) the requirements are copied from other documents to be given only for information, and are not intended to be used normatively;
- c) the information at the point of issue of this document is shown and may become obsolete due to the revision of the source document performed, regardless of this document.

C.2 Examples of limits of three-phase imbalance

Table C.1 shows examples of three-phase imbalance specified in some countries.

IEC TR 61000-3-13 also provides general guidance on assessment of voltage imbalance caused by unbalanced installations.

Table C.1 – Examples of limits of three-phase imbalance

Countries or areas	Limitation	Remarks
Japan	The value of K calculated by formulae shown in Table B.1 shall not exceed 3 %, where P , P_A and P_B are mean value during continuous 2 h	Some power supply companies apply 2 % instead of 3 %
China	During normal operation of power network, the factor of unbalanced negative sequence voltage ε_{U_2} shall not exceed 2 %, and shall not exceed 4 % in 1 min. The factor of unbalanced negative sequence voltage ε_{U_2} caused by each user connected to the public connection point (PCC) shall not exceed 1,3 %, and shall not exceed 2,6 % in 1 min. $\varepsilon_{U_2} = \frac{U_2}{U_1} \times 100\%$ where ε_{U_2} is the factor of unbalanced negative sequence voltage, U_1 is the RMS value of positive sequence component of three-phase voltage, U_2 is the RMS value of negative sequence component of three-phase voltage.	According to GB/T 15543-2008, "Power quality – Three-phase voltage unbalance" by the State Bureau of Technical Supervision
France	For equivalent single-phase loads higher than • 4 MVA in 63 kV or 90 kV networks, • 15 MVA in 150 kV or 225 kV networks, voltage imbalance ratio shall not exceed 1 %.	As per "Arrêté du 6 octobre 2006" published in JORF n°265 dated 2006 Nov 16 th .
United Kingdom	Assessment of imbalance for connection of railway traction power equipment to public electricity supplies in the UK is carried out by calculation of imbalance voltage within the electricity supply network under normal, n-1 and n-2 operating conditions of the railway and electricity supply networks. Criteria and details for assessment are provided by the electricity supply company at time of Connection Enquiry and are based upon guidance published by Energy Networks Association, "Engineering Recommendation P24". ENA ER P24 is available for download at https://www.energynetworks.org/publications .	

NOTE Information in this table is valid in 2021.

C.3 Examples of limits of harmonics

C.3.1 General

Various methods are taken to limit harmonic contents. Examples in some countries are shown in the following subclauses from C.3.2 to C.3.4.

IEC TR 61000-3-6 also provides general guidance on assessment of harmonic emissions caused by distorting installations.

C.3.2 Japan

In Japan, the limit of harmonic contents is outlined in a technical guidance established by the Agency for National Resources and Energy of the Ministry of Economy, Trade, and Industry:

- the content rate of the harmonic current in the harmonic order no more than 40 at the connection point shall not exceed the rate shown in Table C.2.

Table C.2 – Limitation of harmonic content in Japan

Nominal voltage of public power network kV	Content rate of harmonic current for each harmonic order %							
	5 th	7 th	11 th	13 th	17 th	19 th	23 rd	> 23 rd
6,6	4,0	2,8	1,8	1,5	1,1	1,0	0,87	0,80
≥ 22	6,7	4,8	3,1	2,6	1,9	1,8	1,5	1,4

C.3.3 China

In China, the limitation of harmonic contents is outlined in a standard GB/T 14549-1993, “Quality of electric energy supply – Harmonics in public supply network” by the State Bureau of Technical Supervision.

- The content of the harmonic current in the harmonic order no more than 25 at the connection point shall not exceed the value shown in Table C.3.

Table C.3 – Limitation of harmonic content in China

Nominal voltage of public power network kV	Reference short-circuits capacity MVA	Limitation of harmonic current for each harmonic order A											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24
6	100	43	34	21	3,4	14	24	11	11	8,5	16	7,1	13
10	100	26	20	13	20	8,5	15	6,4	6,8	5,1	9,3	4,3	7,9
35	250	15	12	7,7	12	5,1	8,8	3,8	4,1	3,1	5,6	2,6	4,7
66	500	16	13	8,1	13	5,4	9,3	4,1	4,3	3,3	5,9	2,7	5,0
110	750	12	9,6	6,0	9,6	4,0	6,8	3,0	3,2	2,4	4,3	2,0	3,7
Nominal voltage of public power network kV	Reference short-circuits capacity MVA	Limitation of harmonic current for each harmonic order A											
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0,38	10	11	12	9,7	18	8,6	16	7,8	8,9	7,1	14	6,5	12
6	100	6,1	6,8	5,3	10	4,7	9,0	4,3	4,9	3,9	7,4	3,6	6,8
10	100	3,7	4,1	3,2	6,0	2,8	5,4	2,6	2,9	2,3	4,5	2,1	4,1
35	250	2,2	2,5	1,9	3,6	1,7	3,2	1,5	1,8	1,4	2,7	1,3	2,5
66	500	2,3	2,6	2,0	3,8	1,8	3,4	1,6	1,9	1,5	2,8	1,4	2,6
110	750	1,7	1,9	1,5	2,8	1,3	2,5	1,2	1,4	1,1	2,1	1,0	1,9

C.3.4 France

In France, the limit of harmonic contents is outlined in “Arrêté du 6 octobre 2006” published in JORF n°265 dated 2006 Nov 16th.

Injected harmonic currents shall be less than $I_{hn} = k_n \cdot S_s / \sqrt{3} / U_c$

where:

U_c is the nominal voltage at PCC,

S_s is the contractual maximum power demand, if lower than 5 % of short-circuit apparent power S_{cc} at PCC, otherwise 5 % of S_{cc} ,

k_n is a factor depending on the harmonic order, according to Table C.4.

The limits in Table C.4 are valid for network voltages from 63 kV to 225 kV. For 400 kV networks, the limits above are multiplied by 0,6.

Table C.4 – Factors for limitation of harmonic content in France

Odd orders	k_n %	Even orders	k_n %
3	6,5	2	3
5 and 7	8	4	1,5
9	3	> 4	1
11 and 13	5		
> 13	3		

Bibliography

IEC 60050-131:2002, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 131: Circuit theory*
IEC 60050-131:2002/AMD1:2008
IEC 60050-131:2002/AMD2:2013
IEC 60050-131:2002/AMD3:2019
IEC 60050-131:2002/AMD4:2021

IEC 60050-161:1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 161: Electromagnetic compatibility*
IEC 60050-161:1990/AMD1:1997
IEC 60050-161:1990/AMD2:1998
IEC 60050-161:1990/AMD3:2014
IEC 60050-161:1990/AMD4:2014
IEC 60050-161:1990/AMD5:2015
IEC 60050-161:1990/AMD6:2016
IEC 60050-161:1990/AMD7:2017
IEC 60050-161:1990/AMD8:2018
IEC 60050-161:1990/AMD9:2019
IEC 60050-161:1990/AMD10:2021

IEC 60050-421:1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 421: Power transformers and reactors*

IEC 60050-448:1995, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 448: Power system protection*

IEC 60050-551:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 551: Power electronics*
IEC 60050-551:1998/AMD1:2017

IEC 60050-614:2016, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 614: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*

IEC 60050-811:2017, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 811: Electric traction*
IEC 60050-811:2017/AMD1:2021

IEC 60076 (all parts), *Power transformers*

IEC 60146 (all parts), *Semiconductor converters*

IEC TR 61000-3-6:2008, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-6: Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems*

IEC TR 61000-3-13:2008, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-13: Limits – Assessment of emission limits for the connection of unbalanced installations to MV, HV and EHV power systems*

IEC 61892-2:2019, *Mobile and fixed offshore units – Electrical installations – Part 2: System design*

IEC 62428:2008, *Electric power engineering – Modal components in three-phase a.c. systems – Quantities and transformations*

IEC 62505-1:2016, *Railway applications – Fixed installations – Particular requirements for AC switchgear – Part 1: Circuit-breakers with nominal voltage above 1 kV*

IEC 62505-2:2016, *Railway applications – Fixed installations – Particular requirements for AC switchgear – Part 2: Disconnectors, earthing switches and switches with nominal voltage above 1 kV*

IEC 62589:2010, *Railway applications – Fixed installations – Harmonisation of the rated values for converter groups and tests on converter groups*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62590-3-1:2022

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62590-3-1:2022

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	53
INTRODUCTION.....	55
1 Domaine d'application	56
2 Références normatives	56
3 Termes, définitions et abréviations	57
3.1 Termes et définitions	57
3.2 Abréviations.....	62
4 Types de compensateurs électroniques de puissance.....	63
4.1 Généralités	63
4.2 Équipement monophasé qui injecte de la puissance réactive dans un système de traction 1AC	66
4.2.1 Généralités.....	66
4.2.2 Équipement installé sur l'extrémité éloignée ou intermédiaire d'un système de traction 1AC.....	66
4.2.3 Équipement installé sur l'extrémité proche d'un système de traction 1AC	67
4.3 Équipement multiphasé connecté au côté système de traction 1AC	68
4.3.1 Généralités.....	68
4.3.2 Équipement qui échange de la puissance active entre une paire de circuits 1AC différents et/ou qui injecte de la puissance réactive dans les circuits 1AC	68
4.3.3 Application du principe de Steinmetz	71
4.3.4 Équipement connecté au côté traction du transformateur à montage en V	72
4.4 Application sur le réseau de distribution 3AC	73
4.4.1 Généralités.....	73
4.4.2 Équipement connecté au côté réseau de distribution 3AC d'un transformateur de traction.....	73
5 Conception et installation	75
5.1 Généralités	75
5.2 Étude des critères de qualité de l'électricité	76
5.3 étude de la condition du réseau de distribution 3AC.....	76
5.4 Définition des exigences de charge de traction	76
5.5 Estimation de la qualité de l'électricité sans mesure corrective	77
5.5.1 Généralités.....	77
5.5.2 Calcul de la chute de tension dans un système de traction 1AC	77
5.5.3 Calcul des déséquilibres en triphasé au niveau de l'interface avec le réseau de distribution 3AC	77
5.5.4 Calcul du facteur de puissance au niveau de l'interface avec le réseau de distribution 3AC	77
5.6 Choix des mesures correctives	77
5.7 Évaluation du compensateur électronique de puissance	78
5.8 Spécification du compensateur électronique de puissance.....	78
5.8.1 Généralités.....	78
5.8.2 Coordination avec les autres systèmes.....	78
6 Exigences de performances.....	79
6.1 Généralités	79
6.1.1 Caractéristiques assignées.....	79
6.1.2 Nombre de phases connectées.....	80

6.1.3	Échauffement	80
6.1.4	Pertes et rendement	80
6.2	Fonctions de commande et de protection	81
6.2.1	Séquences de lancement et d'arrêt	81
6.2.2	Fonction de commande	81
6.2.3	Fonction de protection	82
6.3	Compatibilité électromagnétique (CEM)	82
6.4	Harmoniques	82
6.5	Conditions de défaillance du compensateur électronique de puissance	83
6.6	Caractéristiques mécaniques	83
6.6.1	Généralités	83
6.6.2	Exigences de sécurité pour l'entretien	84
6.6.3	Conditions environnementales	84
6.6.4	Degré de protection	84
6.7	Exigences de sécurité électrique pour l'entretien	84
6.8	Plaque signalétique	84
7	Essais	85
7.1	Catégorie d'essais	85
7.1.1	Généralités	85
7.1.2	Essai de type	85
7.1.3	Essai individuel de série	85
7.1.4	Équipement de grandes dimensions	86
7.1.5	Liste des essais	86
7.2	Essai	87
7.2.1	Examen visuel	87
7.2.2	Essai des accessoires et composants auxiliaires	87
7.2.3	Essai d'isolement	87
7.2.4	Essai des séquences de lancement et d'arrêt	88
7.2.5	Vérification des fonctions de protection	88
7.2.6	Essai des fonctions de commande	88
7.2.7	Essai de fonctionnement à puissance réduite	89
7.2.8	Essai en charge	89
7.2.9	Essai d'échauffement	89
7.2.10	Détermination des pertes de puissance	89
7.2.11	Mesurage du bruit acoustique	90
7.2.12	Essai CEM	90
7.2.13	Mesurage des harmoniques	90
7.2.14	Essai du degré de protection	90
Annexe A (informative) Calcul de la chute de tension dans un système de traction 1AC		91
Annexe B (informative) Calcul des déséquilibres en triphasé au niveau de l'interface avec le réseau de distribution 3AC		92
Annexe C (informative) Exemples de limites de qualité de l'électricité au niveau de l'interface avec un réseau de distribution 3AC		94
C.1	Généralités	94
C.2	Exemples de limites de déséquilibres en triphasé	94
C.3	Exemples de limites concernant les courants harmoniques	95
C.3.1	Généralités	95
C.3.2	Japon	96

C.3.3	Chine.....	96
C.3.4	France.....	97
Bibliographie.....		98

Figure 1 – Exemple de position possible pour l'installation électrique des compensateurs électroniques de puissance.....	64
--	----

Figure 2 – Équipement monophasé installé sur l'extrémité éloignée ou intermédiaire d'un système de traction 1AC.....	67
--	----

Figure 3 – Équipement monophasé installé sur l'extrémité proche d'un système de traction 1AC.....	68
---	----

Figure 4 – Équipement qui échange de la puissance active entre une paire de circuits 1AC orthogonaux et/ou qui injecte de la puissance réactive dans des circuits 1AC.....	70
--	----

Figure 5 – Application du principe de Steinmetz.....	72
--	----

Figure 6 – Équipement connecté au côté traction du transformateur de traction à montage en V.....	73
---	----

Figure 7 – Équipement qui réduit les déséquilibres côté réseau de distribution 3AC d'un transformateur de traction.....	74
---	----

Figure 8 – Équipement qui réduit les déséquilibres générés dans plusieurs sous-stations de traction de manière globale.....	75
---	----

Figure A.1 – Calcul de la chute de tension dans un système de traction 1AC.....	91
---	----

Figure B.1 – Méthodes d'interface types entre un réseau de distribution électrique et un système de traction 1AC.....	92
---	----

Tableau 1 – Types de compensateurs électroniques de puissance couramment utilisés.....	65
--	----

Tableau 2 – Niveau d'immunité.....	83
------------------------------------	----

Tableau 3 – Liste des essais.....	86
-----------------------------------	----

Tableau B.1 – Formules pour calculer les déséquilibres de tension du côté primaire d'un transformateur de traction.....	93
---	----

Tableau C.1 – Exemples de limites de déséquilibres en triphasé.....	95
---	----

Tableau C.2 – Limitation des résidus harmoniques au Japon.....	96
--	----

Tableau C.3 – Limitation des résidus harmoniques en Chine.....	96
--	----

Tableau C.4 – Coefficients de limitation des résidus harmoniques en France.....	97
---	----

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**APPLICATIONS FERROVIAIRES – INSTALLATIONS FIXES –
CONVERTISSEURS ELECTRONIQUES DE PUISSANCE –****Partie 3-1: Applications de traction en courant alternatif –
Compensateurs électroniques de puissance**

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. 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. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants. 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.

La norme IEC 62590-3-1 a été établie par le comité d'études 9 de l'IEC: Matériels et systèmes électriques ferroviaires. Cette norme est une Norme internationale.

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

FDIS	Rapport de vote
9/2843/FDIS	9/2864/RVD

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

La langue utilisée pour l'élaboration de la présente Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, et élaboré conformément aux Directives ISO/CEI, Partie 1 et aux Directives ISO/CEI, Supplément CEI, disponibles à l'adresse www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents élaborés par l'IEC sont présentés de manière plus détaillée à l'adresse www.iec.ch/publications.

Une liste de toutes les parties de la série de normes IEC 62590, publiée avec l'intitulé général *Applications ferroviaires - Installations fixes - Convertisseurs électroniques de puissance*, 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 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62590-3-1:2022

INTRODUCTION

Les systèmes de traction en courant alternatif monophasé sont généralement utilisés pour des lignes ferroviaires dont la charge électrique est importante (jusqu'à la plage des MW à deux chiffres). La nature des charges nécessaires au trafic prévu sur ces lignes ferroviaires conduit à des fluctuations de puissance permanentes. De par leur structure inhérente, les systèmes de traction monophasés peuvent rencontrer des problèmes avec les indicateurs de qualité de l'électricité, tels que le facteur de puissance, ainsi que des fluctuations et/ou déséquilibres de tension au sein du système de traction électrique et/ou du réseau de distribution électrique en triphasé. Afin d'améliorer la qualité de l'électricité, un compensateur électronique de puissance peut être utilisé.

En raison de la nature des systèmes de traction électriques ci-dessus, les composants des compensateurs électroniques de puissance (en particulier les convertisseurs électroniques de puissance) doivent supporter des contraintes électriques plus sévères par rapport aux compensateurs destinés à un autre usage industriel. Les compensateurs sont ainsi soumis à des fluctuations de charge importantes, mais également à des manœuvres fréquentes avec l'apparition de courants d'appel et/ou de courts-circuits causés par une défaillance des lignes aériennes de contact. C'est pourquoi il est nécessaire d'établir des exigences spécifiques en complément des exigences communes actuellement applicables aux convertisseurs destinés à un autre usage industriel.

La présente partie de l'IEC 62590 définit les configurations système types, ainsi que les exigences de base et les méthodes d'essai applicables pour les compensateurs électroniques de puissance utilisés avec les systèmes de traction en courant alternatif monophasé. Le présent document est destiné à être utilisé par les exploitants ferroviaires, les constructeurs ferroviaires et les intégrateurs système.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62590-3-1:2022

APPLICATIONS FERROVIAIRES – INSTALLATIONS FIXES – CONVERTISSEURS ELECTRONIQUES DE PUISSANCE –

Partie 3-1: Applications de traction en courant alternatif – Compensateurs électroniques de puissance

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les exigences ainsi que les méthodes d'essai applicables aux compensateurs électroniques de puissance utilisés avec les systèmes de traction en courant alternatif monophasé (1AC). Les compensateurs sont utilisés afin d'améliorer la qualité de l'électricité au sein du système de traction électrique et/ou au niveau de l'interface avec le réseau de distribution en courant alternatif triphasé (3AC), en employant l'électronique de puissance.

Le présent document s'applique aux compensateurs mis en œuvre dans le but de répondre à un ou plusieurs des objectifs suivants:

- atténuer les fluctuations de tension ;
- améliorer le facteur de puissance ;
- réduire les déséquilibres au niveau de l'interface avec le réseau de distribution 3AC.

NOTE Dans certains cas, ce type d'équipement est utilisé pour réduire les harmoniques de la charge de traction vers le réseau de distribution 3AC, et pour les économies d'énergie.

Le domaine d'application du présent document couvre les équipements conçus pour s'adapter à chaque site d'installation particulier, ainsi que les équipements destinés à un usage général.

Le présent document s'applique aux équipements de toutes les configurations possibles qui permettent de mettre en œuvre différentes solutions techniques de compensation, mais pas aux équipements exclusivement constitués de composants passifs.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60050-151:2001, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

IEC 60050-151:2001/AMD1:2013

IEC 60050-151:2001/AMD2:2014

IEC 60050-151:2001/AMD3:2019

IEC 60050-151:2001/AMD4:2020

IEC 60050-151:2001/AMD5:2021

IEC 60146-1-1:2009, *Convertisseurs à semiconducteurs – Exigences générales et convertisseurs commutés par le réseau – Partie 1-1: Spécification des exigences de base*

IEC 60146-2:1999, *Convertisseurs à semiconducteurs – Partie 2: Convertisseurs autocommutés à semiconducteurs y compris les convertisseurs à courant continu directs*

IEC 60529, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (code IP)*

IEC 60850, *Applications ferroviaires – Tensions d'alimentation des réseaux de traction*

IEC 61000-4-30:2015, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-30: Techniques d'essai et de mesure – Méthodes de mesure de la qualité de l'alimentation*

IEC 61000-4-30:2015/AMD1:2021

IEC 61936-1, *Installations électriques en courant alternatif de puissance supérieure à 1 kV – Partie 1: Courant alternatif*

IEC 62236-2, *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique – Partie 2: Émission du système ferroviaire dans son ensemble vers le monde extérieur*

IEC 62236-5, *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique – Partie 5: Émission et immunité des installations fixes d'alimentation de puissance et des équipements associés*

IEC 62313, *Applications ferroviaires – Alimentation électrique et matériel roulant – Critères techniques pour la coordination entre le système d'alimentation (sous-station) et le matériel roulant*

IEC 62590:2019, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Convertisseurs électroniques de puissance pour sous-stations*

IEC 62695:2014, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Transformateurs de traction*

3 Termes, définitions et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 62590:2019 ainsi que les suivants s'appliquent.

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

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

3.1.1

qualité de l'électricité

qualité de la tension caractéristiques du courant, de la tension électrique et de la fréquence en un point donné d'un système d'énergie électrique évaluées selon un ensemble de paramètres techniques de référence

Note 1 à l'article: Ces paramètres pourraient, dans certains cas, se rapporter à la compatibilité entre l'électricité fournie sur un réseau d'énergie électrique et les charges raccordées à ce réseau d'énergie électrique.

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-01-01]

3.1.2

facteur de puissance

en régime périodique, rapport de la valeur absolue de la puissance active P à la puissance apparente S :

$$\lambda = \frac{|P|}{S}$$

Note 1 à l'article: En régime sinusoïdal, le facteur de puissance est la valeur absolue du facteur de puissance active.

[SOURCE: IEC 60050-131:2002, 131-11-46]

3.1.3

compenser

<l'énergie électrique> améliorer la qualité de l'électricité à un certain point du circuit

3.1.4

réseau de traction électrique

réseau de distribution destiné à l'alimentation électrique du matériel roulant

Note 1 à l'article: Le réseau comprend:

- des réseaux de lignes de contact ;
- des circuits de retour des réseaux de traction électrique ;
- des installations électriques alimentées par les lignes de contact soit directement soit par un transformateur ;
- des installations électriques dans les postes et les sous-stations utilisées uniquement pour la production et la distribution d'énergie directement à la ligne de contact ;
- des installations électriques des postes de traction électrique.

[SOURCE: IEC 60050-811:2017, 811-36-21, modifiée – La troisième puce de la liste de la Note 1 à l'article a été supprimée.]

3.1.5

système de traction 1AC

système de traction monophasé

système de traction électrique qui fonctionne en courant alternatif monophasé

Note 1 à l'article: Le système comprend un auto-transformateur.

3.1.6

extrémité proche

<d'un système de traction électrique> zone du réseau de traction électrique proche de la sous-station de traction

Note 1 à l'article: Ce terme est généralement utilisé pour les réseaux de traction électrique alimentés d'un seul côté.

3.1.7

extrémité éloignée

<d'un système de traction électrique> zone du réseau de traction électrique la plus éloignée de la sous-station de traction, généralement proche d'un poste de sectionnement

Note 1 à l'article: Ce terme est généralement utilisé pour les réseaux de traction électrique alimentés d'un seul côté.

3.1.8

section d'alimentation

section électrique de l'itinéraire alimentée par des disjoncteurs individuels du circuit de voie à l'intérieur de la zone alimentée par une ou plusieurs sous-stations

[SOURCE: IEC 60050-811:2017, 811-36-25]

3.1.9**réseau de distribution 3AC**

réseau de distribution électrique en triphasé

circuit électrique ou ensemble de circuits électriques triphasés, qui sont interconnectés ou volontairement couplés de manière capacitive ou inductive

Note 1 à l'article: Dans le cadre du présent document, ce terme est utilisé pour désigner un réseau d'alimentation électrique amont.

3.1.10**véhicule de traction**

locomotive, automotrice ou train-cargo

[SOURCE: IEC 60050-811, 811-02-04]

3.1.11**chute de tension**

<d'un système de traction électrique> fluctuation de la tension au niveau d'un véhicule de traction due à l'impédance du système de traction électrique ainsi qu'à l'impédance du réseau de distribution 3AC, qui est mesurée lorsque les véhicules de traction sont parcourus par un courant de traction

3.1.12**fluctuation de tension**

<d'un système de traction électrique> suite de variations de la tension d'alimentation ou variation permanente de la valeur efficace ou de la valeur de crête d'une tension

Note 1 à l'article: Le choix entre valeur efficace et valeur de crête dépend de l'application et il convient de le spécifier.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-08-05, modifiée – « suite de variations de tension » a été remplacé par « suite de variations de la tension d'alimentation».]

3.1.13**déséquilibre de tension**

dans un réseau d'énergie électrique polyphasé, état dans lequel les valeurs efficaces des tensions entre conducteurs ou les différences de phase entre conducteurs ne sont pas toutes égales

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-08-09]

3.1.14**composante inverse**

<d'un système triphasé> une des trois composantes symétriques qui n'existe que dans un système triphasé déséquilibré de grandeurs sinusoïdales et qui est définie par l'expression mathématique complexe ci-après:

$$X_2 = \frac{1}{3}(X_{L1} + a^2 X_{L2} + a X_{L3})$$

où a est l'opérateur correspondant à une rotation de 120 degrés et où X_{L1} , X_{L2} et X_{L3} sont les expressions complexes des grandeurs de phase considérées, avec X désignant les phaseurs de courant ou de tension du réseau.

[SOURCE: IEC 60050-448:1995, 448-11-28]

3.1.15

convertisseur électronique de puissance

ensemble fonctionnel assurant la conversion électronique de puissance, constitué d'une ou de plusieurs valves électroniques, de transformateurs et de filtres si nécessaire et éventuellement d'accessoires

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-12-01, modifiée – La Note et la Figure 1 n'ont pas été reprises.]

3.1.16

commutation autonome

commutation dans laquelle la tension de commutation est fournie par des composants inclus dans le convertisseur ou l'interrupteur électronique

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-15]

3.1.17

commutation par le réseau

commutation externe dans laquelle la tension de commutation est fournie par le réseau

[SOURCE: IEC 60050-551:1998, 551-16-12]

3.1.18

compensateur électronique de puissance

EPC

équipement dont la fonction est d'améliorer la qualité de l'électricité du circuit auquel il est connecté, en régulant le courant et/ou la tension par l'intermédiaire des convertisseurs électroniques de puissance

3.1.19

compensateur statique d'énergie réactive

CER

compensateur électronique de puissance qui régule la puissance réactive

Note 1 à l'article: Le montage complet comprend des éléments fixes et des éléments réglables. Les convertisseurs autocommutés ou commutés par un réseau sont des exemples d'éléments réglables.

3.1.20

dispositif d'équilibrage

<sous-station de traction>compensateur électronique de puissance dont la fonction est de réduire les déséquilibres

Note 1 à l'article: Un dispositif d'équilibrage permet également de réduire les fluctuations de tension et/ou d'améliorer le facteur de puissance au sein du système de traction 1AC ainsi que dans le réseau de distribution 3AC.

3.1.21

conditionneur statique de puissance ferroviaire

RPC

ensemble de convertisseurs qui échange de la puissance active entre différentes parties du système de traction électrique et qui injecte de la puissance réactive

Note 1 à l'article: À l'heure actuelle, la seule configuration utilisée dans les RPC déjà en service consiste en une paire d'onduleurs monophasés autocommutés connectés en opposition par une liaison à tension continue commune.

Note 2 à l'article: Il est utilisé pour connecter deux sections d'alimentation alimentés par deux sous-stations de traction, ainsi que deux sections d'alimentation alimentés par deux sources de tension monophasée de différentes phases de la même sous-station de traction. Note 3 à l'article:

3.1.22 STATCOM SVG

compensateur statique d'énergie réactive qui utilise un ensemble de convertisseurs autocommutés

Note 1 à l'article: Le terme « STATCOM » est utilisé en Europe et le terme « SVG » est utilisé au Japon.

3.1.23 principe de Steinmetz

principe d'équilibrage de la tension et/ou du courant d'un circuit 3AC qui est déséquilibré par une charge monophasée, par application d'une puissance réactive dans une ou plusieurs phases

3.1.24 montage Scott

mode de raccordement des enroulements de deux transformateurs monophasés permettant de transformer un système de tensions triphasé en un système diphasé ou inversement

Note 1 à l'article: La tension et le courant côté 3AC s'équilibrent lorsque les deux charges des deux circuits côté 1AC sont égales.

[SOURCE: IEC 60050-421:1990, 421-10-06, modifiée – La Note 1 à l'article a été ajoutée.]

3.1.25 Montage en V

deux charges monophasées entre 2 paires différentes de phases d'un réseau de distribution 3AC

Note 1 à l'article: Cela conduit statistiquement à un meilleur équilibrage des charges par rapport à une charge monophasée combinée.

3.1.26 capacité assignée

<d'un compensateur électronique de puissance> aptitude d'un compensateur électronique de puissance à remplir sa fonction principale, où la méthode et les conditions de calcul des appareils de mesure sont définies en fonction de l'objectif et de la configuration de l'équipement

Note 1 à l'article: La capacité assignée type est exprimée en puissance active, en puissance réactive, en puissance apparente ou en intensité apparente.

3.1.27 tension assignée

<d'un compensateur électronique de puissance> tension de fonctionnement d'un compensateur électronique de puissance, où la partie et les conditions des appareils de mesure sont définies en fonction de l'objectif et de la configuration de l'équipement

3.1.28 courant assigné

<d'un compensateur électronique de puissance> courant de fonctionnement d'un compensateur électronique de puissance, où la partie et les conditions des appareils de mesure sont définies en fonction de l'objectif et de la configuration de l'équipement

3.1.29 fréquence assignée

<d'un compensateur électronique de puissance> fréquence de fonctionnement d'un compensateur électronique de puissance, où la partie et les conditions des appareils de mesure sont définies en fonction de l'objectif et de la configuration de l'équipement

Note 1 à l'article: La fréquence de fonctionnement prévue du convertisseur électronique de puissance est tirée de l'IEC 60850.

3.1.30 rendement conventionnel

η

rendement déterminé par calcul et/ou mesurage selon la méthode spécifiée

Note 1 à l'article: Il est parfois difficile, notamment pour les équipements de grandes dimensions (voir 7.1.4), de mesurer le rendement directement en soumettant l'équipement à l'essai sous la charge assignée en raison de diverses restrictions.

3.1.31 fonction de commande

fonction destinée à réguler le comportement des équipements ou systèmes

[SOURCE: IEC 61892-2:2019, 3.9]

3.1.32 fonction de protection

<d'un système de traction électrique> fonction mise en œuvre pour éviter que des personnes ne soient blessées et/ou que l'équipement ne soit endommagé

3.1.33 niveau d'immunité

<pour compensateur> valeur spécifiée d'une perturbation électrique au-dessous de laquelle un équipement est conçu pour satisfaire aux performances exigées, continuer de fonctionner ou éviter tout dommage

[SOURCE: IEC 62590:2019, 3.11.2, modifiée – « convertisseur » a été remplacé par « équipement ».]

3.1.34 essai de type

essai de conformité effectué sur une ou plusieurs entités représentatives de la production

Note 1 à l'article: Dans le contexte du présent document, le terme « type » désigne un groupe de produits de conception totalement identique. Les produits qui ont une conception similaire, mais des valeurs assignées différentes, sont considérés comme des produits de type différent.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-16, modifiée – La Note 1 à l'article a été ajoutée.]

3.1.35 essai individuel de série

essai de conformité effectué sur chaque entité en cours ou en fin de fabrication

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-16-17]

3.2 Abréviations

EPC (Electronic Power Compensator)	compensateur électronique de puissance
RPC (Railway Static Power Conditioner) c	onditionneur statique de puissance ferroviaire
STATCOM (Static Synchronous Compensator)	compensateur synchrone statique
SVC (static var compensator)	compensateur statique d'énergie réactive (CER)
SVG (Static Var Generator)	générateur statique d'énergie réactive
TCR (Thyristor Controlled Reactor)	inductance commandée par thyristor

4 Types de compensateurs électroniques de puissance

4.1 Généralités

Les types de compensateurs électroniques de puissance sont classés selon les critères suivants:

- a) type de compensation:
 - 1) compensation monophasée par injection de puissance réactive dans un système de traction 1AC ;
 - 2) compensation multiphasée par coordination de la puissance active et/ou réactive du côté système de traction 1AC d'un transformateur de traction ;
 - par échange de puissance active entre phases et/ou circuits ;
 - par coordination de la puissance réactive dans les phases ;
 - 3) compensation multiphasée par coordination de la puissance active et/ou réactive du côté réseau de distribution 3AC d'un transformateur de traction ;
- b) position d'installation électrique dans le système de traction électrique:
 - 1) extrémité éloignée, intermédiaire ou proche d'un système de traction 1AC ;
 - 2) côté système de traction 1AC d'un transformateur de traction ;
 - 3) côté réseau de distribution 3AC d'un transformateur de traction, et éventuellement point de réception d'une sous-station de traction ou point de transmission d'une sous-station 3AC pour la transmission de la puissance destinée à la traction ;
- c) un ou plusieurs objectifs et fonctions:
 - 1) réduction des chutes et/ou fluctuations de tension au sein du système de traction 1AC ;
 - 2) charge de pointe
 - 3) amélioration du facteur de puissance du côté réseau de distribution 3AC ;
 - 4) atténuation des fluctuations de tension du côté réseau de distribution 3AC ;
 - 5) atténuation des déséquilibres du côté réseau de distribution 3AC ;
 - 6) atténuation des harmoniques de la charge de traction vers le réseau de distribution 3AC ;
- d) type de commutation:
 - 1) commutation autonome ;
 - 2) commutation par le réseau.

NOTE 1 Les équipements commutés par le réseau ne reflètent plus l'état de l'art actuel, mais sont encore utilisés dans le monde entier. Il a été observé que ce type d'installation induisait souvent de nombreux problèmes d'harmoniques.

NOTE 2 Un élément de réactance variable équivalent peut être réalisé en associant un élément fixe à un élément commandé. L'exemple le plus courant est une capacité fixe associée à une inductance TCR. Il est également possible de combiner des éléments fixes et des convertisseurs selon le principe de commutation autonome.

NOTE 3 D'autres méthodes de compensation que celles décrites à l'Article 4 peuvent exister.

La Figure 1 montre un exemple de position possible pour l'installation électrique des compensateurs électroniques de puissance. La qualité de l'électricité peut être améliorée en utilisant un équipement ou en combinant plusieurs compensateurs électroniques de puissance différents.

Les paragraphes 4.2 à 4.4 ci-après décrivent les solutions techniques couramment utilisées pour la compensation et la configuration des équipements en vue de permettre leur application dans le monde entier (voir Tableau 1). Toutefois, cette description n'est pas exhaustive et n'a pas pour objet d'interdire le choix d'un autre type, notamment d'une conception développée ultérieurement.

NOTE 4 Par souci de simplification, les pertes de puissance active dans les EPC sont négligées dans toutes les figures des paragraphes 4.2 à 4.4.

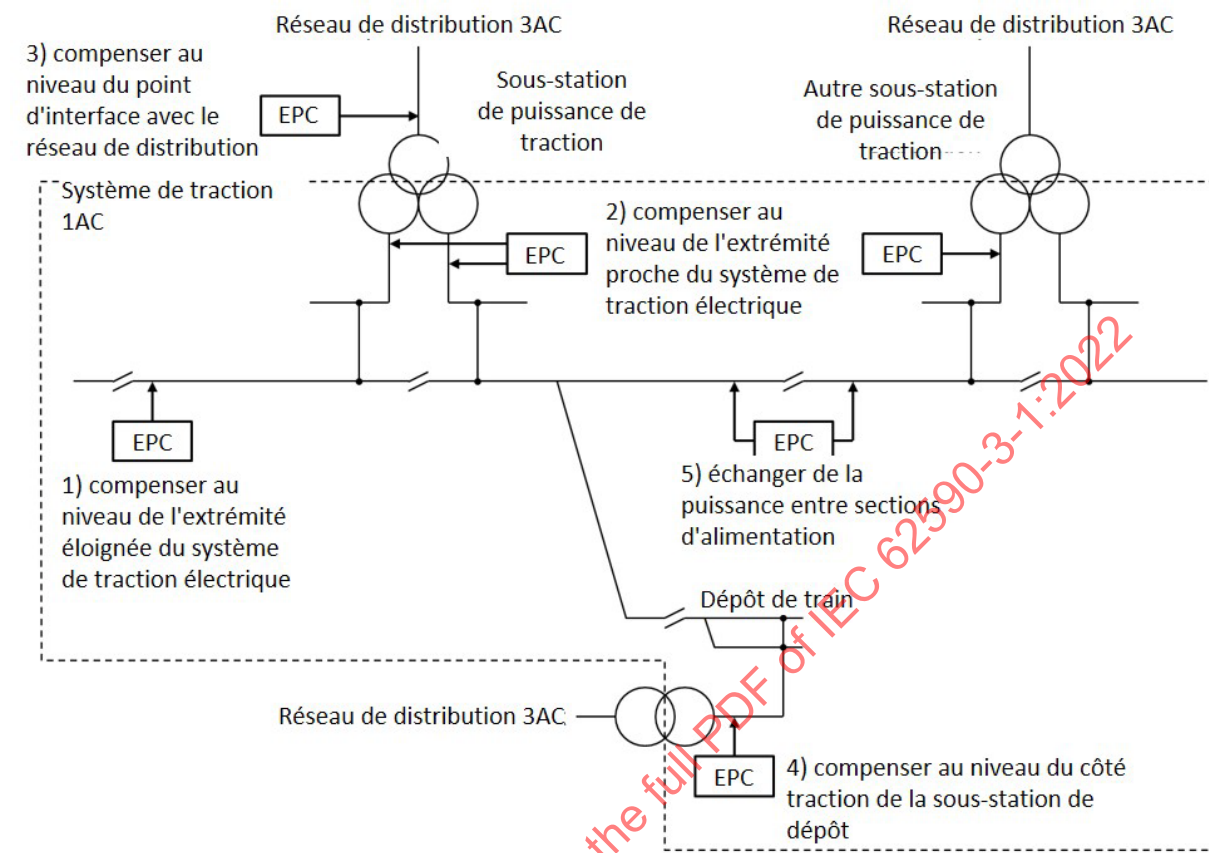


Figure 1 – Exemple de position possible pour l'installation électrique des compensateurs électroniques de puissance

Tableau 1 – Types de compensateurs électroniques de puissance couramment utilisés

Type de compensation	Position d'installation électrique	Objectif et fonction	Stratégie de commande	Type de capacité assignée	Exemple d'équipement	Paragraphe
Compensation monophasée par injection de puissance réactive dans un système de traction 1AC	• extrémité éloignée ou intermédiaire d'un système de traction 1AC	• compensation des chutes de tension	• commande de tension alternative	• puissance réactive, en MVar	CER	4.2.2
	• extrémité proche d'un système de traction 1AC	• compensation du facteur de puissance	• commande de puissance réactive	• puissance réactive, en MVar	CER	4.2.3
Compensation multiphasée par coordination de la puissance active et/ou réactive du côté système de traction 1AC d'un transformateur de traction	• extrémité proche d'un système de traction 1AC	• compensation des déséquilibres en triphasé • compensation des chutes de tension en triphasé • compensation du facteur de puissance	• commande de puissance active • commande de puissance réactive • commande de tension alternative	• puissance apparente, en MVA	RPC	4.3.2
	• extrémité éloignée d'un système de traction 1AC	• économies d'énergie • compensation des chutes de tension • charge de pointe • stabilisation de tension	• commande de puissance active	• puissance apparente, en MVA	RPC	4.3.2.4
application sur le réseau de distribution 3AC (Compensation multiphasée par coordination de la puissance active et/ou réactive du côté réseau de distribution 3AC d'un transformateur de traction)	• extrémité proche d'un système de traction 1AC	• compensation des déséquilibres en triphasé • compensation des chutes de tension en triphasé • compensation du facteur de puissance	• commande de composante inverse • commande de puissance réactive • commande de tension alternative	• puissance réactive, en MVar ^a	STATCOM SVG	4.3.3 4.3.4
	• côté réseau de distribution 3AC d'un transformateur de traction	• compensation des déséquilibres en triphasé • compensation des chutes de tension en triphasé • compensation du facteur de puissance	• commande de composante inverse • commande de puissance réactive • commande de tension alternative • commande de puissance active	• puissance apparente, en MVA	STATCOM SVG	4.4
^a Dans certains pays la puissance réactive est indiquée par la puissance apparente en MVA.						

NOTE Tous les types de compensateurs énumérés ci-dessus peuvent être utilisés pour la compensation harmonique ainsi que pour les économies d'énergie.

4.2 Équipement monophasé qui injecte de la puissance réactive dans un système de traction 1AC

4.2.1 Généralités

Il existe deux objectifs différents qui se traduisent par des points différents pour l'utilisation d'un équipement monophasé injectant de la puissance réactive dans un système de traction 1AC (voir 4.2.2 et 4.2.3).

Il existe une vaste gamme de configurations possibles pour ce type d'équipement. Les convertisseurs autocommutés constituent l'état de l'art actuel, mais des systèmes plus anciens sont encore utilisés. Ces systèmes peuvent combiner l'électronique de puissance à des composants passifs, tels que dans l'inductance TCR.

4.2.2 Équipement installé sur l'extrémité éloignée ou intermédiaire d'un système de traction 1AC

4.2.2.1 Objectif et fonction

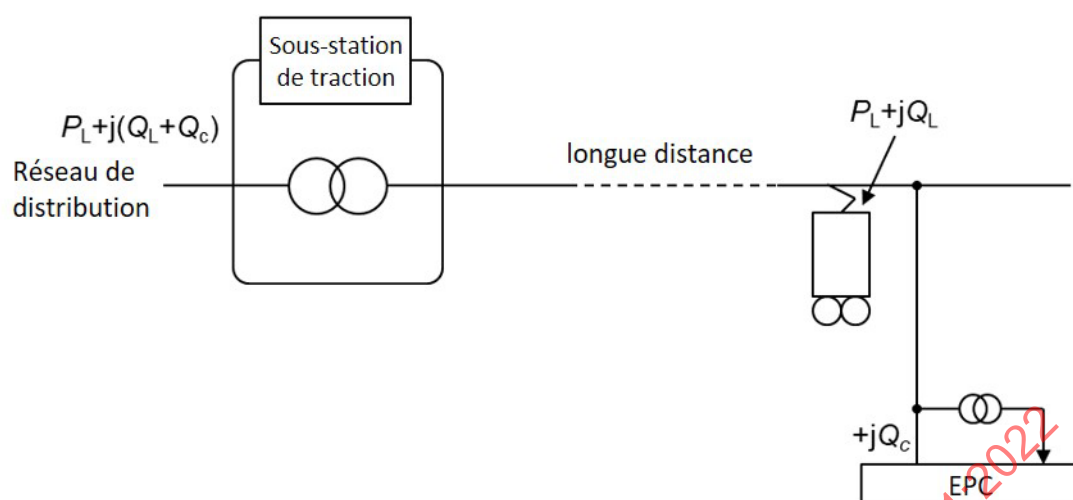
L'objectif de ce type d'équipement est de stabiliser la tension en des points éloignés de la sous-station. Une tension d'alimentation plus stable améliore les performances opérationnelles des véhicules de traction alimentés par le système de traction 1AC. Le compensateur statique d'énergie réactive (CER) est un exemple de ce type d'équipement. Voir Figure 2.

4.2.2.2 Configuration et interface

Cet équipement est constitué de composants qui régulent la puissance réactive et est généralement connecté à un système de traction à l'extrémité d'une section d'alimentation.

4.2.2.3 Stratégie de commande

L'équipement sert de charge capacitive ou inductive selon que la tension mesurée en ce point est supérieure ou inférieure aux critères définis.



Légende

P_L puissance active d'une section d'alimentation

Q_L puissance réactive d'une section d'alimentation

Q_c puissance réactive consommée par le compensateur EPC (une représentation conventionnelle de type charge est utilisée. Généralement, $Q_c < 0$ pour cette application)

NOTE Dans un souci de simplification, les pertes de puissance active et la puissance réactive induites par le système de traction électrique ne sont pas prises en compte.

Figure 2 – Équipement monophasé installé sur l'extrémité éloignée ou intermédiaire d'un système de traction 1AC

NOTE Le symbole « j » utilisé sur toutes les figures du présent document est une unité imaginaire.

4.2.3 Équipement installé sur l'extrémité proche d'un système de traction 1AC

4.2.3.1 Objectif et fonction

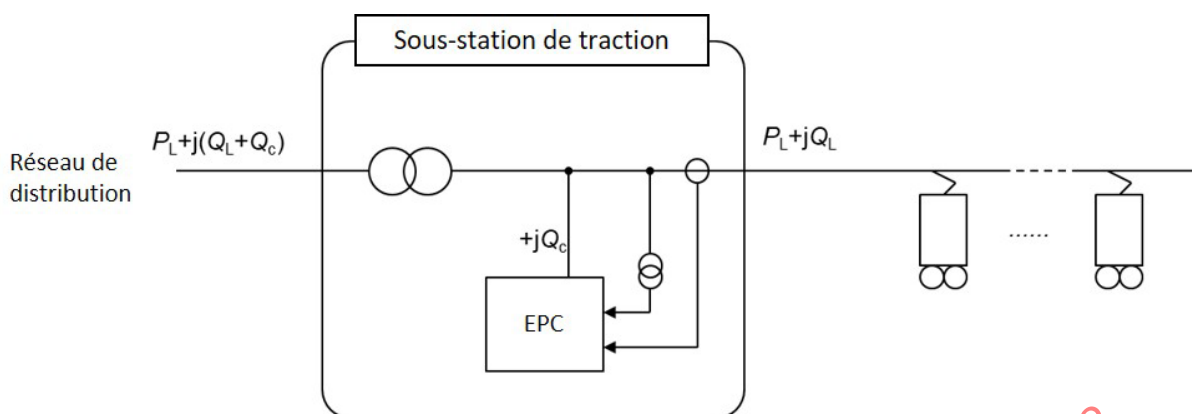
L'objectif de ce type d'équipement est d'améliorer le facteur de puissance du côté réseau de distribution électrique. Le compensateur statique d'énergie réactive (CER) est un exemple de ce type d'équipement. Voir Figure 3.

4.2.3.2 Configuration et interfaces

Cet équipement est constitué de composants qui régulent la puissance réactive et est généralement connecté à un système de traction dans la sous-station.

4.2.3.3 Stratégie de commande

La valeur de l'élément de réactance est commandée par le convertisseur comme une charge capacitive ou inductive afin d'annuler tout ou partie de la puissance réactive Q_L obtenue dans le système de traction 1AC.



Légende

P_L puissance active d'une section d'alimentation

Q_L puissance réactive d'une section d'alimentation

Q_c puissance réactive consommée par le compensateur EPC (une représentation conventionnelle de type charge est utilisée. Généralement, $Q_c < 0$ pour cette application)

Figure 3 – Équipement monophasé installé sur l'extrémité proche d'un système de traction 1AC

4.3 Équipement multiphasé connecté au côté système de traction 1AC

4.3.1 Généralités

Les équipements installés dans plusieurs phases du système de traction 1AC sont classés par types (voir 4.3.2 et 4.3.3).

4.3.2 Équipement qui échange de la puissance active entre une paire de circuits 1AC différents et/ou qui injecte de la puissance réactive dans les circuits 1AC

4.3.2.1 Objectif et fonction

L'objectif de ce type d'équipement est d'améliorer les déséquilibres et/ou d'atténuer les fluctuations de tension dans le réseau de distribution 3AC par une commande de puissance active et réactive. Ce type d'équipement est appelé RPC.

4.3.2.2 Configuration et interfaces

Un RPC est constitué d'un ensemble de convertisseurs qui sont respectivement connectés en parallèle à différents circuits 1AC. Ces circuits 1AC peuvent être:

- l'une des sections du système de traction 1AC ;
- l'une des phases du côté traction du transformateur de traction (voir NOTE en 4.3.2.3).

La totalité de l'équipement peut être installée au niveau de l'extrémité proche de la section, généralement dans la sous-station, ainsi qu'au niveau de l'extrémité éloignée, par exemple dans le poste de sectionnement.

4.3.2.3 Stratégie de commande d'un RPC installé au niveau de la sous-station de puissance de traction

Le RPC de la sous-station échange de la puissance active entre différents circuits 1AC auxquels sont connectés les convertisseurs du RPC. Il injecte également de la puissance réactive dans un ou plusieurs de ces circuits 1AC.

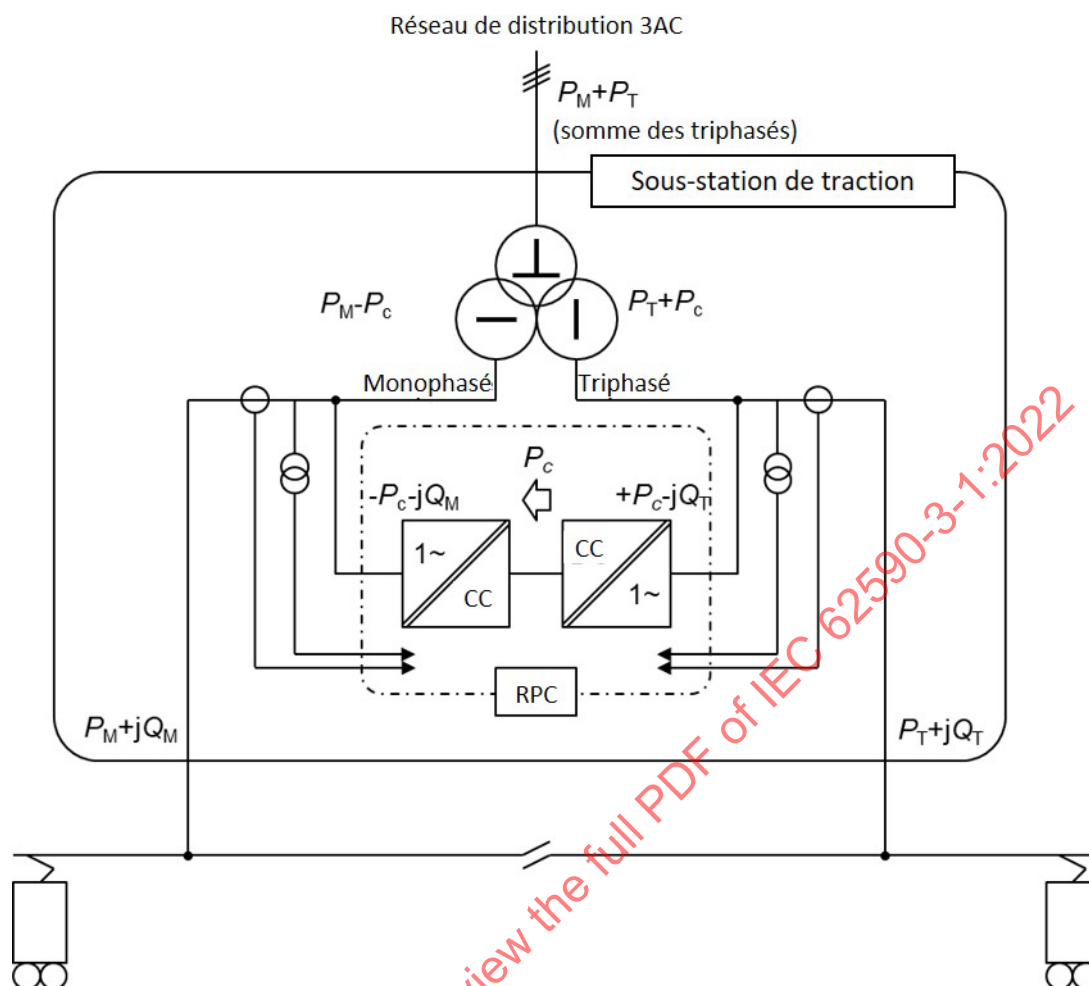
Lorsqu'une conversion triphasée en diphasée avec des circuits 1AC orthogonaux est utilisée, un RPC est applicable. Les transformateurs destinés à cet usage sont définis dans l'Article 10 de l'IEC 62695:2014, un transformateur à montage Scott par exemple. La charge 3AC peut être rendue symétrique si les deux charges 1AC sont égales. Pour ce faire, la moitié de la différence de la puissance active P_c des circuits 1AC est échangée. Voir Figure 4.

Selon la capacité de l'équipement, l'amélioration des déséquilibres et/ou l'atténuation des fluctuations de tension du côté réseau de distribution 3AC peut être assurée en compensant la puissance réactive de chaque phase Q_M , Q_T selon la même méthode décrite en 4.2.

NOTE 1 Conformément à la condition de fonctionnement du système de traction 1AC, certains RPC sont mis en œuvre afin de réduire la tension à l'extrémité ou à une position intermédiaire du système de traction 1AC, par injection de puissance réactive exactement comme pour les CER.

NOTE 2 Lorsque la charge d'une sous-station implique une seule section d'alimentation (une sous-station dédiée à un dépôt de matériel roulant par exemple), l'un des deux circuits 1AC orthogonaux peut être utilisé. Dans ce cas, le côté 3AC est équilibré en échangeant de la puissance active entre les phases par l'intermédiaire d'un RPC connecté à chaque phase du côté traction de la Figure 1 (voir 4).

Un RPC peut également échanger de la puissance active entre deux phases dont la différence d'angle de phase est de 60° ou 120° . L'équilibre côté 3AC est amélioré dans ce cas, mais un équilibrage total est assuré uniquement si une mesure supplémentaire est prise pour la transmission de puissance active de la phase restante vers les deux autres phases.



Légende

- P_M, P_T puissance active totale d'une section d'alimentation sur le monophasé et le triphasé respectivement
- Q_M, Q_T puissance réactive totale d'une section d'alimentation sur le monophasé et le triphasé respectivement
- P_c puissance active transférée du triphasé au monophasé pour abaisser la composante inverse du côté triphasé

NOTE La liaison à tension continue dans un RPC est un exemple de transfert de puissance active entre deux phases. D'autres solutions peuvent être utilisées.

Figure 4 – Équipement qui échange de la puissance active entre une paire de circuits 1AC orthogonaux et/ou qui injecte de la puissance réactive dans des circuits 1AC

NOTE Dans un souci de simplification, il est admis par hypothèse que chaque compensateur électronique de puissance présente une capacité de compensation suffisante pour compenser totalement la puissance réactive et/ou éliminer les déséquilibres de tension/courant côté 3AC selon la condition idéale représentée sur les figures du 4.2 au 4.4. En réalité, une compensation est généralement effectuée du mieux possible dans la mesure où la capacité du compensateur électronique de puissance est limitée.

4.3.2.4 Stratégie de commande d'un RPC installé au niveau des extrémités éloignées de deux sections d'alimentation différentes

L'énergie récupérée lors du freinage des véhicules de traction est consommée par les autres véhicules de traction alimentés par la même section du système de traction 1AC. Lorsque l'énergie appelée par les autres véhicules de traction est inférieure à l'énergie régénérée, l'énergie excédentaire est réinjectée dans le réseau de distribution 3AC par le biais du transformateur de traction, mais parfois sans être mesurée ni chargée.

Un RPC connecte en termes de transit de puissance deux circuits 1AC qui possèdent des sources d'énergie différentes. Autrement dit, l'équipement peut échanger de la puissance active entre deux sections du système de traction 1AC alimentées par des sous-stations adjacentes au niveau de leur extrémité éloignée. Cela permet à l'énergie récupérée excédentaire d'une section d'être transmise et consommée par l'autre section. Cela permet également d'améliorer la stabilité de tension et de réduire les pertes de distribution.

L'équipement est installé au niveau de l'extrémité éloignée du système de traction 1AC, généralement dans le poste de sectionnement. Le convertisseur connecte deux section d'alimentation au système de traction 1AC alimentée par des sous-stations de traction différentes avec éventuellement une différence de phase. De manière générale, chacun des deux convertisseurs du RPC est connecté à chaque section du système de traction 1AC alimentée par des sous-stations de traction différentes avec éventuellement une différence de phase. Voir 5) de la Figure 1.

La stratégie de commande de ce type de RPC est différente de celle décrite en 4.3.2.3. Le RPC fonctionne en conjonction avec deux sous-stations de traction des deux côtés. Un échange d'information entre le RPC et ces sous-stations peut être nécessaire pour commander l'équipement correctement.

4.3.3 Application du principe de Steinmetz

4.3.3.1 Objectif et fonction

L'objectif de ce type d'équipement est d'améliorer les déséquilibres et/ou d'atténuer les fluctuations de tension dans le réseau de distribution 3AC par une commande de puissance réactive. Le compensateur synchrone statique (STATCOM) est un exemple de ce type d'équipement. Voir Figure 5.

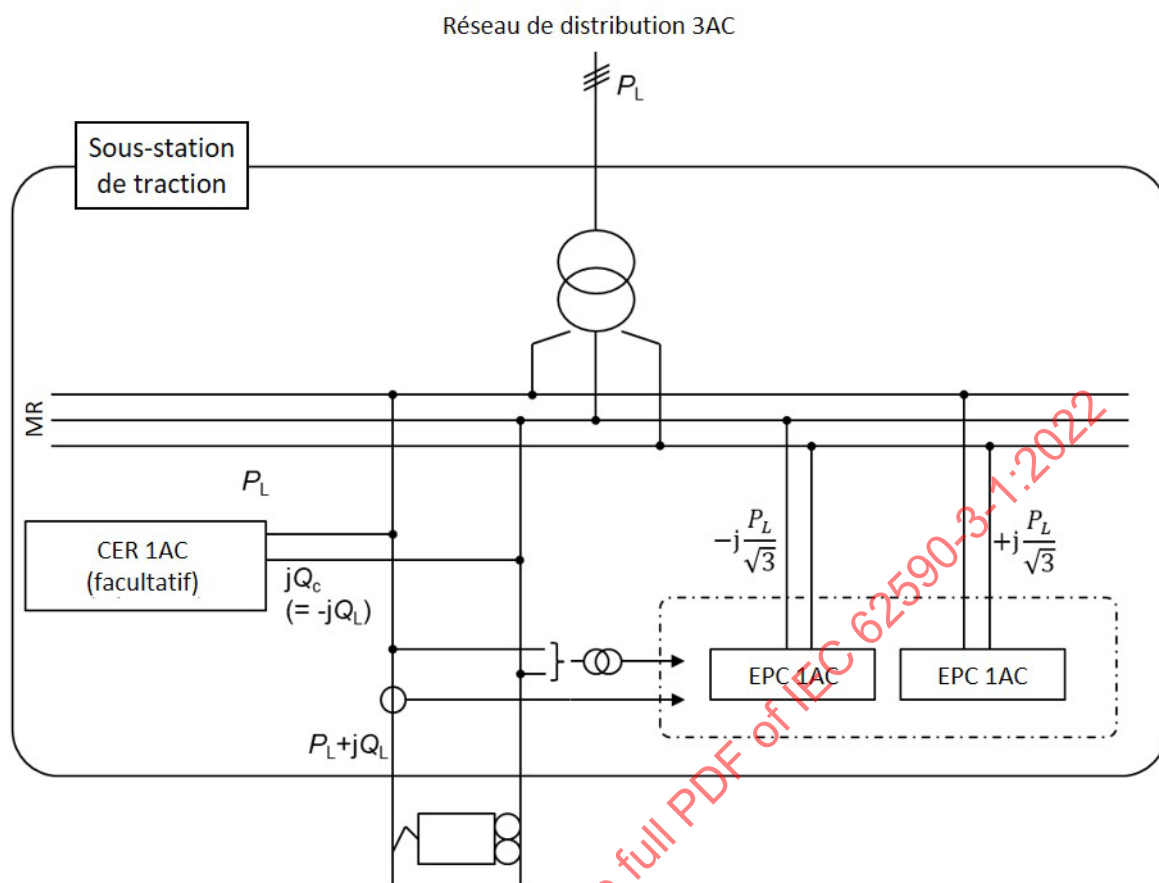
4.3.3.2 Configuration et interfaces

Deux ensembles de compensateurs CER monophasés tels que décrits en 4.2.1 sont insérés dans chaque paire de phases autres que celle connectée au système de traction 1AC.

Un compensateur CER monophasé (à commutation par le réseau ou à autocommutation) peut être associé à une ou plusieurs phases en conditions de circulation ferroviaire afin d'améliorer le facteur de puissance au point de réception de la puissance en compensant la puissance réactive des véhicules de traction qui comportent des chaînes de traction à faible facteur de puissance.

4.3.3.3 Stratégie de commande

Deux ensembles de compensateurs CER monophasés sont commandés de manière totalement asymétrique comme un seul groupe de sorte que le côté réseau de distribution 3AC est chargé avec le courant équilibré.



Légende

P_L puissance active totale d'une section d'alimentation

Q_L puissance réactive totale d'une section d'alimentation

Q_c puissance réactive consommée par le compensateur CER monophasé (une représentation conventionnelle de type charge est utilisée. Généralement, $Q_c < 0$ pour cette application)

NOTE 1 « EPC 1AC » représente un compensateur CER, STATCOM ou SVG.

NOTE 2 L'un des EPC fonctionne de manière capacitive, et l'autre fonctionne de manière inductive.

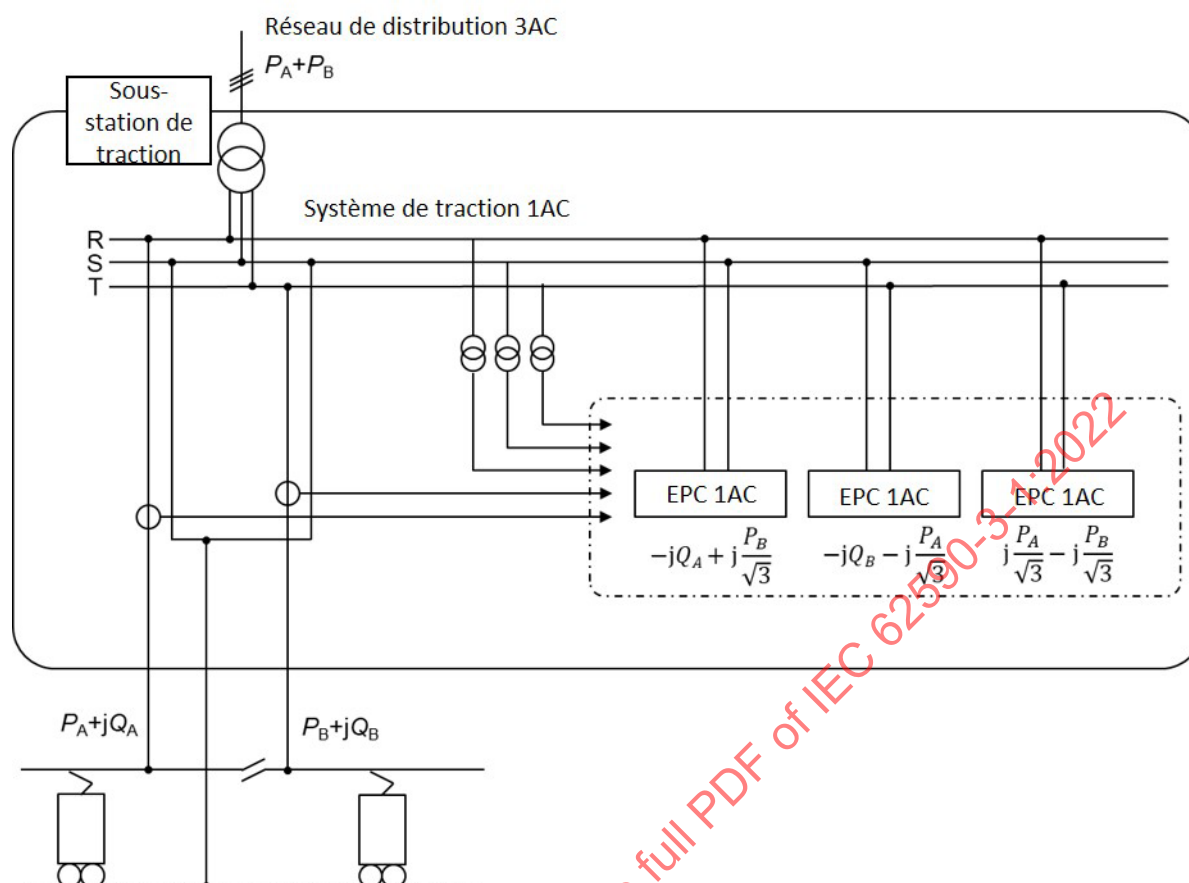
Figure 5 – Application du principe de Steinmetz

4.3.4 Équipement connecté au côté traction du transformateur à montage en V

Le montage en V est une méthode conventionnelle de réduction des déséquilibres. Deux sections d'un système de traction 1AC sont connectées entre différentes paires de phases du réseau de distribution 3AC. Cela peut être réalisé par un transformateur en V spécifique, un transformateur triphasé, ou deux transformateurs monophasés.

Le déséquilibre restant peut encore être réduit en appliquant le principe de Steinmetz. Trois compensateurs CER monophasés à commande indépendante injectent de la puissance réactive dans le réseau de distribution 3AC. Voir Figure 6

La description fournie en 4.3.3 peut être utilisée avec le principe de superposition de deux charges et leur compensation nécessaire. La superposition provoque une extinction partielle de la puissance de compensation nécessaire. Les trois compensateurs CER monophasés peuvent être combinés en une seule unité, mais nécessitent une commande indépendante.



Légende

P_A, P_B puissance active des sections d'alimentation A et B

Q_A, Q_B puissance réactive des sections d'alimentation A et B (une représentation conventionnelle de type charge est utilisée)

Figure 6 – Équipement connecté au côté traction du transformateur de traction à montage en V

4.4 Application sur le réseau de distribution 3AC

4.4.1 Généralités

Les déséquilibres en triphasé peuvent également être réduits en installant l'équipement du côté réseau de distribution 3AC d'un transformateur de traction (voir 4.4.2). L'équipement utilisé à cette fin peut être similaire à celui décrit en 4.3.3, mais la position d'installation électrique est différente. Voir Figure 7.

4.4.2 Équipement connecté au côté réseau de distribution 3AC d'un transformateur de traction

4.4.2.1 Objectif et fonction

Les déséquilibres en triphasé sont exprimés sous la forme de la composante inverse. L'objectif de ce type d'équipement est de réduire les déséquilibres en triphasé de la charge perçue du côté 3AC de la sous-station de traction en utilisant un dispositif d'équilibrage du côté réseau de distribution 3AC d'un transformateur de traction (groupe). Cette solution peut être appliquée à tout type de système de traction 1AC, y compris à un système à montage Scott et à un système à montage en V.

4.4.2.2 Configuration et interfaces

La configuration du système de traction 1AC cible peut être de différents types.

L'équipement est installé côté réseau de distribution 3AC du transformateur de traction. Il existe plusieurs configurations d'équipements et méthodes de connexion aux phases possibles. Par exemple:

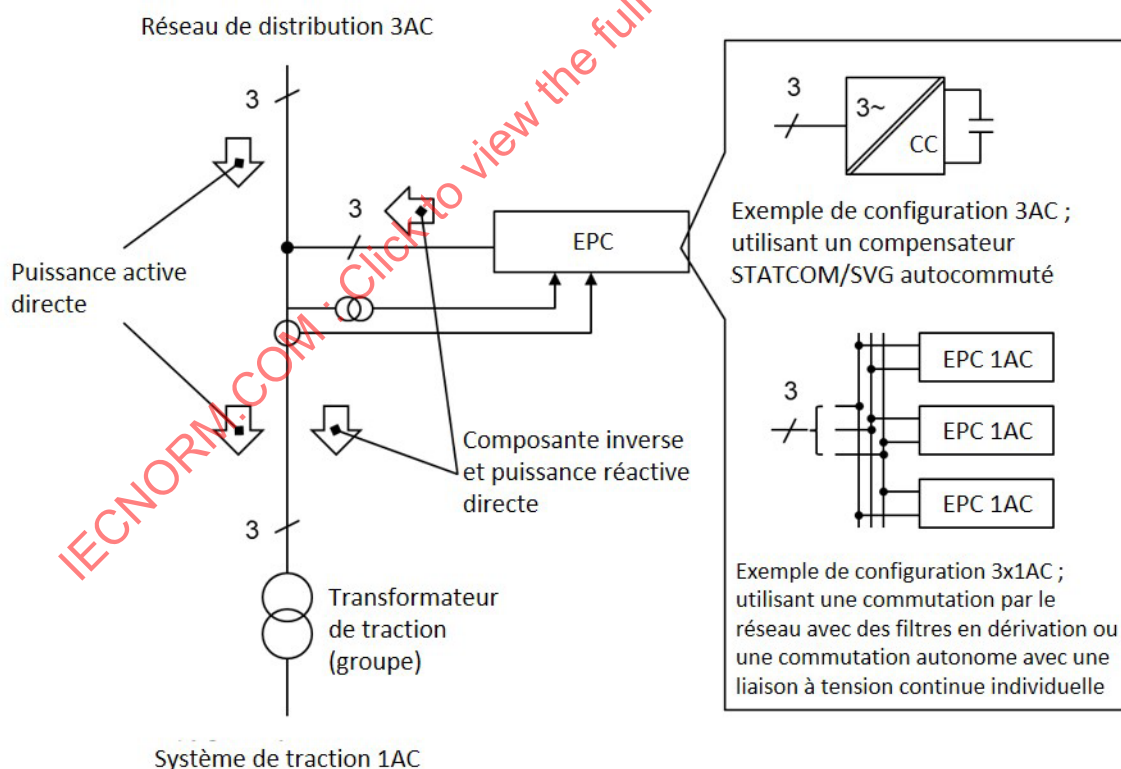
- compensateur STATCOM triphasé ou compensateur SVG triphasé ;
- trois ensembles de compensateurs CER monophasés entre chaque paire de phases.

4.4.2.3 Stratégie de commande

Ce type d'équipement symétrise une charge perçue du côté du réseau de distribution 3AC du transformateur de traction en injectant de manière asymétrique de la puissance réactive dans chaque paire de phases, ou en échangeant de la puissance active entre les phases. L'équipement compense également la puissance réactive lorsqu'il présente une capacité suffisante.

Cet équipement peut équilibrer le courant de charge. Différents algorithmes sont nécessaires pour chacune de ces tâches.

L'équipement appliqué à cette fin est commandé de manière asymétrique contrairement aux équipements généralement utilisés pour le réseau de distribution 3AC même si l'équipement utilisé est similaire.



NOTE « EPC 1AC » représente un compensateur CER, STATCOM ou SVG.

Figure 7 – Équipement qui réduit les déséquilibres côté réseau de distribution 3AC d'un transformateur de traction

4.4.2.4 Équipement qui réduit les déséquilibres générés dans plusieurs sous-stations de traction de manière générale

Dans certains systèmes de traction 1AC, une sous-station de réception-transport reçoit la puissance du réseau de distribution 3AC et la distribue à un groupe de sous-stations de traction par l'intermédiaire de lignes de transmission ferroviaires dédiées.

Dans de tels cas, par extension du concept décrit dans d'autres parties du 4.4, les déséquilibres générés dans plusieurs sous-stations de traction peuvent être réduits de manière générale au niveau de la sous-station de réception-transport. L'équipement utilisé à cette fin compense de manière asymétrique la puissance réactive et échange de la puissance active entre les phases de la ligne de transmission. Voir Figure 8.

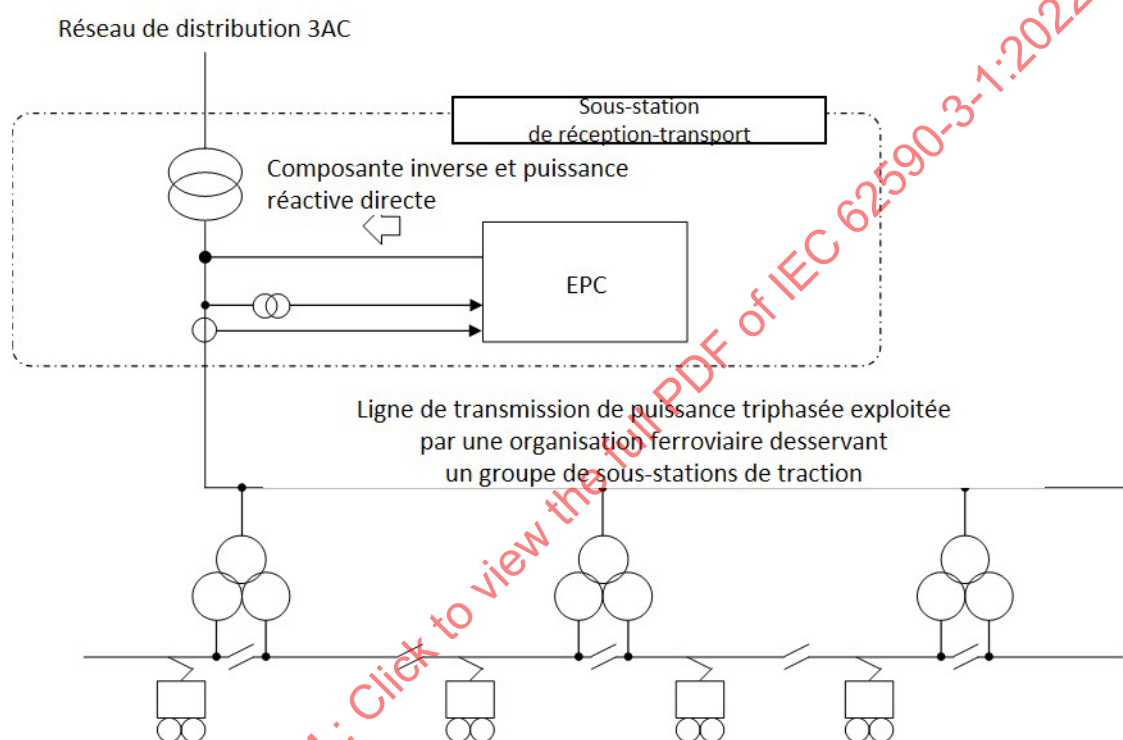


Figure 8 – Équipement qui réduit les déséquilibres générés dans plusieurs sous-stations de traction de manière globale

5 Conception et installation

5.1 Généralités

La conception d'un compensateur électronique de puissance est généralement développée selon le processus suivant:

- étude des critères de qualité de l'électricité ;
- étude de la condition du réseau de distribution 3AC ;
- définition des exigences de charge de traction ;
- estimation de la qualité de l'électricité sans mesure corrective ;
- choix des mesures correctives ;
- évaluation du compensateur électronique de puissance ;
- spécification du compensateur électronique de puissance.

Ce processus de conception est nécessaire pour répondre à l'objectif de l'installation ; il est décrit d'un point de vue purement technique. L'entité responsable de l'intégration du système de traction électrique avec un compensateur électrique de puissance peut être différente selon le projet considéré. De ce fait, l'attribution effective des rôles entre les parties prenantes du processus décrit à l'Article 5 ne relève pas du domaine d'application du présent document. Les parties prenantes possibles sont:

- h) les exploitants ferroviaires ;
- i) les gestionnaires d'infrastructures ferroviaires ;
- j) les intégrateurs système ;
- k) les constructeurs ;
- l) les exploitants de réseau de distribution 3AC.

5.2 Étude des critères de qualité de l'électricité

Les critères de qualité de l'électricité dans les systèmes de traction en courant alternatif doivent satisfaire aux critères spécifiés dans l'IEC 60850 et l'IEC 62313. Les conditions nationales particulières doivent prévaloir sur les autres conditions, le cas échéant.

Lorsqu'un gestionnaire d'infrastructure est approvisionné en courant alternatif triphasé (3AC) ou monophasé (1AC) par une société de distribution d'électricité, les conditions nationales particulières et/ou les exigences spécifiées par les sociétés de distribution d'électricité doivent prévaloir, le cas échéant.

L'Annexe C fournit des exemples de critères de qualité de l'électricité.

5.3 étude de la condition du réseau de distribution 3AC

La condition qui est inhérente au réseau de distribution 3AC à connecter à la sous-station de traction pour la section d'alimentation cible et qui peut avoir un impact sur la qualité de l'électricité, doit être spécifiée. La puissance de court-circuit et l'impédance harmonique du réseau de distribution électrique sont deux des paramètres importants à prendre en considération.

La condition pour estimer la valeur de puissance de court-circuit à choisir doit être déterminée en fonction des critères à remplir, qui sont spécifiés lors de l'étude décrite en 5.2.

En général, la valeur minimale est nécessaire pour estimer la qualité de l'électricité et la valeur maximale est nécessaire pour spécifier les exigences de résistance de l'équipement aux courts-circuits. Les valeurs suivantes du réseau de distribution 3AC doivent être déterminées:

- puissance de court-circuit minimale ;
- puissance de court-circuit maximale ;
- impédance harmonique pour les configurations de réseau pertinentes.

5.4 Définition des exigences de charge de traction

La valeur maximale et/ou la plage de variation de la puissance active et de la puissance réactive attendues dans la section du système de traction en courant alternatif où sera installé l'équipement doivent être définies. Une étude plus approfondie peut être réalisée après accord entre l'utilisateur et le constructeur.

Lorsque l'équipement est installé sur une ligne existante, les mesures réalisées sur le système de traction en courant alternatif peuvent être utilisées en tout ou partie pour estimer la charge.

5.5 Estimation de la qualité de l'électricité sans mesure corrective

5.5.1 Généralités

L'ampleur de la détérioration de la qualité de l'électricité dans le système de traction en courant alternatif cible et/ou le réseau de distribution 3AC doit être estimée conformément à la charge et à la condition de la source d'énergie estimées en 5.3 et 5.4.

Lorsque l'équipement est installé sur une ligne existante, les mesures réalisées sur le système de traction en courant alternatif cible et/ou le réseau de distribution 3AC peuvent être utilisées en tout ou partie pour estimer la charge.

5.5.2 Calcul de la chute de tension dans un système de traction 1AC

La chute de tension dans un système de traction 1AC peut être calculée selon la méthode décrite à l'Annexe A.

5.5.3 Calcul des déséquilibres en triphasé au niveau de l'interface avec le réseau de distribution 3AC

Les déséquilibres en triphasé au niveau de l'interface avec un réseau de distribution 3AC peuvent être calculés à l'aide de la méthode décrite à l'Annexe B. La description fournie à l'Article 10 de l'IEC 62695:2014 peut être prise en référence. Les conditions nationales particulières doivent prévaloir, le cas échéant.

5.5.4 Calcul du facteur de puissance au niveau de l'interface avec le réseau de distribution 3AC

Le facteur de puissance est calculé comme le rapport de la valeur absolue de la puissance active sur la puissance apparente estimée au niveau de l'interface avec le réseau de distribution 3AC.

Lorsque des déséquilibres en triphasé sont attendus en raison, par exemple, d'une grande impédance en amont, il convient de calculer le facteur de puissance du côté 3AC avec les formules exactes en tenant compte de l'effet détaillé du déséquilibre triphasé. Voir le Tableau B.1. Dans le cas d'une charge fluctuante, il convient de calculer le facteur de puissance en utilisant l'intégrale de la puissance active et de la puissance apparente sur la durée spécifiée, en prenant en compte le flux de puissance instantané. Il convient que le calcul du facteur de puissance au point de couplage commun soit conforme au contrat d'achat d'énergie électrique entre le gestionnaire de l'infrastructure ferroviaire et la société de distribution d'électricité correspondante. La définition de cette durée peut être réalisée dans le cadre de l'étape décrite en 5.2.

L'utilisateur et le constructeur doivent fixer par accord une définition plus approfondie du facteur de puissance et de sa méthode de mesure pour les besoins du 5.5. À cette fin, l'IEC 61000-4-30 peut être utilisée à titre de recommandation.

5.6 Choix des mesures correctives

Lorsque l'ampleur de la détérioration de la qualité de l'électricité estimée en 5.5 dépasse la plage admissible déterminée en 5.2, une solution doit être choisie. Les mesures suivantes doivent être prises en compte:

- a) solution consistant à installer un compensateur électronique de puissance ;
- b) solution consistant à renforcer les infrastructures de la source d'énergie telles que les centrales de production ou les lignes de transmission ;
- c) solution consistant à coordonner la capacité de transport de la ligne ferroviaire concernée.

Si plusieurs solutions sont possibles, il convient de procéder à une comparaison économique.

5.7 Évaluation du compensateur électronique de puissance

Si la solution consistant à installer un compensateur électronique de puissance est retenue en 5.6, les exigences pour maintenir la qualité de l'électricité dans la plage admissible doivent être définies. La méthode de compensation la plus appropriée doit être choisie selon l'Article 4. La puissance de compensation exigée doit être déterminée pour la méthode de compensation retenue. La stratégie de compensation doit être décidée à l'avance sur la base des éléments suivants:

- a) compensation totale de la qualité de l'électricité ;
- b) compensation minimale nécessaire pour maintenir la qualité de l'électricité dans la plage admissible ;
- c) compensation partielle.

L'utilisateur et le constructeur doivent fixer par accord la stratégie concernant la puissance de compensation exigée lorsqu'il est nécessaire d'arrêter partiellement l'équipement pour les besoins de la maintenance, le cas échéant.

Une compensation totale n'est pas toujours nécessaire, mais peut avoir une incidence contractuelle pour l'utilisateur et l'exploitant du réseau de distribution 3AC.

5.8 Spécification du compensateur électronique de puissance

5.8.1 Généralités

Un compensateur électronique de puissance doit être conçu conformément à la méthode et à la puissance de compensation exigée, déterminées en 5.7. Une coordination avec d'autres systèmes doit être envisagée lors de la conception.

5.8.2 Coordination avec les autres systèmes

Les harmoniques produits par l'équipement d'un compensateur électronique de puissance ne doivent pas compromettre les performances des autres systèmes, en particulier les systèmes de signalisation et/ou de communication.

Les effets des harmoniques doivent être évalués par une méthode (simulation ou calcul par exemple) fixée par accord entre l'utilisateur et le constructeur.

L'utilisateur doit indiquer les plages de fréquences susceptibles de compromettre les performances des systèmes de signalisation et/ou de communication.

L'utilisateur doit fournir les courbes d'impédance harmonique pertinentes pour permettre de calculer les courants harmoniques et de dimensionner les filtres correctement, si nécessaire. S'il est nécessaire de mesurer les courbes d'impédance harmonique sur le système de traction existant ou de calculer les courbes pour le nouveau système de traction à construire, l'utilisateur et le constructeur doivent fixer par accord la méthode à utiliser.

Les effets des harmoniques se propageant depuis l'extérieur du compensateur électronique de puissance, par exemple une prédistorsion dans le réseau de distribution 3AC ou la source d'harmoniques dans le système de traction 1AC, doivent également être pris en compte, afin de rendre l'équipement résistant à ces harmoniques.

6 Exigences de performances

6.1 Généralités

6.1.1 Caractéristiques assignées

6.1.1.1 Généralités

Les valeurs assignées du compensateur électronique de puissance sont les valeurs déterminées lors de la conception du système décrite dans l'Article 5 de manière à ce que l'équipement puisse délivrer la puissance sans dépasser les valeurs limites spécifiées, notamment celles des pièces utilisées, ni provoquer de dommage lorsque l'équipement est mis en œuvre dans les conditions de fonctionnement spécifiées.

Différentes valeurs assignées sont nécessaires pour assurer le fonctionnement prévu. Les conditions limites de chaque valeur doivent être fixées par accord entre l'utilisateur et le constructeur.

6.1.1.2 Exigences de charge

Les exigences de charge doivent satisfaire au 6.4.3 de l'IEC 60146-1-1:2009.

Lorsque d'autres valeurs sont choisies, le cycle de service (voir 151-16-02 de l'IEC 60050-151:2001) exigé pour le fonctionnement doit être spécifié par accord entre l'utilisateur et le constructeur.

6.1.1.3 Capacité assignée

La capacité assignée doit être la valeur maximale de la capacité du compensateur dans les conditions normales de fonctionnement et doit être fixée par accord entre l'utilisateur et le constructeur. Le Tableau 1 fournit des exemples de capacité assignée.

EXEMPLE Dans le cas d'un RPC associé à un transformateur de conversion de triphasé en diphasé comme décrit en 4.3.2, la valeur maximale de la puissance apparente (et non de la puissance active) qui peut être échangée sur chaque connexion entre le convertisseur et le système de traction 1AC peut être définie comme la capacité assignée.

6.1.1.4 Tension assignée

La tension assignée doit être la tension nominale du système dans les conditions de fonctionnement spécifiées et doit être fixée par accord entre l'utilisateur et le constructeur.

NOTE Dans certains cas, la tension de fonctionnement normale est différente de la tension nominale. Par exemple, la tension de fonctionnement normale fixée est parfois supérieure à la tension nominale afin de réduire les pertes de transmission sur la ligne.

EXEMPLE Dans le cas d'un RPC, la tension U_n (spécifiée dans l'IEC 60850) du système de traction électrique auquel est connecté l'équipement peut être définie comme la tension assignée.

6.1.1.5 Courant assigné

Le courant assigné doit être la valeur maximale du courant du système dans les conditions normales de fonctionnement et doit être fixé par accord entre l'utilisateur et le constructeur.

Le courant maximal qui peut circuler en continu à la tension assignée du système de traction électrique ou à la tension d'alimentation de traction spécifiée peut être défini comme le courant assigné.

6.1.1.6 Fréquence assignée

La fréquence assignée doit être la fréquence nominale du système dans les conditions normales de fonctionnement et doit être fixée par accord entre l'utilisateur et le constructeur.

EXEMPLE Dans le cas d'un RPC, la fréquence (spécifiée dans l'IEC 60850) du système de traction électrique auquel est connecté l'équipement peut être définie comme la fréquence assignée.

6.1.2 Nombre de phases connectées

Le nombre de phases qui sont connectées au compensateur électronique de puissance doit être spécifié.

6.1.3 Échauffement

La température de chaque dispositif à semiconducteurs utilisé dans le convertisseur électronique de puissance ne doit pas dépasser la température maximale admissible spécifiée par le constructeur du dispositif à semiconducteurs. La limite de température supérieure admissible de tout accessoire ou équipement auxiliaire du convertisseur électronique de puissance doit être conforme aux normes applicables à l'équipement.

À partir de l'échauffement et des cycles de charge attendus, la durée de vie escomptée peut être calculée, en particulier pour les ensembles de valves à semiconducteurs.

6.1.4 Pertes et rendement

6.1.4.1 Généralités

Les valeurs relatives aux pertes doivent être indiquées pour l'ensemble de la plage de puissance de fonctionnement par paliers adéquats.

Le rendement de l'équipement est défini comme le rendement conventionnel qui est déterminé à partir des pertes totales mesurées ou calculées, sauf spécification contraire. Le rendement mesuré peut être utilisé si le mesurage peut être mené sans difficulté.

Dans le cas d'un équipement qui ne possède pas de flux réel de puissance active, tel que les compensateurs CER, il convient d'utiliser les pertes totales comme indicateur de la performance énergétique en lieu et place du rendement.

Le rendement conventionnel doit être calculé à l'aide de la formule suivante. Les pertes totales correspondent à la somme des pertes des convertisseurs, transformateurs et autres composants, déterminées respectivement:

$$\eta = \frac{P}{P + P_L} \times 100 (\%)$$

où

η est le rendement conventionnel ;

P est la capacité assignée de l'équipement ;

P_L représente les pertes totales conventionnelles.

6.1.4.2 Pertes assimilées

Les pertes suivantes doivent être prises en compte pour la détermination du rendement:

- les pertes internes dans l'ensemble de convertisseur telles que les pertes dans les valves, les fusibles, les diviseurs de tension, les équilibres de courant, les circuits d'amortissement et les absorbeurs de tension de choc ;
- les pertes dans les transformateurs de convertisseur, les transducteurs, les transformateurs interphases, les inductances de limitation et d'équilibrage du courant entre le transformateur et les ensembles de convertisseur ;

- c) les pertes dues aux connexions principales entre les transformateurs de convertisseur et les convertisseurs lorsque ceux-ci sont assemblés ensemble et fournis sous la forme d'une seule unité ;
- d) sauf spécification contraire, la puissance consommée par les auxiliaires tels que les ventilateurs ou les pompes connectés en permanence et par les relais ;
- e) les pertes dans les filtres passifs, seulement lorsque ceux-ci sont installés comme partie intégrante du compensateur ;
- f) la puissance consommée par le dispositif de commande.

NOTE La puissance consommée par les ventilateurs de refroidissement connectés en permanence qui ne fonctionnent que lorsque la température de l'équipement est supérieure au seuil spécifié et s'arrêtent lorsque la température redescend sous la valeur seuil, est prise en compte.

6.1.4.3 Pertes non assimilées

Les pertes suivantes ne doivent pas être prises en compte lors de la détermination du rendement, mais doivent être indiquées séparément sur demande de l'utilisateur :

- a) les pertes dues aux connexions principales entre les transformateurs de convertisseur et les convertisseurs lorsque ceux-ci sont fournis sous la forme d'unités distinctes ;
- b) les pertes dues aux connexions principales vers les disjoncteurs, les sectionneurs, les appareillages de connexion et la charge ;
- c) les pertes dans les disjoncteurs, les appareillages de connexion et les appareillages de commande autres que ceux indiqués en 6.1.4.2 ;
- d) les pertes dues au chauffage, à la ventilation du bâtiment et à l'approvisionnement en réfrigérant depuis l'extérieur ;
- e) les pertes dues aux appareils auxiliaires qui fonctionnent par intermittence.

NOTE Le fonctionnement des pompes de refroidissement afin d'empêcher que le fluide de refroidissement ne gèle lorsque la température ambiante est extrêmement basse, est assimilé à un fonctionnement intermittent.

6.2 Fonctions de commande et de protection

6.2.1 Séquences de lancement et d'arrêt

Les séquences de fonctionnement du compensateur électronique de puissance, pour un lancement et un arrêt du système, et en cas de défaillance du système, doivent être définies et mises en œuvre.

Les autres séquences de fonctionnement, telles que la séquence de commutation du mode de fonctionnement de l'équipement pour des sous-stations par exemple, doivent être définies par accord entre l'utilisateur et le constructeur.

6.2.2 Fonction de commande

La fonction de commande du compensateur électronique de puissance doit être adaptée pour répondre à l'objectif défini. Le Tableau 1 donne des exemples de fonctions de commande possibles.

Le détail de la fonction de commande doit être fixé par accord entre l'utilisateur et le constructeur.

NOTE Durant les phénomènes transitoires, tels qu'un courant d'appel, une modification temporaire du motif des manœuvres ou l'interruption temporaire d'une manœuvre notamment un blocage de gâchette pendant un bref intervalle de temps sont appliquées pour éviter une surintensité au niveau des dispositifs à semiconducteurs, le cas échéant. Il s'agit de l'une des fonctions de commande relevant du compensateur électronique de puissance.