

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Railway applications – Rolling stock – Electrical equipment in trolley buses –
Safety requirements and current collection systems**

**Applications ferroviaires – Matériel roulant – Équipements électriques des
trolleybus – Exigences de sécurité et systèmes de captage de courant**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63076:2019



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 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 Central Office
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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Railway applications – Rolling stock – Electrical equipment in trolley buses –
Safety requirements and current collection systems**

**Applications ferroviaires – Matériel roulant – Équipements électriques des
trolleybus – Exigences de sécurité et systèmes de captage de courant**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 45.060.01

ISBN 978-2-8322-7364-7

**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
1 Scope	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	9
4 Voltages and classification of the voltage bands	12
4.1 Voltages	12
4.1.1 General	12
4.1.2 Operating voltages	12
4.1.3 Insulation voltages and test voltages	12
4.1.4 Overvoltages	12
4.2 Classification of the voltage bands	13
5 Trolley bus construction	13
5.1 Protection and electrical safety criteria	13
5.1.1 Protection criteria against direct and indirect contacts	13
5.1.2 Steps, stanchions, handrails, slopes and access platforms	15
5.1.3 Doors and door handles	15
5.1.4 Cabling	15
5.1.5 Open door interlocking	16
5.1.6 Leakage current detector	16
5.1.7 Intermediate mass insulation detector	16
5.1.8 Capacitors	17
5.1.9 Equipotential connections	17
5.1.10 Electromagnetic compatibility (EMC)	17
5.1.11 Overvoltage protection	18
5.2 Electrical components in band III voltage	18
5.2.1 General information	18
5.2.2 Current collection system	18
5.2.3 Electric traction equipment	19
5.2.4 Power supply independent from overhead contact line	20
5.2.5 Auxiliary groups	21
5.2.6 Heating and ventilation systems	21
5.2.7 Cables	21
5.3 Electrical components in band II voltage	21
5.3.1 General information	21
5.3.2 Cables	22
5.3.3 Separation from other voltage band circuits	22
5.4 Electrical components in band I voltage	22
5.4.1 General information	22
5.4.2 Cables	22
5.4.3 Separation from other voltage band circuits	22
6 Checks and tests	22
6.1 General information	22
6.2 New trolley-buses	23
6.2.1 Design and construction verification	23
6.2.2 Separate source applied voltage tests on circuits and components fed at voltages of the band III from the overhead contact line	24

6.2.3	Separate source applied voltage tests on circuits and components fed at voltages of the band III insulated from the overhead contact line	24
6.2.4	Separate source applied voltage tests on circuits and components fed at voltages of the band II	25
6.2.5	Tests of the insulation of entrance areas	26
6.2.6	Insulation resistance values for circuits and components supplied at band III voltages from the line voltage	26
6.2.7	Insulation resistance tests for circuits and components supplied at the line voltage	26
6.2.8	Insulation resistance values for circuits and components supplied at band III voltages insulated from the line voltage	28
6.2.9	Insulation resistance tests for circuits and components supplied at band III voltages insulated from the line voltage	28
6.2.10	Insulation resistance values for circuits and components supplied at a voltage of band II	29
6.2.11	Insulation resistance tests for circuits and components supplied at a voltage of band II	29
6.3	Overhauled trolley-bus	29
6.3.1	Tests and verification of the electrical equipment	29
6.3.2	Measurements and value of the insulation resistance	29
6.3.3	Insulation resistance tests	29
6.3.4	Trolley bus after minor or maintenance repairs	30
6.4	On-duty trolley-bus (periodic checks)	30
6.4.1	Insulation decay and provisions required	30
6.4.2	Periodical checks and tests of the insulation during maintenance	30
6.4.3	Periodical checks and tests of the insulation	31
6.5	Leakage detectors (overhaul, definitions, thresholds)	31
6.5.1	Operating voltages and temperature ranges	31
6.5.2	Operation and alarm of the detector	31
6.5.3	Limits and calibration of the detector	32
6.5.4	Periodic efficiency checks	38
Annex A	(normative) Constructional detailed provisions	42
A.1	General	42
A.2	Attachment of the current collection system and other components	42
A.3	Insulations	42
A.4	Ventilation	43
A.5	Accessibility	43
A.6	Location of the main circuit breaker	43
A.7	Inlet and outlet points of cables	43
A.8	Cabling	43
A.9	Test terminal board	43
A.10	Insulation leakage pre-alarm	43
A.11	Equipment connected to different voltage band circuits	44
A.12	Segregation of band III circuits	44
A.13	Batteries and other energy storage devices	44
A.14	Fuel cells	45
A.15	Environmental conditions	45
Annex B	(informative) Open door interlocking	46
Bibliography		47

Figure 1 – Insulation overview – Trolley buses	14
Figure 2 – Maximum displacement between vehicle centreline and catenary centreline	18
Figure 3 – Test circuits	25
Figure 4 – Megaohmmeter connection	27
Figure 5 – Megaohmmeter connection	28
Figure 6 – Leakage current monitoring	33
Figure 7 – Insulation resistance monitoring	34
Figure 8 – Touch voltage monitoring with sliding wires	35
Figure 9 – Touch voltage monitoring with grounded overhead contact line	36
Figure 10 – Compensation of the voltage drop on the grounded overhead contact line	37
Figure 11 – Voltage development with a load connected to the overhead contact line	38
Figure 12 – Function check of the leakage current monitoring	39
Figure 13 – Function check of the insulation resistance monitor	40
Figure 14 – Function check of the touch voltage monitor with vehicle mass (chassis)	41
Figure 15 – Function check of the touch voltage monitor with sliding wires	41
Table 1 – Nominal voltages and their permissible limits in values and duration	12
Table 2 – Insulation voltages and power frequency-test voltages	12
Table 3 – Overvoltages	12
Table 4 – Voltages bands for trolley busses	13
Table 5 – Summary of electric tests	31

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63076:2019

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RAILWAY APPLICATIONS – ROLLING STOCK –
ELECTRICAL EQUIPMENT IN TROLLEY BUSES – SAFETY
REQUIREMENTS AND CURRENT COLLECTION SYSTEMS**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 63076 has been prepared by IEC technical committee 9: Electrical equipment and systems for railways.

This publication is based on EN 50502:2015.

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

FDIS	Report on voting
9/2530/FDIS	9/2543/RVD

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63076:2019

RAILWAY APPLICATIONS – ROLLING STOCK – ELECTRICAL EQUIPMENT IN TROLLEY BUSES – SAFETY REQUIREMENTS AND CURRENT COLLECTION SYSTEMS

1 Scope

This document applies to electrical systems aboard vehicles of the trolley bus type, as defined in 3.1, fed with a nominal line voltage (U_n) between 600 V DC and 750 V DC.

This document defines the requirements and constructional advice, especially to avoid electrical danger to the public and to staff. Where special requirements exist for trolley buses, advice is given for mechanical and functional safety, as well as for protection against fire.

This document covers vehicles intended for public transportation. This document applies to:

- trolley buses without on-board isolation interface from the contact line,
- buses with a current rail for guidance in the road surface,
- guided buses with bipolar roof current collectors.

This document does not apply to:

a) electric driven vehicles fitted only with an internal power supply:

- 1) hybrid vehicles,
- 2) diesel-electric vehicles,
- 3) fuel-cell vehicles,
- 4) battery-powered vehicles,

b) vehicles with safe protective bonding:

- 1) rubber-tyred commuter trains,
- 2) guided buses with power supplied by a separate current rail,
- 3) rail-guided buses with unipolar roof current collector,

c) vehicles operated outside publicly accessible areas:

- 1) electrically driven lorries on motorways.

Guidance and current rails are special solutions and, at this time, are not subject to standardization, unlike trolley bus current collectors and overhead contact lines.

This document refers mainly to earthed networks, but reference is made also to galvanically insulated networks.

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 60077 (all parts), *Railway applications – Electric equipment for rolling stock*

IEC 60077-1, *Railway applications – Electric equipment for rolling stock – Part 1: General service conditions and general rules*

IEC 60322, *Railway applications – Electric equipment for rolling stock – Rules for power resistors of open construction*

IEC 60349 (all parts), *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles*

IEC 60479 (all parts), *Effects of current on human beings and livestock*

IEC 60479-1, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects*

IEC 60479-2, *Effects of current on human beings and livestock – Part 2: Special aspects*

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

IEC 60571, *Railway applications – Electronic equipment used on rolling stock*

IEC 60721-3-5, *Classification of environmental conditions – Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Section 5: Ground vehicle installations*

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

IEC 61111, *Live working – Electrical insulating matting*

IEC 61133:2016, *Railway applications – Rolling stock – Testing of rolling stock on completion of construction and before entry into service*

IEC 61287-1, *Railway applications – Power converters installed on board rolling stock – Part 1: Characteristics and test methods*

IEC 61373, *Railway applications – Rolling stock equipment – Shock and vibration tests*

IEC 61557-2, *Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000V a.c. and 1 500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 2: Insulation resistance*

IEC 61557-8, *Electrical safety in low voltage distribution systems up to 1 000 V a.c. and 1 500 V d.c. – Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures – Part 8: Insulation monitoring devices for IT systems*

IEC 61851 (all parts), *Electric vehicle conductive charging system*

IEC 61881 (all parts), *Railway applications – Rolling stock equipment – Capacitors for power electronics*

IEC 61991, *Railway applications – Rolling stock – Protective provisions against electrical hazards*

IEC 62128-1, *Railway applications – Fixed installations – Electrical safety, earthing and the return circuit – Part 1: Protective provisions against electric shock*

IEC 62196-1, *Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles – Part 1: General requirements*

IEC 62236 (all parts), *Railway applications – Electromagnetic compatibility*

IEC 62497-1:2010, *Railway applications – Insulation coordination – Part 1: Basic requirements —Clearances and creepage distances for all electrical and electronic equipment*

IEC 62498-1, *Railway applications – Environmental conditions for equipment – Part 1: Equipment on board rolling stock*

IEC TS 62597, *Measurement procedures of magnetic field levels generated by electronic and electrical apparatus in the railway environment with respect to human exposure*

IEC 62928, *Railway applications – Rolling stock – Onboard lithium-ion traction batteries*

IEC 62995, *Railway applications – Rolling stock – Rules for installation of cabling*

ISO 6469-3, *Electrically propelled road vehicles – Safety specifications – Part 3: Electrical safety*

ISO 16750-2, *Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment – Part 2: Electrical loads*

ISO 16750-3, *Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment – Part 3: Mechanical loads*

ISO 23273, *Fuel cell road vehicles – Safety specifications – Protection against hydrogen hazards for vehicles fuelled with compressed hydrogen*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions 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

trolley bus

vehicle with rubber tyres (with limited lateral operating range or guided) without safe protective bonding of the chassis, which operates with an electrical drive in the public area accessible to persons and galvanically powered by an external supply line (overhead contact line, current rail)

Note 1 to entry: The two poles of the supply line are either both galvanically insulated from earth or one insulated and the other earthed. This can take place at a central point or at every feed (substation).

3.2

current-collection system

whole of the components, generally mounted on the vehicle's roof, having the task of taking the current from the overhead contact lines to supply the equipment of the vehicle, both in standing and in running conditions

3.3

mass

<for trolley bus> conductive part of an electrical component that is accessible and that is not energized in normal conditions, but can become energized in fault conditions

Note 1 to entry: The equipment defined in 5.4.1 as normal bus vehicle components are not included in this term.

Note 2 to entry: The conductive parts of the chassis and of the bodywork are defined as the vehicle mass.

3.4

intermediate mass

conductive part between two insulating parts of double-insulated equipment (protection, enclosure, etc.), which shall not be accessible to the public

3.5

basic insulation

<for trolley bus> insulation for personal safety, between the electric parts that are subject to energization and the intermediate mass, to provide basic protection against electric shock

3.6

supplementary insulation

<for trolley bus> insulation for personal safety between the intermediate mass and the vehicle mass

3.7

double insulation

insulation comprising both basic insulation and supplementary insulation

[SOURCE: IEC 60050-195:1998, 195-06-08]

3.8

functional insulation

<for trolley bus> insulation not for personal safety, with lower requirements, that ensures the function of the vehicle

Note 1 to entry: To some extent, the design is specified in the product standards.

3.9

nominal voltage

U_n

<for railways> designated value for a system to which the general characteristics are referred

3.10

rated voltage range

U_{Ne}

<for trolley bus> voltage range that, together with rated current, defines the use of the equipment and to which the applicable tests and the utilization categories are referred

3.11

highest permanent voltage

U_{max1}

maximum value of the voltage likely to be present indefinitely

[SOURCE: IEC 60850:2014, 3.4]

3.12

rated insulation voltage

U_{Nm}

<for trolley bus> value to which the dielectric test voltages and the creepage distances are referred and which cannot, in any case, be lower than U_{Ne}

Note 1 to entry: When no value is defined by the purchaser for U_{Nm} , the highest permanent voltage U_{max1} given by IEC 60850 is due to be assumed.

3.13**power-frequency test voltage** U_a

RMS value of sinusoidal power-frequency voltage that the insulation of the given equipment can withstand during tests made under specified conditions and for a specified duration

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-22]

3.14**highest non-permanent voltage** $U_{\max 2}$

maximum value of the voltage likely to be present for a limited period of time

[SOURCE: IEC 60850:2014, 3.5]

3.15**overvoltage**

<for railways> any voltage having a peak value exceeding the corresponding peak value of maximum steady-state voltage at normal operating conditions

[SOURCE: IEC 60850:2014, 3.6]

3.16**long-term overvoltage**

overvoltage higher than $U_{\max 2}$, lasting typically for more than 20 ms, due to low-impedance phenomena, for example a rise in substation primary voltage

[SOURCE: IEC 60850:2014, 3.7, modified – Note 1 to entry has been removed.]

3.17**highest long-term overvoltage** $U_{\max 3}$

voltage defined as the highest value of the long-term overvoltage for $t = 20$ ms

[SOURCE: IEC 60850:2014, 3.8, modified – The second sentence has been removed.]

3.18**dewirement**

sudden and permanent detachment of one or both poles of the trolley from the overhead contact line(s) while the trolley bus is running

3.19**overhead contact line****catenary**

contact line that is placed above or beside the upper limit of the vehicle's clearance, which supplies traction units with electrical energy via roof-mounted current collection equipment

Note 1 to entry: The characteristics of the overhead contact line are to be made known to the manufacturer, together with the type of service, the environmental conditions and the road profile. Mechanical properties are given in IEC 60913, minimum heights are given in IEC 62128-1.

[SOURCE: IEC 60050-811:2017, 811-33-02 – modified – Note 1 to entry has been added]

4 Voltages and classification of the voltage bands

4.1 Voltages

4.1.1 General

The voltage definitions used in this document are those of IEC 60850 and IEC 62497-1, where the following applies to direct voltage networks in compliance with IEC 60850.

4.1.2 Operating voltages

The equipment shall operate at the voltages, for overhead contact line systems, specified in Table 1.

Table 1 – Nominal voltages and their permissible limits in values and duration

Nominal voltage U_n V DC	Rated voltage range U_{Ne} V DC	Highest permanent voltage U_{max1} V DC	Highest non-permanent voltage U_{max2} V DC
600	400 to 720	720	800
750	500 to 900	900	1 000

NOTE In France, Belgium and the United Kingdom, different national regulations (IEC 60850) apply, which, however, do not apply to trolley buses.

For vehicle wash plants, in accordance with IEC 62128-1, the maximum allowed voltage is 120 V DC (voltage band II). In this case, the vehicle washing plant is not part of the workshop where the maximum allowed voltage is 60 V DC (voltage band I).

4.1.3 Insulation voltages and test voltages

Insulation in accordance with IEC 62497-1 shall be designed and tested with reference to the following voltages shown in Table 2.

Table 2 – Insulation voltages and power frequency-test voltages

Nominal voltage U_n V DC	Rated insulation voltage U_{Nm} V DC	Power frequency test voltage U_a V DC
600	≥ 720	refer to IEC 62497-1:2010, Table B.1
750	≥ 900	

4.1.4 Overvoltages

The equipment shall withstand the overvoltages of the overhead contact line system specified in Table 3.

Table 3 – Overvoltages

Nominal voltage U_n V DC	Highest long-term overvoltage U_{max3} V DC
600	1 270
750	1 270

4.2 Classification of the voltage bands

In accordance with IEC 61991, the voltage bands applicable to trolley buses are in accordance with Table 4.

Table 4 – Voltages bands for trolley busses

Band	Nominal voltage V	
	AC	DC
I	$U_n \leq 25$	$U_n \leq 60$
II	$25 < U_n \leq 50$	$60 < U_n \leq 120$
III	$50 < U_n \leq 1\,000$	$120 < U_n \leq 1\,500$

5 Trolley bus construction

5.1 Protection and electrical safety criteria

5.1.1 Protection criteria against direct and indirect contacts

The best criteria and arrangements shall be adopted in the design and in the manufacture of trolley buses to avoid, or at least minimize to a non-dangerous level, all touch voltages and, in particular, the voltage differential between mass and earth potentials and to detect leakages before the associated voltages reach a dangerous level.

Limit values for touch voltages are specified in IEC 62128-1. Limit values for shock currents are specified in the IEC 60479 series.

NOTE Different limit values for touch voltages apply in Switzerland (SR 734.2).

The requirements of IEC 61991 shall apply wherever applicable.

Since the highest hazard potential is present when touching the outside of the vehicle, the requirements of IEC 61991 of a verifiable double insulation are supplemented by a third insulation in the area of the doors, where passengers would be most likely to come into contact with voltages.

If possible, the double insulation shall be designed such that a fault cannot bridge both paths at the same time.

Layout of insulation distances depending on material and degree of pollution shall be carried out in accordance with IEC 62497-1.

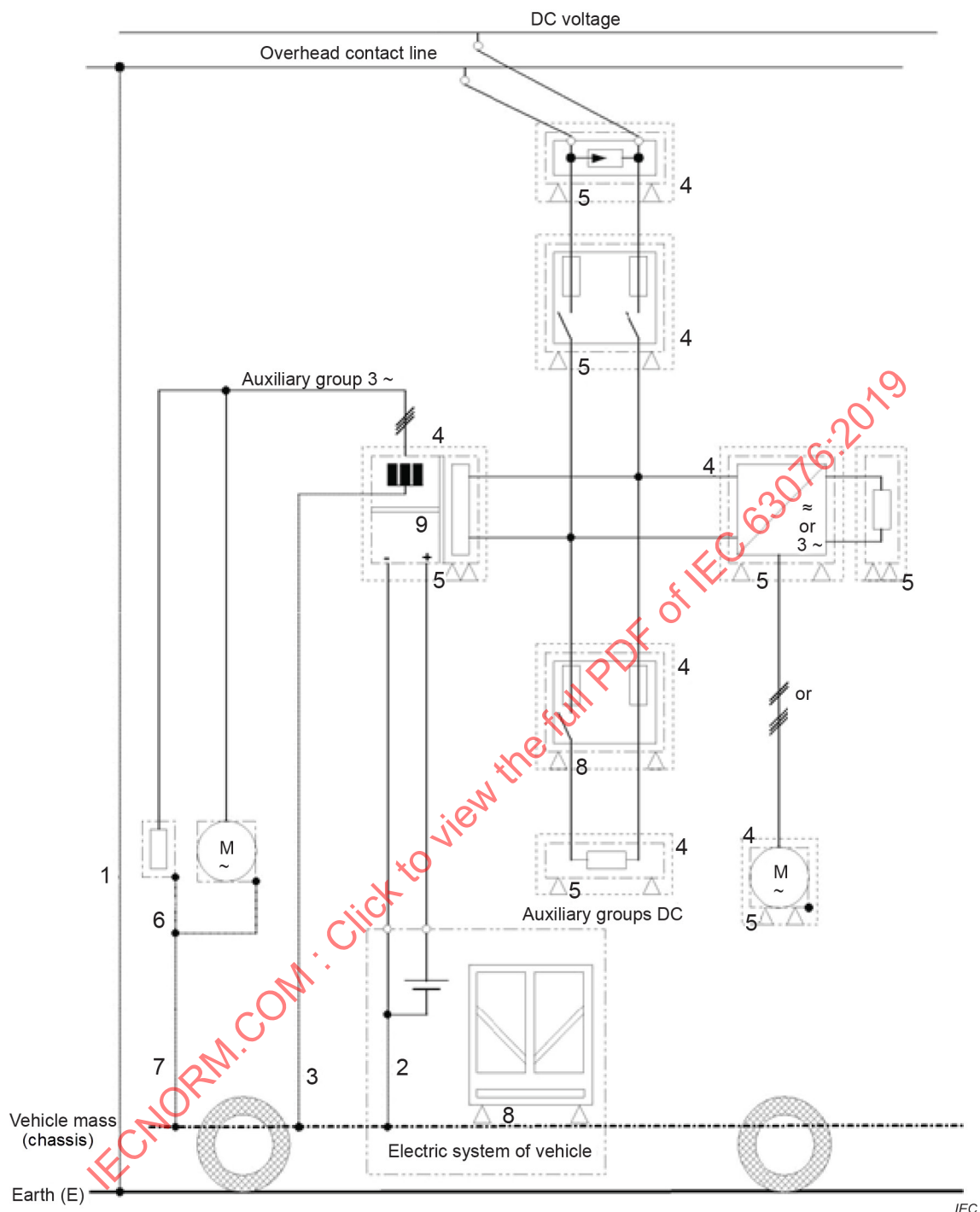
Always make sure, for external insulation, that part of the insulation remains protected from moisture or dirt. If this is not possible, greater distances and/or other materials shall be selected because of the higher minimum insulation resistances in systems with no protective bonding (see Table 6).

Figure 1 provides an overview of the double insulation requested for this vehicle type in IEC 61991 as well as of the third insulation of the doors.

The expansion of the basic insulation to double insulation always applies to all three types of interfaces of the component:

- supplementary insulation of the mechanical mounting;
- supplementary insulation of the power supply module;
- supplementary insulation of the signal interfaces.

The marking by warning signs of installation spaces containing circuits with voltages of bands II and III or power circuits of band I shall comply with IEC 61991.



Key

- 1 conducting connection of substation output to earth, if applicable
- 2 conducting connection of DC onboard power supply to vehicle mass (chassis), if applicable
- 3 conducting connection between the neutral point of the transformer of the static converter and vehicle mass (chassis) as protective conductor, if applicable (see also 7)
- 4 protection of direct contact of all intermediate masses (enclosure, roof insulation, underfloor installation)
- 5 supplementary insulation for implementation of the double insulation. Basic or functional insulation are represented by enclosures, double insulation of cables is not depicted
- 6 conducting connection of all enclosures of three-phase AC loads (protective bonding if applicable)
- 7 conducting connection of all enclosures of three-phase AC loads and vehicle mass (chassis) as protective conductor (see also 3)
- 8 supplementary insulation of entrance areas (doors, access platforms, push buttons) if applicable
- 9 double insulation inside devices (depicted only for static converter)

Figure 1 – Insulation overview – Trolley buses

The insulation resistance of outside insulation as a factor of the atmospheric conditions and vehicles, which may have insulation defects, can fall short of the limit values for personal safety.

For this reason, measures specified in this subclause shall be taken independently of the overhead line network configuration (earthed or galvanically isolated).

5.1.2 Steps, stanchions, handrails, slopes and access platforms

To prevent persons entering or leaving the vehicle from sensations of discharge of the vehicle mass (chassis) exceeding the threshold of perception, entrance areas shall be equipped with insulating materials as protective impedances.

Steps, stanchions and handrails facing all doors shall be insulated from the vehicle mass (chassis) or made of insulating material. Slopes and access platforms for handicapped persons shall be insulated from the vehicle mass (chassis).

Entrance areas shall be designed with drip edges at the end of the base plate and with a drain for ingressed water. Direct contact of surface water with other parts of the vehicle mass (chassis) shall be prevented.

The function of protective impedance of entrance areas shall be ensured by regular cleaning of the entrance areas and visual inspection of material by qualified staff. Detergents shall be chosen to avoid chemical wear of the material.

During visual inspection, the material shall be closely examined for any damage that affects the dielectric properties, such as fractures, cracks or pinholes (6.2.5). The dielectric properties of the material shall comply with the requirements for basic insulation in 6.2.

A visual inspection of the cleaned entrance areas is required and is included in the periodic insulation test procedure in 6.4.

5.1.3 Doors and door handles

All doors and relevant accessories, except for control equipment not accessible to the public, shall be insulated from the vehicle mass (chassis) or made of insulating material.

To provide sufficient creepage distances, plastic door handles or outside sliding doors without handles are recommended.

5.1.4 Cabling

Conduits of cables fed at voltages of band III shall be segregated from those containing cables fed at voltages of bands I and II; band III conduits and trunking shall be easily detectable by means of suitable markings.

In the case of double insulation conduits of band III, cables being part of different circuits shall be segregated according to IEC 62995.

Rescue workers in cities with trolley buses and overhead contact lines are specially trained, so special labelling in classic trolley buses with or without auxiliary power supplies with diesel engine generators is not required, because the whole system can be switched off. An exception is the cabling of energy storage devices, which shall be labelled orange up to the first circuit breaker¹.

¹ See ECE Regulation No. 100.

5.1.5 Open door interlocking

Traction equipment shall be provided with an interlock to prevent the vehicle from starting while the vehicle doors are open. This interlock device shall include a push button or a similar padlocked device enabling the driver to by-pass the feature.

5.1.6 Leakage current detector

It is recommended, upon agreement between the manufacturer and the operator and matched with the supply system, to equip trolley buses with an automatic measuring instrument, defined as a leakage detector. Appropriate information shall be provided by the operator.

The device generates an optical/acoustic alarm signal when the insulating resistance between the circuits fed at line voltage and the vehicle mass (chassis) falls below the permissible limit values. Depending on the type of measuring method, exceeding the permissible touch voltage or the permissible leakage current may also be used as the criterion. The permissible insulation resistance is calculated from the supply voltage in accordance with IEC 60850 and the threshold of feeling from the permissible shock current specified in the IEC 60479 series.

When the above-mentioned limit values have been reached, the device can open the line contactor and lower the trolley poles automatically when the vehicle is stationary, if this feature is possible and requested by the operator. The vehicle may feature a key switch or a similar sealable device that enables the driver to disable the function, if the operator requests this for emergency mode. If the vehicle has an auxiliary source of energy, it shall be used for the emergency mode.

Since the trolley poles are lowered actively and an opening of the line contactor alone cannot shut down the entire system, safety is implemented only by the protective measure "double insulation" supplemented by the insulation of the entrance areas.

The detection of an insulation resistance value below the permissible limit is considered to be part of preventative maintenance. As a result, this will increase the level of safety for passengers above the level that would have been achieved by interventions only at the mandatory intervals (see also Clause A.10).

The leakage detector or at least the relevant optical/acoustic alarm device, if any, shall be mounted at the driving position, in a location easily visible by the driver. An external display can be agreed between the operator and the manufacturer.

Where required and part of the equipment, the device may feature a means of self-diagnosis and shall meet the resulting safety criteria. In this case, the characteristic shall be accepted by an acknowledged authority.

Since the device itself shall feature a basic and a supplementary insulation because it is interconnected with the system to be monitored, it can cause insulation faults itself. This shall be taken into account, especially in the design. For this reason, the device shall be included in the dielectric tests with voltages in accordance with IEC 62497-1: 2010, Table B.1, as well as in the mandatory periodic test.

5.1.7 Intermediate mass insulation detector

Where a leakage detector is provided, a device suitable to detect the insulation level of the various intermediate masses to the relevant parts, connected to an overhead contact line or to the vehicle mass (chassis), can be installed for preventative maintenance upon agreement between the manufacturer and the operator. This device can be combined with the leakage detector specified in 5.1.6. The intermediate masses shall be electrically isolated from each other.

In exceptional cases and for justified constructional reasons, some intermediate masses for functionally homogeneous equipment may be connected with each other. In this case, the dielectric strength between the intermediate masses is particularly important.

The leakage detector of the vehicle's intermediate masses facilitates preventative maintenance and can thus increase the safety of the passengers.

5.1.8 Capacitors

For capacitors fed with voltages within band III, which may retain charge when they become accessible to direct contact during maintenance, means shall be provided to ensure that there is no risk of electric shock. This may be by means of integral design of discharge circuits, additional circuits or procedure. The implementation shall be agreed between the operator and the manufacturer.

To achieve the best safety conditions, steps shall be taken to prevent personnel from having unintentional access to parts with harmful voltages. In this context, the provisions of IEC 61991 and of the IEC 61881 series shall apply.

5.1.9 Equipotential connections

For insulated circuits of band III that are not directly fed from the contact wire, protective measures in compliance with IEC 61991 shall be taken.

In the case of articulated trolley buses or connected coaches, these elements of the vehicle shall be electrically interconnected, in order to have vehicle mass (chassis) at the same potential. These equipotential connections shall be easily found and suitably marked. For the identification of the connections and the equipotential bonding circuit, the requirements of IEC 62995 shall be applied.

5.1.10 Electromagnetic compatibility (EMC)

The on-board electrical and electronic equipment shall not cause or suffer in the vehicle and in the surrounding ambient interferences of electrical, magnetic or electromagnetic origin at such a level as to endanger the correct operation of the control, calibration, safety, radio-transmission devices etc., owing to emissions conducted, induced or radiated.

Field strength limits in the vehicle and in its vicinity shall not exceed the limit values of the relevant standards of individual countries.

NOTE In Europe EN 45502 series is applicable.

As a basis, the IEC 62236 series with emission values in compliance with IEC TS 62597 shall apply. For frequencies that were not taken into account in IEC TS 62597 with respect to human exposure, national practices or rules should be followed.

Interference suppression measures in parallel with individual insulation distances shall not exceed the limit values in accordance with IEC TS 60479-2 for switching processes, since these transients become significant in the case of an insulation fault of the supplementary insulation.

Intermediate masses that may feature alternating voltage potentials by capacitive coupling shall be wired such that the limit values in accordance with the IEC 60479 series are not exceeded. These potentials become significant in the case of an insulation fault of the supplementary insulation.

The operator shall also specify the critical frequencies of the existing infrastructure (to operate switches). Interference from other systems (e.g. traffic lights) shall be considered. If necessary, an EMC plan shall be drawn up and to be agreed between the manufacturer and the operator.

5.1.11 Overvoltage protection

To limit atmospheric overvoltages, surge arresters shall be provided in the supply system, which reduce the stress of basic and supplementary insulation. The implementation (at regular intervals on the overhead contact line, at the substations) and the data of the surge arresters shall be provided by the operator.

To limit overvoltages of the supply system, surge arresters shall be provided on the vehicle, which reduce the stress on the functional insulation. The data of the surge arresters shall be agreed between the vehicle manufacturer and the operator.

5.2 Electrical components in band III voltage

5.2.1 General information

The electrical components fed at a voltage of band III and connected to the overhead contact line shall be specifically made for electric traction, suitable for use in trolley bus services, with double insulation to the vehicle mass (chassis) and with both the pole terminals isolated from intermediate mass.

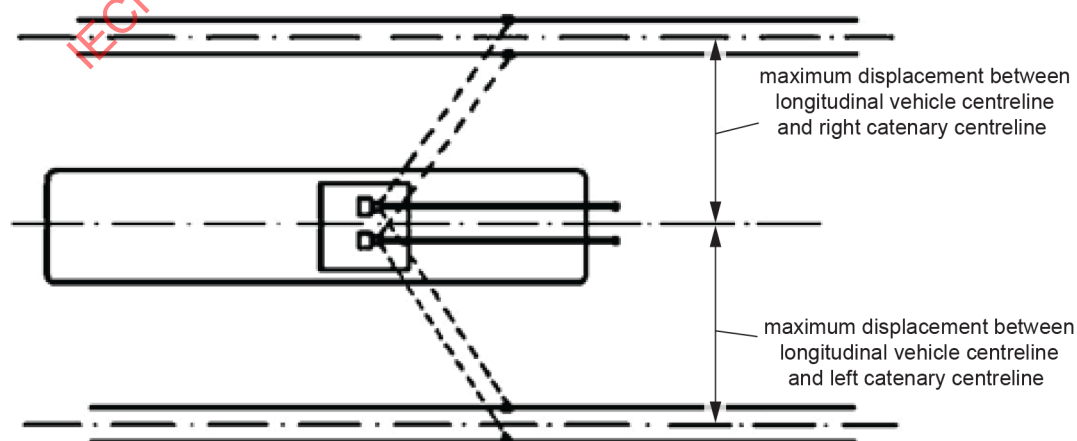
For the electrical and mechanical characteristics, the specific standards for the product apply.

5.2.2 Current collection system

Double insulation or reinforced insulation shall be applied between the live part and the vehicle mass (chassis) when the current-collection system is installed.

The insulator of the current collection system shall have a waterproof structure, and an anti-fouling smooth surface in order to increase the creepage distance and to ensure the insulation performance of the current collection system.

When the vehicle's speed is not less than 5 km/h, the longitudinal centreline of the vehicle can be shifted left or right to the centreline of the catenary with the maximum displacement of 4 500 mm (for a 6 200 mm trolley-pole system) or 4 000 mm (for a 5 500 mm trolley-pole system), as shown in Figure 2.



IEC

Figure 2 – Maximum displacement between vehicle centreline and catenary centreline

When the trolley poles are used as electrical connections, they shall be covered by insulation that is sufficient to allow functional insulation to prevent shorting of the overhead contact line in the event of dewirement.

The cables between the current collector head and the vehicle equipment shall be suitable for use on trolley buses and have specific electromechanical characteristics for this application, because of its mechanical and environmental stresses (cabling in accordance with IEC 62995). When the cable is arranged on the current-collection system, it cannot be applied by force, and cannot affect the activities of the current-collection system, and it is resistant to bending, moisture resistance, sunshine and easy aging.

Under the circumstances of the absence of supply voltage, the relevant electronic device failure and lack of air pressure, the trolley poles shall be lowered (for example, via rope) or at least a signal shall be indicated on the driver's desk.

5.2.3 Electric traction equipment

5.2.3.1 General information

The electric traction equipment mainly comprises the traction motor(s), the converter for motoring and braking, and the resistor (if fitted, for starting and/or braking).

The traction-control equipment is considered part of the traction equipment from a functional point of view.

5.2.3.2 Traction motors

For the traction motors, the requirements of the IEC 60349 series apply.

The motors shall be arranged to have a double insulation both in respect of the fixing to the vehicle mass (chassis) and of the connection to the transmission outputs, as well as other mechanical (cooling) and electrical interfaces (sensors).

5.2.3.3 Traction and braking

The requirements of IEC 61287-1 apply to the electronic power equipment.

The requirements of the IEC 60077 series apply to electromechanical drive.

The requirements of IEC 60571 apply to electronic control equipment.

The equipment shall be installed in body compartments or enclosures, suitably ventilated and accessible only to the personnel maintaining the trolley buses. All the live parts shall have double insulation with respect to the vehicle mass (chassis), except for those galvanically insulated from the line voltage, and shall be in any case protected from undue accidental contact when energized. They shall be safeguarded against accidental contact if live.

5.2.3.4 Starting and braking resistors, resistor for current-operated switches

The requirements of IEC 60322 apply to the electrical resistors. They shall be mounted so that the live parts have double insulation relative to the vehicle mass (chassis) and with suitable barriers or arrangements for protection from undue accidental contacts when energized.

The insulation between live components and the mechanical intermediate frame is only a functional insulation (primary insulation in accordance with IEC 60322). Thus, the double insulation requires another intermediate mass insulated from the vehicle mass (chassis) and the intermediate frame.

When the heat produced by the resistors is used for heating the driver and/or the passenger compartment, the relevant ducts, if made of conducting material, shall be electrically connected to the vehicle mass (chassis).

The active parts of the resistors as well as exterior insulators shall be protected by a suitable barrier against flying debris (e.g. leaves) to prevent fire and bridging of insulation distances.

5.2.4 Power supply independent from overhead contact line

5.2.4.1 General information

Trolley buses may be equipped with equipment for running with an auxiliary source of electrical energy, differing from the overhead contact line.

This equipment may be an electricity-generating thermal engine, a group of batteries or other equivalent means suitable to supply the traction motor(s).

Depending on the power of the independent power supply, one can differentiate between emergency power supply to clear the road, auxiliary power supply for restricted service or main power supply. Even if emergency power supplies limit the operation range to the overhead line grid, the thermal capacity of the endurance braking system is relevant for the homologation of the brake system².

As far as the control and safety systems are concerned, they can remain in use as in normal running.

5.2.4.2 Independent power supply and its insulation requirements

All electrical components for specific use for operation in independent running shall have the same characteristics as required for equipment fed at the same voltage band.

For operation on the overhead contact line, a facility for energy storage and recovery shall thus feature double insulation (see Clauses A.13 and A.14).

If every electrical connection between the overhead contact line and the electrical source for independent operation is explicitly broken without having to lower the trolley poles, double insulation is not required. In this case, a mechanical or electrical interlock of the switchgear that connects the system to the overhead contact line or the auxiliary power supply suffices. The open contacts of the contactors shall meet the requirements for basic or supplementary insulation, depending on the choice of basic and additional insulation for the independent power supply. Because the power connection of the energy source shall be regarded as an intermediate potential, an insulation check for the power connection shall be agreed between the manufacturer and the operator.

The equipment mentioned in 5.2.3.1 may be used for feeding the traction motor(s).

It shall be possible to disconnect the independent power supply from the system for maintenance purposes. This may be done by means of switches, fused circuit breakers or electromagnetic switchgear. With engine-driven auxiliary power supplies, it is sufficient to shut down the engine if it can be secured against restarting.

² See ECE Regulation No. 13.

5.2.5 Auxiliary groups

The auxiliary groups fed at line voltage (e.g. the auxiliary motors for driving the compressor, the fans, the hydroguide pump, the auxiliary generators, and the static converters) shall have a double insulation with respect to the vehicle mass (chassis), independent from the overhead line network configuration (earthed or galvanically insulated).

The equipment supplied through circuits, which are galvanically singly insulated (basic or supplementary insulation) from the line may be mounted without insulation. The basic insulation of this equipment shall fulfil the requirements of basic or supplementary insulation, depending on its function as part of the double insulation.

The equipment supplied through circuits galvanically double insulated from the line may be mounted without insulation. Relevant for the basic insulation of this equipment is the rated voltage of the connected circuit. For the use of industrial devices (electronics, converters, motors), the corresponding industrial standards shall be applied.

NOTE The corresponding industrial standards are the IEC 60146 series, EN 50178 and the IEC 60034 series, etc.

Protective measures against electrical hazards shall be in compliance with IEC 61991.

5.2.6 Heating and ventilation systems

When space heaters or air conditioning equipment, for different uses, contain components supplied by band III voltages, the requirements given in 5.2.4 shall apply. Ventilation ducts, if made of conducting material, shall be connected to the vehicle mass (chassis).

In this case, the implementation of the devices and the airflow shall comply with national practices or rules for fire protections.

NOTE In Europe, EN 45545-5 is applicable.

5.2.7 Cables

The cables for the circuits at a voltage of band III shall be of the non-propagating flame type, with low emission of smoke and toxic or corrosive gases. They shall comply with IEC 62995 that is applicable to the use in trolley buses.

NOTE 1 In Europe, EN 50264 and EN 50306 series are applicable.

Connecting instructions of IEC 62995 shall be taken into consideration. Laying of cables shall comply with national practices or rules for fire protections.

NOTE 2 In Europe, EN 45545-5 is applicable for fire protections.

In particular, power cables in passenger compartments or ventilation ducts may only be laid in metal ducts. Cables that cannot be fused (e.g. upstream of the in-line fuse) shall feature double insulation.

5.3 Electrical components in band II voltage

5.3.1 General information

The electrical components supplied at a voltage of band II shall be two-pole and insulated from the vehicle mass (chassis). They shall be protected by means of fuses or automatic breakers having a suitable breaking capacity and they shall be suitable for use on trolley buses. When there is the need of having components on the vehicle fed at voltages pertaining to different bands, suitable arrangements shall be taken for an effective electrical segregation.

Protective provisions against electrical hazards shall be in accordance with IEC 61991 for insulated supply systems.

5.3.2 Cables

Refer to 5.2.7.

5.3.3 Separation from other voltage band circuits

The circuits related to the components given in 5.3.1, which are mounted on the same structures with cables for voltages of bands I and III, shall be designed for a suitably segregated installation. The connection points, if any, of cables for voltages in band II and apparatus at voltages in bands I and III, shall be carefully designed in respect to distance, mechanical protection and insulation between voltages.

Installation instructions of IEC 62995 shall be observed. An identification of the different voltage bands shall be agreed between the operator and the manufacturer.

5.4 Electrical components in band I voltage

5.4.1 General information

Protective measures against electrical hazards shall be in accordance with IEC 61991 for insulated supply systems.

The electrical components supplied in voltage band I are interconnected via additional signal lines and data buses, no distinction between trolley bus components (specifically for trolley buses) and normal bus components (automotive electrical) is made. Because part of the components has no insulated bipolar supply, withstand voltage and insulation resistance tests do not apply to approval.

Trolley bus components with single insulation from the overhead line voltage shall have a bipolar supply and shall be powered by an additional galvanically insulated supply employing the same basic or supplementary insulation as equipment connected to overhead contact lines. A test connection for the intermediate potential shall be agreed between the operator and the manufacturer.

IEC 61373 or ISO 16750-3 shall be used for shock and vibration tests, if applicable. Owing to the different mechanical loads of railways and rubber-tyred vehicles, the applicable category shall be agreed between the manufacturer and the operator for the use of IEC 61373.

If it is necessary to install, in the vehicle, electrical components fed by voltages of different voltage bands, an effective electrical separation shall be ensured.

5.4.2 Cables

Refer to 5.2.7.

5.4.3 Separation from other voltage band circuits

Refer to 5.3.3.

6 Checks and tests

6.1 General information

The requirements contained in this sub-clause concern the dielectric tests to be carried out specifically on trolley bus equipment. Test on components are specified in the relevant product standards and applied. Electrical tests, relevant for this document, are to be found in IEC 61133:2016 under:

- IEC 61133:2016, 8.7 Electrical insulation tests (routine tests);

- IEC 61133:2016, 8.7.1 General;

NOTE 1 Verification of double insulation, clearances and creepage distances in accordance with IEC 62497-1.

- IEC 61133:2016, 8.7.2 Voltage withstand test;

NOTE 2 In accordance with this document.

- IEC 61133:2016, 8.7.3 Insulation impedance test;

NOTE 3 Verification of insulation resistance and insulation monitoring in accordance with this document.

- IEC 61133:2016, 8.8 Protective bonding and return circuits tests (routine and safety-related test).

These tests may be conducted alternatively on the vehicle, the device or at a test bench. The testing equipment shall comply with IEC 61557-2.

Alternating voltage and direct voltage tests stress the fixed insulations more since voltage of this kind is applied for a much longer time compared to pulse voltage. Insulation may be damaged by the test. Product standards take this into account by permitting a shorter test period in the case of high AC test voltages or DC test voltages, in accordance with IEC 62497-1.

Thus, to be able to document the influence of the withstand voltage test on the insulation, it is recommended to perform the insulation resistance measurement in accordance with 4.2 before and after the withstand voltage test.

For the routine test, test voltage of the repeated dielectric test may be reduced to the initial test voltage in accordance with IEC 60077-1. Since the product standards consider the above annotation from IEC 62497-1, they shall be given preference for the routine tests to reduce the pre-damage of insulation sections. These deviations are explicitly pointed out in the following text in the relevant passages.

If applicable, the limit value of the leakage current for the individual tests should be specified and logged by the manufacturer.

Checking of the insulation should be carried out at least every three months. An alternative is an interval of 15 000 km of operation, which may be increased to 30 000 km on agreement with the operator, considering the limit firstly encountered between the two given above. These intervals can be prolonged if the pre-alarm device mentioned in Clause A.10 is present and the readings indicate frequent insulation checks are being made.

NOTE 4 In Italy, 2 months or 10 000 km apply because of legal prescriptions.

The limit values for the insulation for a new trolley bus, for an overhauled trolley bus and for a trolley bus during normal service are listed in 6.4.

6.2 New trolley-buses

6.2.1 Design and construction verification

The compliance of the vehicle to the requirements of Clause 5 shall be verified, particularly with respect to the insulation of the equipment having voltages in band III, especially those circuits with double insulation fed by the overhead contact line.

The design documents of the electrical part shall list and show the various intermediate masses, on which the electrical tests specified below shall be carried out.

The design documents of the mechanical part shall specify the dimensions of the clearances and creepage distances, and the properties of the insulation materials.

In accordance with IEC 62497-1, creepage distances can be checked by measurement only. Only insulation distances, implemented when mounted in the vehicle, need to be measured in compliance with IEC 61133:2016 and the impact caused by ageing, weather conditions, and deformation due to operation shall be taken into account. For the routine test in accordance with IEC 61133:2016, an additional visual inspection suffices.

6.2.2 Separate source applied voltage tests on circuits and components fed at voltages of the band III from the overhead contact line

Circuits and electrical components at the line voltage and those fed at voltages of the band III, with double insulation from the vehicle mass (chassis), shall be submitted to voltage tests, carried out on new material when the vehicle is commissioned in accordance with IEC 61133:2016.

Other circuits of voltage level III, auxiliary or control circuits of voltage levels II and I that do not feature sufficient insulation based upon the contact line voltage (e.g. that feature insulation for their voltage band and are thus only functional insulation) are assigned to the above-mentioned circuits and shall be tested together with these circuits. The testing of functional insulation is not an integral part of this document.

The test shall be performed successively from high to low voltage levels/bands. Circuits that have already been tested are not reconnected to the other circuits to prevent repetitive tests and the distortion of insulation resistance measurements owing to parallel circuits of insulation resistances.

The test is carried out:

- a) after having excluded those components supplied at voltages of band III and that have already been tested at factories before delivery, and after having connected together all remaining circuits, belonging to one insulation level of band III. This does not apply to supplementary insulations that are implemented only when mounted on the vehicle between component/device housing and the vehicle mass (chassis). A list of such components shall be given as well as documentation of a separate test carried out by the manufacturer. These documents may be type test logs, routine test logs or declarations of conformity (routine tests in accordance with product standards may yield lower values for the test period in item c)),
- b) having connected to earth all remaining circuits and components of the electrical equipment of the trolley bus,
- c) by applying a power frequency test voltage U_a as shown in IEC 62497-1: 2010, Table B.1,
- d) by carrying out the test between the above-mentioned circuits and components and the intermediate masses connected to the vehicle mass (chassis) (see Figure 3 a)),
- e) by repeating the test between the interconnected intermediate masses and the vehicle mass (see Figure 3 b)); the circuits of voltage level III stay insulated, the connection between the intermediate masses and the remaining circuits is removed,
- f) by repeating the test between the intermediate masses insulated from each other (refer to Figure 3 c)).

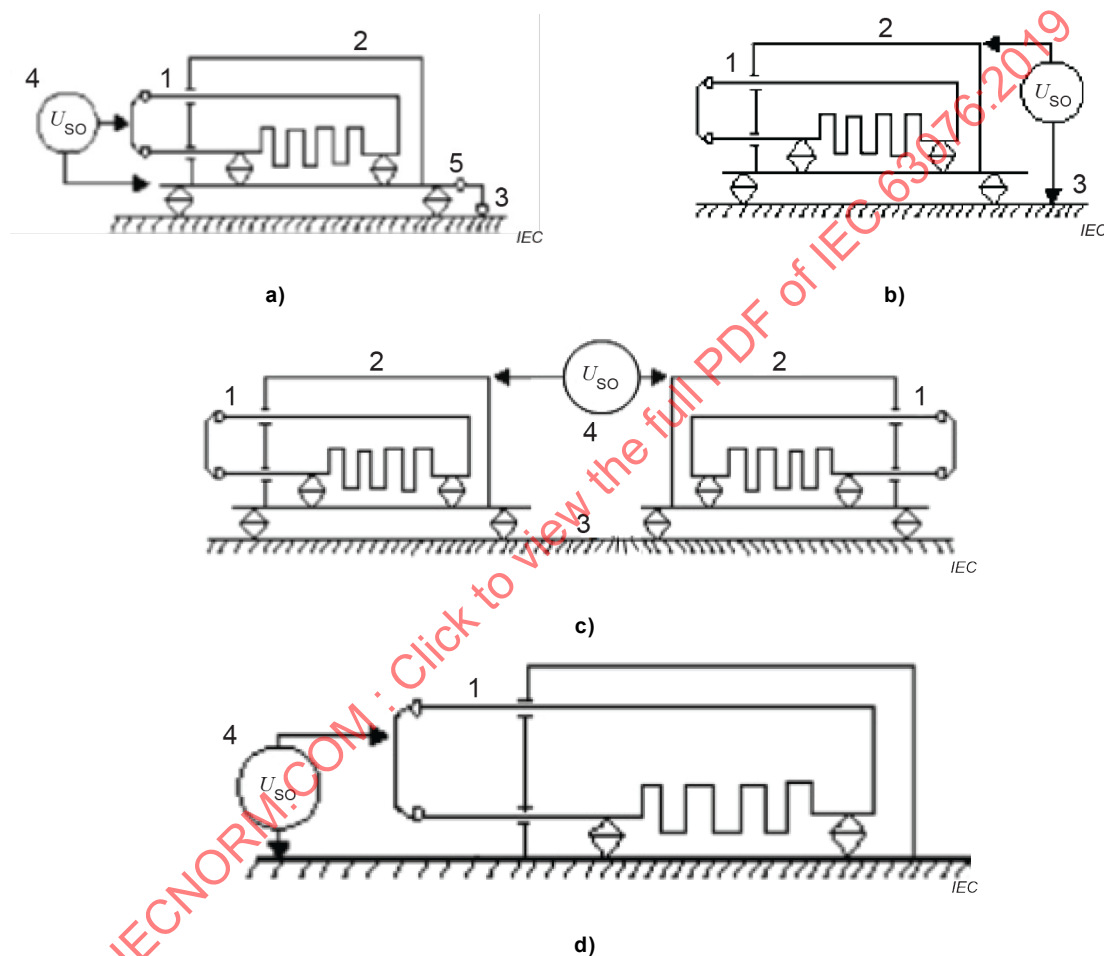
6.2.3 Separate source applied voltage tests on circuits and components fed at voltages of the band III insulated from the overhead contact line

The circuits and the components fed at voltages of band III, but not fed directly by the voltage of the line, featuring single or double insulation from the vehicle mass (chassis), shall be tested as specified above, (see Figure 3 d)) at a power frequency test voltage of U_a (see IEC 62497-1: 2010, Table B.1), applied between the respective circuits and the vehicle mass (chassis).

Connections to the vehicle mass (chassis) to ensure functions of insulated supply networks that are double insulated from circuits supplied with overhead contact line voltage shall be separated from the vehicle mass (chassis) for this test. These include, e.g. in the case of three-phase supply networks, the connection from the neutral point of the network to the vehicle mass (chassis) to reduce the line voltages with respect to the vehicle mass (chassis), to implement an equipotential bonding system with and without leakage current monitoring as well as insulation monitoring.

It is assumed that the values of this double insulation refer to the contact line voltage.

After repair or if the withstand voltage test failed, the second test shall be carried out at 85 % of U_a to reduce the stress by the test for the insulation.



Key

- 1 circuit or electrical component
- 2 intermediate mass
- 3 vehicle mass (chassis)
- 4 voltage generator
- 5 equipotential bonding and grounding

Figure 3 – Test circuits

6.2.4 Separate source applied voltage tests on circuits and components fed at voltages of the band II

The circuits and the components supplied at voltages of band II shall be subjected to power frequency voltage test, on new material, when the vehicle is commissioned in accordance with IEC 61133:2016.

It is assumed that the values of these circuits generally feature double insulation from circuits that are supplied with contact line voltage, with reference to the contact line voltage (refer also to 6.2.2). The test is carried out

- a) after having excluded those components supplied at voltages of band II and that have already been tested at factories before delivery, and after having connected all remaining circuits belonging to one insulation level of band II. A list of such components as well as the documentation of a separate test carried out by the manufacturer shall be available. These documents may be type test logs, routine test logs or declarations of conformity (routine tests according to product standards may yield lower values for the test period of item c)),
- b) having connected to each other and grounded all remaining circuits and components of the electrical equipment of the trolley bus, supplied on a lower voltage level,
- c) by applying a power frequency test voltage U_a between the circuits and components specified above and the vehicle mass (chassis); the value for U_a is listed in IEC 62497-1:2010, Table B.1.

6.2.5 Tests of the insulation of entrance areas

The design of the structure and a visual inspection of the entrance areas, together with the test reports or certificates of conformity of the insulating layer (e.g. corresponding to IEC 61111), are the criteria for acceptance.

The suitability of materials for insulation of entrance areas regarding dielectric and mechanical properties shall be demonstrated by appropriate documents.

The visual inspection shall be carried out by qualified electricians. During visual inspection, the material shall be accurately examined for any damage that affects the dielectric properties, such as fractures, cracks or pinholes.

NOTE In Europe, qualified electricians are defined in EN 50110-1:2013, 3.2.4.

Adequate clearance and creepage distances shall be confirmed according to IEC 62497-1:2010.

6.2.6 Insulation resistance values for circuits and components supplied at band III voltages from the line voltage

The following insulation resistance measurements shall be carried out:

- a) between the vehicle mass (chassis) and all the interconnected circuits and components supplied at the line voltage (see Figure 4 a));
- b) between each intermediate mass and all the interconnected circuits supplied at line voltage (see Figure 4 b));
- c) between the vehicle mass (chassis) and each intermediate mass (see Figure 4 c));
- d) between each intermediate mass and all other intermediate masses (see Figure 4 d)).

The tests, to be performed with the conditions shown in 6.2.7, are considered passed when the insulation resistance R , measured in a dry state, satisfies the condition:

$$R \geq 10 \text{ M}\Omega$$

6.2.7 Insulation resistance tests for circuits and components supplied at the line voltage

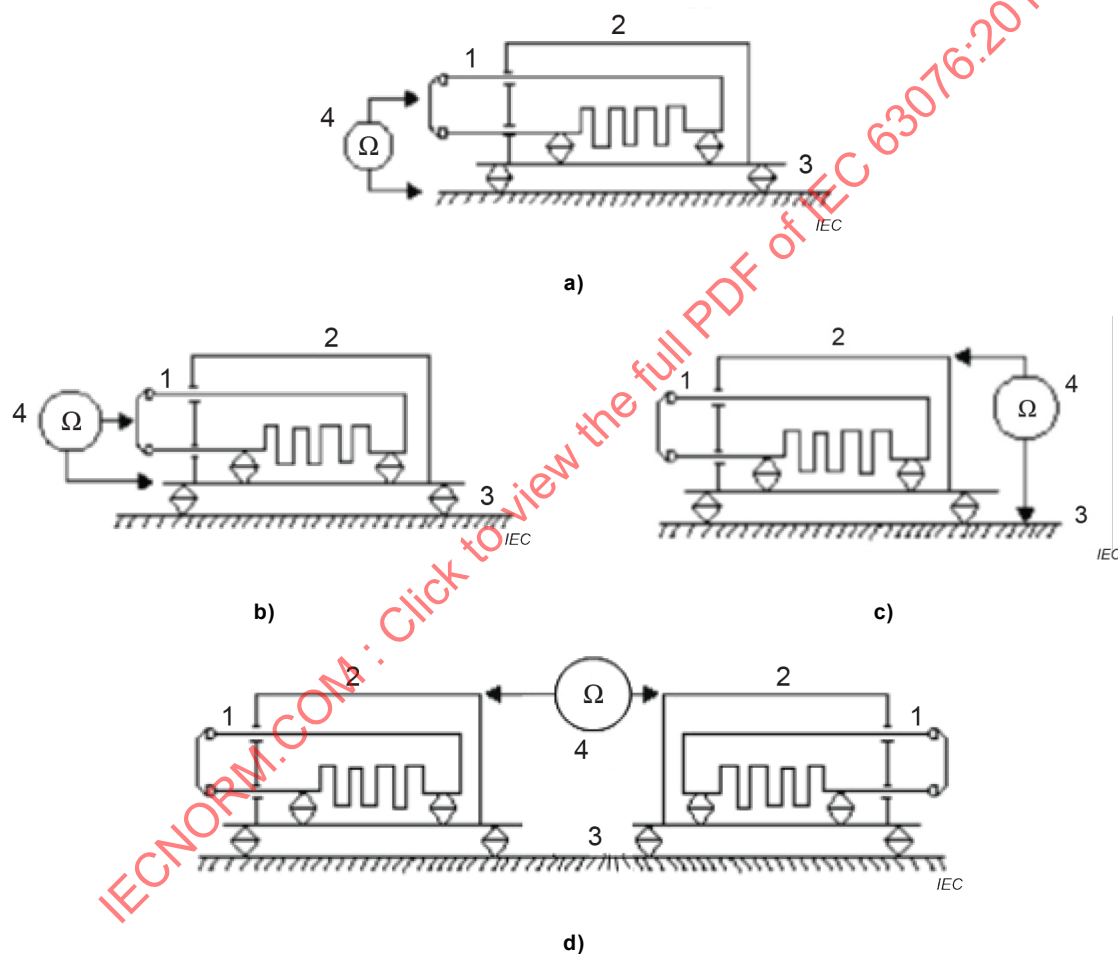
The insulation resistance tests shall be made with the vehicle dry and also when the vehicle is wet if this is required. Referring to the tests under a) and b) of 6.2.6, all circuits and electrical components shall be connected; therefore, all switches and contactors concerned shall be

positioned such that all parts of the electrical installation directly supplied at the line voltage are energized during the test. This can be carried out by following operating instructions based on the circuit diagrams of the vehicle or (also to facilitate the periodical test) by an integrated test function of the system.

Before testing, the mass's connection of the leakage detector (see 5.1.6) shall be removed if this is specified by the manufacturer of the device for this measurement.

The measurement shall be carried out with a megaohmmeter with a generator (that is part of the instrument) for 1 000 V DC.

According to the measurement type, the megaohmmeter shall be connected as indicated in Figure 4 a), b), c) or d).



Key

- 1 circuit or electrical component
- 2 intermediate mass
- 3 vehicle mass (chassis)
- 4 measuring instrument

Figure 4 – Megaohmmeter connection

6.2.8 Insulation resistance values for circuits and components supplied at band III voltages insulated from the line voltage

These circuits and electrical components shall be submitted to the measurement of the insulation resistance to the vehicle mass (chassis) even if they are insulated supply networks featuring double insulation from the contact line that are connected to the vehicle mass (chassis) to ensure functions (refer also to 5.2.4.2 and 6.2.3). The test is considered passed when the insulation resistance R , measured in a dry state, satisfies the following condition:

$$R \geq 10 \text{ M}\Omega$$

When an intermediate mass is present for constructional reasons in these installations, the criteria shown in 6.2.6 b) and c) apply. The resistance values for these intermediate masses shall satisfy the above-mentioned condition.

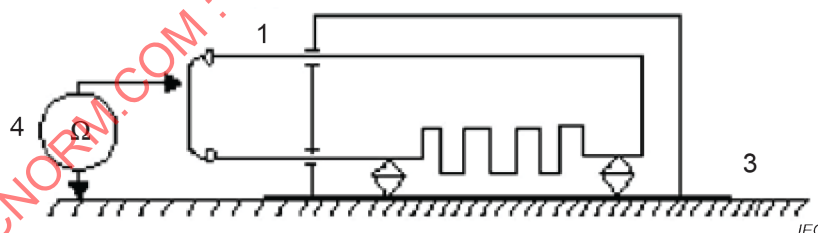
6.2.9 Insulation resistance tests for circuits and components supplied at band III voltages insulated from the line voltage

The insulation resistance tests shall be made with the vehicle dry and also when the vehicle is wet if this is required. All circuits and electrical components shall be connected; therefore, all concerned switches and contactors shall be positioned such that all parts of the electrical installation supplied at band III voltage are energized during the test. This can be achieved by following instructions based on the circuit diagrams of the vehicle or (also to facilitate the periodical test) by operating an integrated test function of the system.

Before testing, the mass connection of the leakage current detector (see 5.1.6) shall be removed if this is specified by the manufacturer of the device for this measurement. In this case, a separate periodical test for the leakage detector shall be specified.

The measure shall be carried out with a megaohmmeter with a generator (that is part of the instrument) for 1 000 V DC.

The megaohmmeter shall be connected as indicated in Figure 5.



Key

- 1 circuit or electrical component
- 3 vehicle mass (chassis)
- 4 measuring instrument

Figure 5 – Megaohmmeter connection

When intermediate masses are present, the instrument shall be connected as shown in Figures 4 b) and c).

Depending on the provisions (in accordance with IEC 61991), to prevent electrical hazards, if applicable, the insulation resistance test in 6.2.9 can be carried out by following the same procedure specified in the periodical insulation resistance test in 6.4.

6.2.10 Insulation resistance values for circuits and components supplied at a voltage of band II

The insulation resistance between the vehicle mass (chassis) and all the interconnected circuits and components supplied at a voltage of band II shall be measured.

The test is considered passed when the insulation resistance R , measured in a dry state, satisfies the following condition:

$$R \geq 10 \text{ M}\Omega$$

6.2.11 Insulation resistance tests for circuits and components supplied at a voltage of band II

The insulation resistance tests shall be made with the vehicle dry and also when the vehicle is wet if this is required. All circuits and electrical components shall be connected; therefore, taking into consideration the electrical diagram of the vehicle's equipment, all concerned switches and contactors shall be in the position to energize all parts of the electrical installation supplied at band II voltage during the test. This can be achieved by following instructions based on the circuit diagrams of the vehicle or (also to facilitate the periodical test) by operating an integrated test function of the system.

Before testing, the mass connection of the leakage current detector (see 5.1.6) shall be removed if this is specified by the manufacturer of the device for this measurement. In this case, a separate periodical test for the leakage detector shall be specified.

The measurement shall be carried out with a megaohmmeter with a generator (that is part of the instrument) for 1 000 V DC.

The megaohmmeter shall be connected as indicated in Figure 5.

Depending on the provisions (in accordance with IEC 61991) to prevent electrical hazards, if applicable, the insulation test can be carried out by following the same procedure specified in the periodical insulation resistance test in 6.4.

6.3 Overhauled trolley-bus

6.3.1 Tests and verification of the electrical equipment

Upon new commissioning of the overhauled vehicle, the verifications of dielectric properties required under 6.2.1 to 6.2.4 shall be repeated with values reduced to 85 % of U_a .

6.3.2 Measurements and value of the insulation resistance

The insulation resistance tests described in 6.2.7, 6.2.9 and 6.2.11 shall be carried out on the overhauled portion of the electric installation and at the associated voltage band.

The tests are considered successful when the insulation resistance is at least 1/3 of the values required for a new vehicle.

6.3.3 Insulation resistance tests

See the requirements in 6.2.7, 6.2.9 and 6.2.11.

6.3.4 Trolley bus after minor or maintenance repairs

Depending on the range of repair, tests shall be carried out corresponding to the subclauses of 6.3. In particular, for components tested in the workshop on product standards, only the on-board insulations shall be tested. For further tests, refer to 6.4.2.

6.4 On-duty trolley-bus (periodic checks)

6.4.1 Insulation decay and provisions required

During service, the insulation can suffer decay due to several external causes (mud, rain, etc.), gradual wear or fault; this decay, beyond a given limit, shall be revealed by the leakage detector (see 5.1.6). To provide a suitable safety margin of the insulation level of the vehicle, two provisions are necessary:

- verifications and periodical checks according to 6.4.2 and 6.4.3. When the verified insulation resistance results are equal to or lower than those indicated in Table 5, the vehicle shall be immediately submitted to maintenance before being put into service again;
- verification of the efficiency of the leakage detector, if any, as per 6.5.3. When the verified insulation resistance value results are equal to or lower than what is required in 6.5.2, the vehicle shall be immediately submitted to maintenance before being put into service again.

6.4.2 Periodical checks and tests of the insulation during maintenance

Repairs or modifications to the vehicle shall not result in a reduction of safety relative to its original state. In particular, this concerns:

- creepage distances and clearances,
- protection measures against electric shock,
- protection against ingress of moisture and dust,
- protection measures against mechanical and other hazards,
- the functional sequence of the software, if required.

The qualified electrician responsible for the test shall decide whether additional tests are required to demonstrate that the level of safety has been maintained.

To be observed during the final visual inspection:

- damage to connecting cables;
- damage to insulation;
- proper selection of wires and connectors;
- state of the terminals and wires;
- damage to bend protection and strain relief;
- damage to enclosure and protective covers;
- signs of prohibited manipulation or changes;
- degradation of safety by corrosion or deterioration of materials.

The insulation of the electrical equipment of the vehicle (or a part of the insulation system) should be verified based upon the operator's maintenance plan or following a fault.

These verifications shall be preceded by a visual inspection to check for any deterioration which could prevent operation and reduce safety.

Successively, the intermediate masses shall be individually checked using the device mentioned in 5.1.7 and, if required, the insulation resistance of the electrical equipment, of the systems or of the sub-systems concerned shall be measured. If available, a specific test board as described in Clause A.9 may be used for this purpose.

6.4.3 Periodical checks and tests of the insulation

The law in some countries prescribes annual visits, checks and tests on the rolling stock. Within the scope of these events, the insulation resistance measurements shall be carried out in accordance with 6.2.7, 6.2.9 and 6.2.11.

Tests are described in 6.2.7, 6.2.9 and 6.2.11 and for the minimum values of the insulation resistance in dry conditions, the following minimum values are recommended:

- for each single insulation $\geq 500 \text{ k}\Omega$;
- for parallel circuits of all double insulations $\geq 1 \text{ M}\Omega$ (entire vehicle).

Table 5 – Summary of electric tests

Voltage band	New vehicle	Overhauled vehicle	On-duty vehicles
Band II	Test voltage U_a based on U_{Nm} (refer to IEC 62497-1: 2010, Table B.1) ^a	85 % test voltage U_a based on U_{Nm} (refer to IEC 62497-1: 2010, Table B.1)	
	Insulation $R \geq 10 \text{ M}\Omega$ (megaohmmeter 1 000 V DC)	Insulation $R \geq 3,3 \text{ M}\Omega$ (megaohmmeter 1 000 V DC)	Insulation $\geq 500 \text{ k}\Omega$ (megaohmmeter 1 000 V DC)
Band III	Test voltage U_a based on U_{Nm} (refer to IEC 62497-1: 2010, Table B.1)	85 % test voltage U_a based on U_{Nm} (refer to IEC 62497-1: 2010, Table B.1)	
	Insulation $R \geq 10 \text{ M}\Omega$ (megaohmmeter 1 000 V DC)	Insulation $R \geq 3,3 \text{ M}\Omega$ (megaohmmeter 1 000 V DC)	Insulation $\geq 500 \text{ k}\Omega$ (megaohmmeter 1 000 V DC)
^a The manufacturer shall supply for each group of components of the same voltage band, the rated insulation voltage U_{Nm} in order to assess the test voltage U_a given in IEC 62497-1: 2010, Table B.1.			

6.5 Leakage detectors (overhaul, definitions, thresholds)

6.5.1 Operating voltages and temperature ranges

The leakage detecting apparatus shall operate correctly in the range of from $0,67 U_n$ to $1,2 U_n$ referred to the nominal line voltage (see 4.1.2), specified in IEC 60850.

The same applies in the voltage range of $0,70 U_n'$ to $1,15 U_n'$, specified in IEC 60571, when the apparatus is supplied by the battery of the vehicle network (see 5.4) having the nominal voltage U_n' .

Characteristics of the supply voltage as described in ISO 16750-2 for motor vehicles shall not impact the functionality of the detector.

The temperature range shall comply with IEC 62498-1 according to environmental conditions and the installation location in the vehicle.

6.5.2 Operation and alarm of the detector

As indicated in 5.1.6, the leakage detector, if any, shall give an alarm signal, optical and acoustical, at the intervention level (threshold) specified in 6.5.3.

To prevent faulty activation at sections, switches and section insulators of the overhead contact line, the device shall not take into consideration short-term reductions in the insulation resistance as well as exceedances of the leakage current or of the touch voltage. For the single monitoring of the vehicle mass (chassis) (i.e. complete insulation), the time-dependent limit values from IEC TS 60479-1 and IEC 62128-1 shall apply. If basic and supplementary insulation are independently monitored to identify the need for unscheduled maintenance, longer time limits may be specified by the operator.

If the value falls short of the static limit value, the vehicle shall be immediately removed from service, according to the procedures stated by the operator, for undergoing the verifications and repairs in accordance with 6.4.2.

The following subclauses show that a leakage detector, similar to other insulated applications, can be used to increase the availability and/or for preventative maintenance. In this case, safety is ensured by the double insulation instead of equipotential bonding/grounding.

6.5.3 Limits and calibration of the detector

6.5.3.1 General

Limit values for perceptual thresholds, pain thresholds and hazard threshold as a function of the leakage current are specified in IEC TS 60479-1 and, based upon this, the thresholds assuming voltage-dependent transitional and body resistance values as a function of the touch voltage are specified in IEC 62128-1.

To prevent accidents caused indirectly by leakage currents or touch voltages (e.g. falling), the static limits of the perceptual thresholds shall be applied for testing.

The limits for current, voltage and resistance specified refer to the monitoring of the overall insulation of the vehicle, made up of a parallel circuit of all the double insulations. For the monitoring of all the basic and/or supplementary insulations by monitoring of the intermediate masses described in 5.1.7, other/higher values may be useful and shall be specified by the manufacturer together with the relevant check.

6.5.3.2 Leakage current monitoring

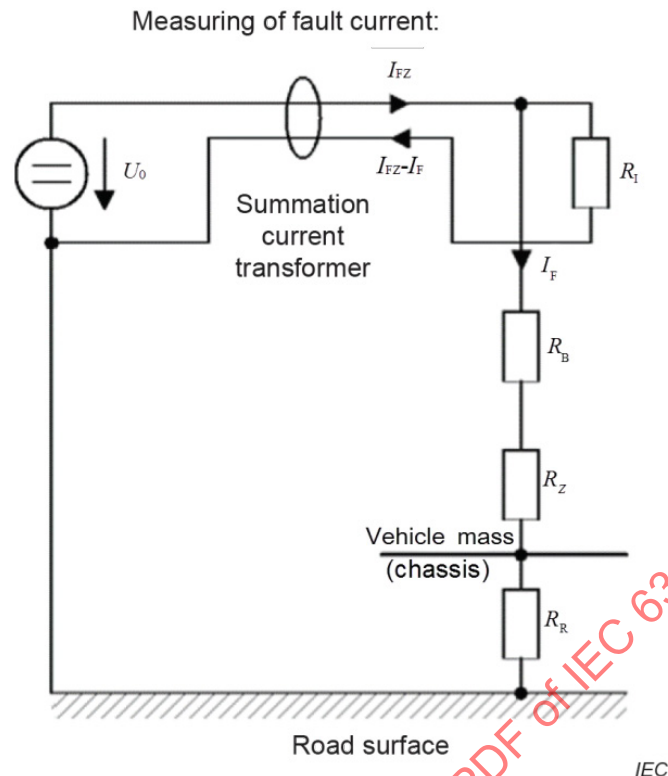
The static limit value for the leakage current I_F , derived from IEC TS 60479-1, is 2 mA for direct current and 0,5 mA for alternating current. For higher frequencies, IEC 60479-2 applies.

The summation current transformer used for monitoring shall meet extremely high demands owing to the high system currents (> 500 A) and low limit values (< 2 mA). Transient events and capacitive coupling may easily cause spurious tripping.

Owing to the indeterminate transition resistance to the ground, the fault may be detected in the worst case only when the leakage is caused by a human being. System components on the supply side of the current transformer and the transformer directly are not monitored.

Intermediate masses cannot be monitored using this method.

Leakage current monitoring circuit is shown in Figure 6.

**Key**

- U_0 no-load voltage of overhead contact line
 R_B resistance of basic insulation of vehicle
 R_Z resistance of supplementary insulation of vehicle
 R_i internal resistance of trolley bus installation
 I_{FZ} total current of vehicle
 I_F fault current of vehicle
 R_R transition resistance of tyres from vehicle to surface

Figure 6 – Leakage current monitoring**6.5.3.3 Insulation resistance monitoring**

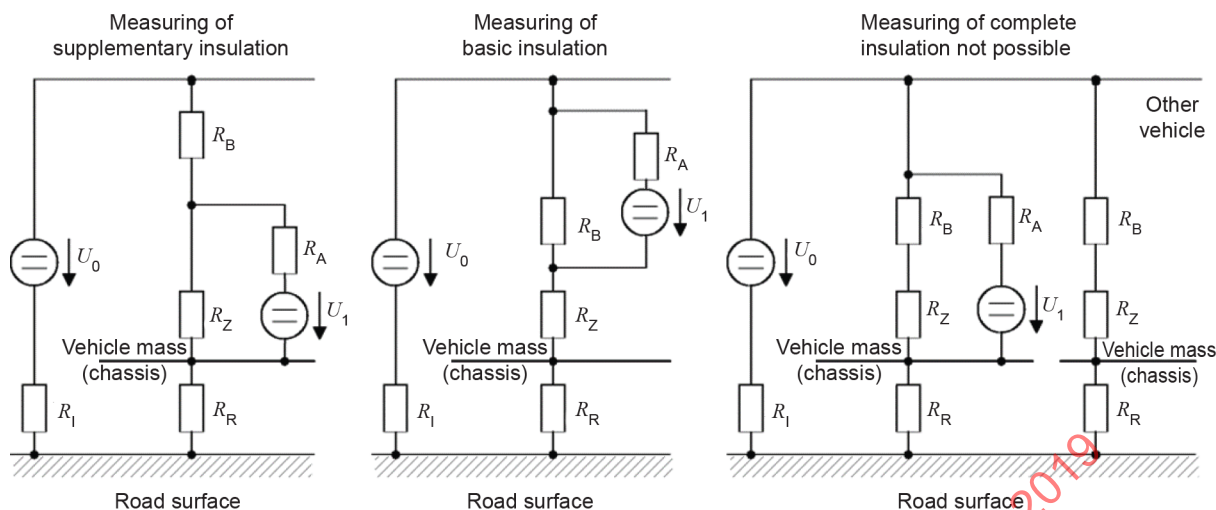
The static limit value for the minimum insulation resistance $R_{\min}$ results from the nominal voltage and the limit value for the leakage current with sufficient margin to the limit of 500 kΩ in 6.4.3 for single insulations:

$$R_{\min} = U_n / 2 \text{ mA.}$$

The insulation resistance is determined by applying a measuring voltage that generates a measurement current. The voltage is applied to the insulation distance via coupling resistances that increase the internal resistance of the measuring instrument.

This monitoring principle can only sense one path or the summary of several paths of basic or supplementary insulations. Bridging the path by means of the coupling resistance, which shall be chosen to be as small as possible to reduce the measuring time, is disadvantageous. Parasitic capacitance or wiring capacitance will increase the response time.

The overall insulation cannot be sensed directly since the insulation resistance values of the traction substations, of the contact wire and of other vehicles (all switched in parallel) are sensed via the transitional resistance to the ground, which may cause spurious tripping.



IEC

Key

- U_0 no-load voltage of overhead contact line
- U_1 measuring voltage
- R_B resistance of basic insulation of vehicle
- R_Z resistance of supplementary insulation of vehicle
- R_R transition resistance of tyres from vehicle to surface
- R_A coupling resistance of insulation monitoring device
- R_1 insulation resistance of substation and overhead line

Figure 7 – Insulation resistance monitoring

The individual values of all the basic and supplementary insulation systems shall be acquired. The acquisition time depends on the time constant that is determined by the coupling resistance of the acquisition and the capacity of the basic and supplementary insulation of the measuring point.

To determine the overall insulation, a calculation based on the individual values is required, which requires an addition of all the measurement times.

Switch off or separation of the equipment within the time limits, given by IEC 62128-1 or IEC TS 60479-1, is not possible (see also 6.5.2).

Insulation resistance monitoring circuit is shown in Figure 7.

6.5.3.4 Touch voltage monitoring

The static limit for touch voltage is taken from IEC 62128-1 and is 60 V DC or 25 V AC.

Since the voltage limit values in IEC 62128-1 do not drop below the perceptual threshold under all circumstances, the lower values should be targeted at the response threshold of the touch voltage. The internal resistance of the voltage acquisition shall be chosen according to the leakage current threshold.

If the voltage is measured via electrically conducting sliding wires, the acquisition depends on the contact to ground, its conductivity and transitional resistances connected in parallel (e.g. tyres).

The circuit for touch voltage monitoring with sliding wires is shown in Figure 8.

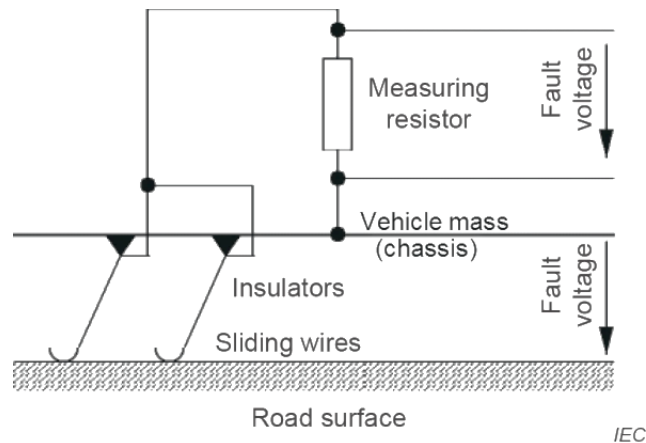
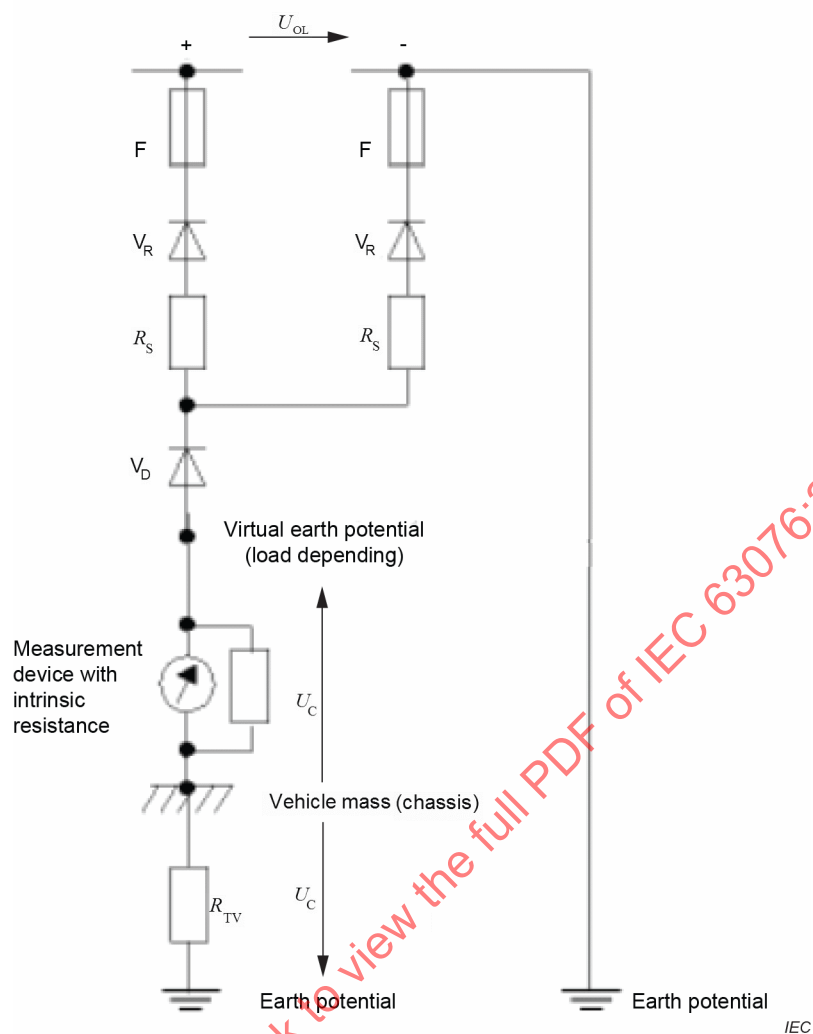


Figure 8 – Touch voltage monitoring with sliding wires

If the voltage is measured indirectly against the grounded pole of the overhead contact line, the voltage between the vehicle and the ground is increased compared to the measured voltage if the overhead contact line is loaded. This effect is due to the voltage drop on the overhead contact line from the vehicle to the next grounding point.

If the individual segments of the overhead contact line are grounded at each power feed (refer also to Figure 10), this voltage drop is split between the conductor and the return conductor and amounts to half the difference between the open-circuit voltage at the power feed and the overhead contact line voltage at the measuring point. Since, in accordance with IEC 60850, the maximum voltage drop is 200 V at 600 V and 250 V at 750 V nominal contact line voltage, values increased by 100 V to 125 V are possible. If the open circuit voltage of the power feeds is absolutely identical, the voltage drop can be compensated by means of a controllable voltage source.

The circuit for touch voltage monitoring with grounded overhead contact line is shown in Figure 9.

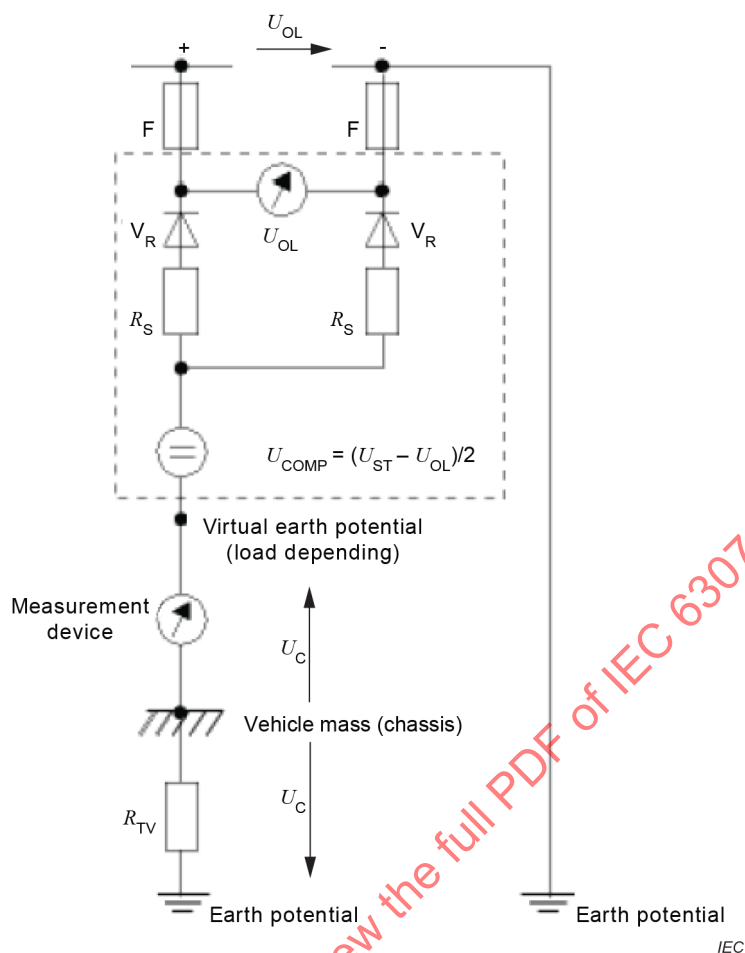


Key

- F 2-pole, very low current, DC-circuit-breaker
- V_R rectifier diode
- V_D decoupling diode
- R_S series resistor for current limitation
- R_{TV} transition resistance of tires
- U_{OL} open-circuit voltage of overhead line
- U_c contact voltage

Figure 9 – Touch voltage monitoring with grounded overhead contact line

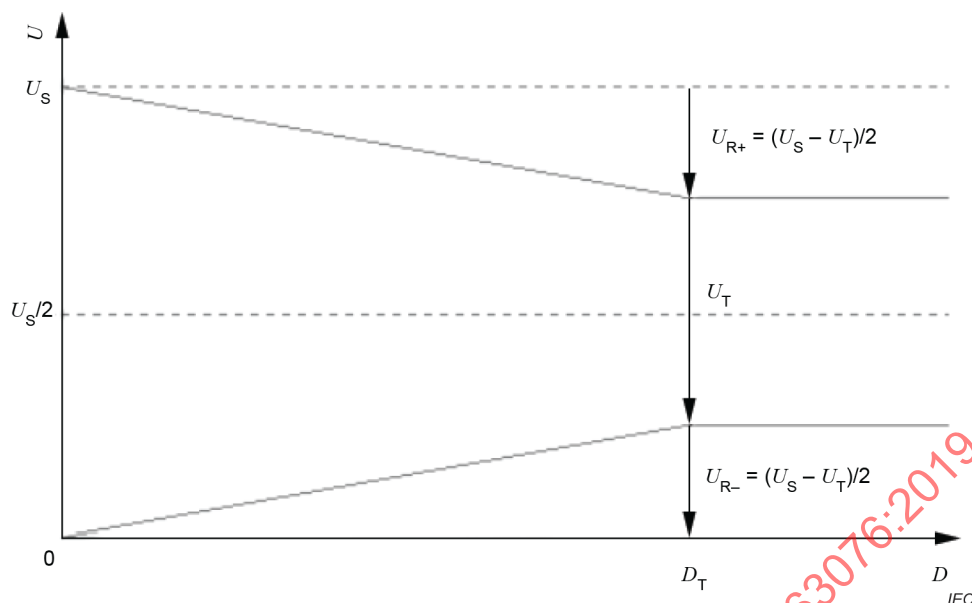
In the case of indirect measurement against the grounded pole, particular importance is attached to the decoupling from the contact line, especially from the ungrounded pole. Additional measures that prevent the application of a permanent voltage to the vehicle mass (chassis), if a decoupling section fails, shall be provided.

**Key**

F	2-pole, very low current, DC circuit breaker
V _R	rectifier diode
R _S	series resistor for current limitation
R _{TV}	transition resistance of tires
U _{OL}	voltage of overhead contact line
U _C	contact voltage
U _{COMP}	compensation voltage
U _{ST}	no load voltage of substation

Figure 10 – Compensation of the voltage drop on the grounded overhead contact line

In this case, the internal resistance can be used to limit the potential of the vehicle mass (chassis) relative to the grounded pole of the contact line. Under certain conditions, the effectiveness of this measure can be increased by compensating for the voltage drop shown in Figure 11 by a voltage-controlled voltage source (Figure 10).



Key

- U_s open-circuit voltage of substation
- U_T line voltage (detected from trolleybus)
- U_{R+} voltage drop along positive wire
- U_{R-} voltage drop along negative wire
- D_T distance of trolley bus to substation

Figure 11 – Voltage development with a load connected to the overhead contact line

If the overhead contact line is grounded at the traction substations and their open circuit voltage is set absolutely identically, this voltage drop can be compensated for by means of a controllable voltage source.

6.5.4 Periodic efficiency checks

6.5.4.1 General

Particular care shall be given to ascertain that the leakage detector, if any, continues to operate and that the calibration remains within the values required in 6.5.2 and within the associated voltages and currents.

Such verifications shall be carried out not only with a new or overhauled vehicle, but also periodically in accordance with the maintenance plan of the operator and in any case before putting the vehicle into service after repair work caused by an insulation deficiency.

The minimum insulation resistance limits for setting the monitoring are derived from 6.5.3.3: $300 \text{ k}\Omega \pm 45 \text{ k}\Omega$.

The maximum leakage current limits are derived from IEC TS 60479-1: $2 \text{ mA} \pm 0,3 \text{ mA}$.

The maximum voltage limits are derived from IEC 62128-1: $60 \text{ V} \pm 9 \text{ V}$.

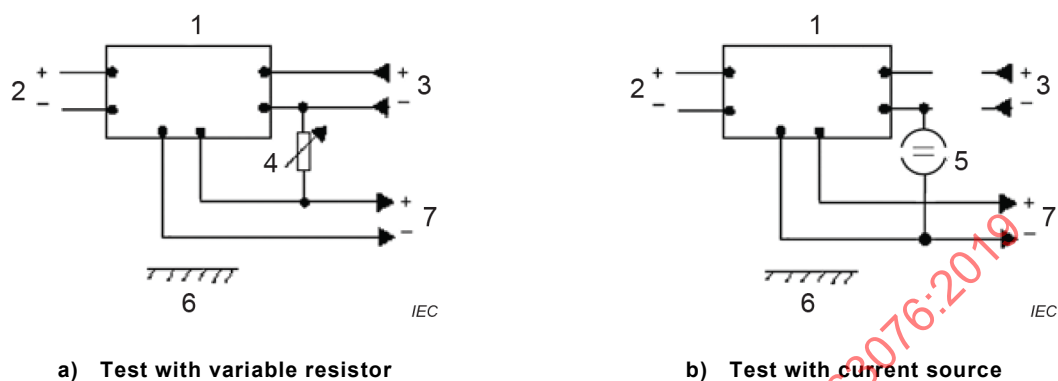
The measurement tolerance is derived from IEC 61557-8: $\pm 15 \%$.

When checking with line voltage, the pertinent safety regulations shall be observed.

NOTE In Europe, the standards of the EN 50110 series are used for this purpose.

6.5.4.2 Checking the leakage current monitoring

For checking purposes, an appropriate current source or a settable resistor, in connection with the system, if applicable, can be used together with the line voltage. The monitor shall respond at a leakage current of 2 mA against ground that is located on the vehicle's side behind the point of measurement.



Key

- 1 leakage detector
- 2 battery voltage
- 3 line voltage
- 4 connect different poles up- and downstream of the device with the variable resistor ($R_{\min}$ = variable leakage resistance externally applied)
- 5 connect equal poles up- and downstream with a current source
- 6 vehicle mass (chassis)
- 7 outgoing line to the vehicle downstream of the measurement

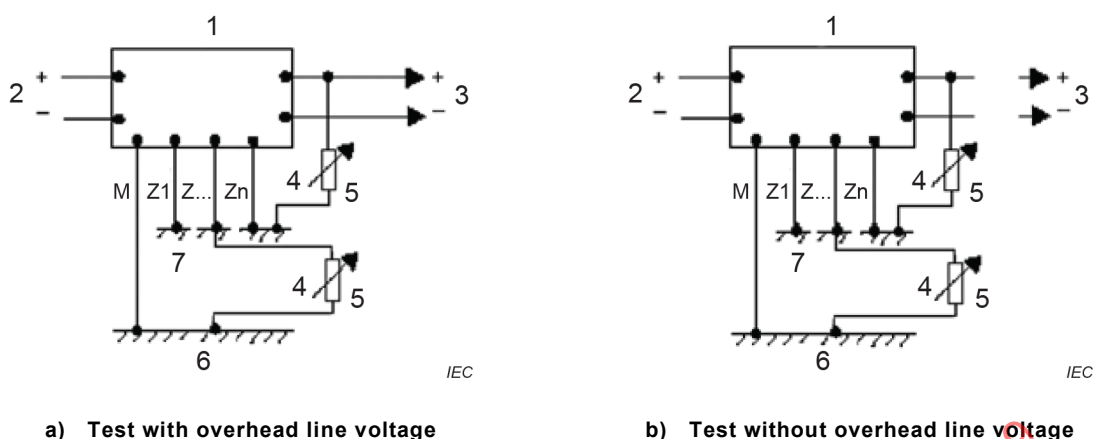
Figure 12 – Function check of the leakage current monitoring

To establish more safety during the test, the test should be carried out with the current source without connection to the overhead line. Figure 12 a) only serves for clarification.

The test is successfully passed when the device responds at $2 \text{ mA} \pm 0,3 \text{ mA}$.

6.5.4.3 Check of the insulation resistance monitoring

For checking purposes, settable resistances (also without connection of the system with the line voltage) can be used. Apart from the individual measurements between the contact line and the intermediate mass and the intermediate mass and the vehicle mass (chassis) (Figure 13), the overall insulation shall be checked by connecting the resistors simultaneously to an intermediate mass. The monitoring shall then respond to the minimum value of the overall insulation defined above.



Key

- 1 leakage detector
- 2 battery voltage
- 3 line voltage
- 4 connect intermediate mass connectors Z1...Zn with the measurement resistors
- 5 R_{min} = variable resistor externally applied
- 6 vehicle mass (chassis)
- 7 intermediate mass
- M connection between the vehicle mass (chassis) and the measurement resistor

Figure 13 – Function check of the insulation resistance monitor

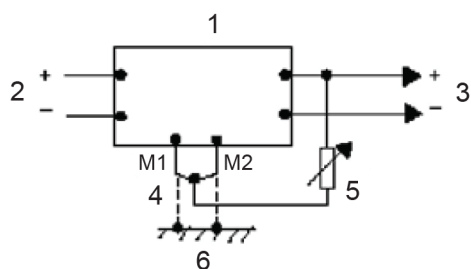
To establish more safety during the test, the test should be carried out without connection to the overhead line. Figure 13 a) only serves for clarification.

The test is successfully passed, when the device responds at $300 \text{ k}\Omega \pm 45 \text{ k}\Omega$.

6.5.4.4 Checking the touch voltage monitor

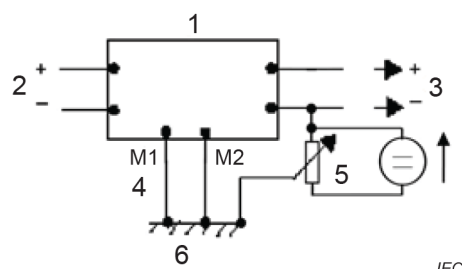
For checking purposes, an appropriate voltage source or a settable resistor in connection with the line voltage can be used. If the transitional resistance to ground cannot be increased by means of insulating mats to the extent that the measurement is falsified, the connection of the measuring instrument to the vehicle mass (chassis) shall be disconnected for the check.

Criteria for the function check with a grounded supply of the test setup and the overhead line voltage as the driving voltage are shown in Figure 14.



IEC

a) Test with overhead line voltage



IEC

b) Test without overhead line voltage

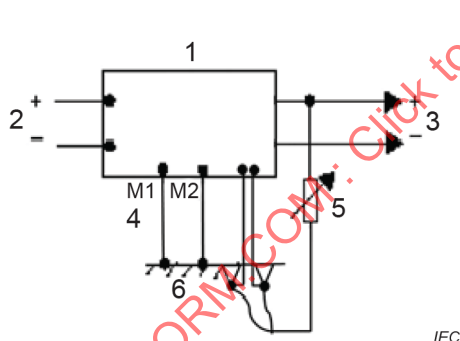
Key

- 1 leakage detector
- 2 battery voltage
- 3 line voltage
- 4 where applicable, disconnect the measurement connections M1/M2 from the vehicle mass (chassis) and short-circuit them
- 5 $R_{\min}$ = variable resistor externally applied between + and the measurement connections or external test voltage source and variable resistor applied between – and the vehicle mass (chassis)
- 6 vehicle mass (chassis)

Figure 14 – Function check of the touch voltage monitor with vehicle mass (chassis)

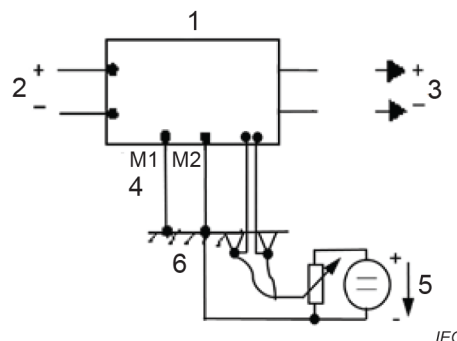
To establish more safety during the test, the test should be carried out with an external voltage source without connection to the overhead line. Figure 14 a) only serves for clarification.

The test is successfully passed when the device responds at $60 \text{ V} \pm 9 \text{ V}$.



IEC

a) Test with overhead line voltage



IEC

b) Test without overhead line voltage

Key

- 1 leakage detector
- 2 battery voltage
- 3 line voltage
- 4 where applicable disconnect the measurement connections M1/M2 from the vehicle mass (chassis) and short-circuit them
- 5 $R_{\min}$ = variable resistor externally applied between + and sliding wires or external test voltage source and variable resistor applied between sliding wires and the vehicle mass (chassis)
- 6 vehicle mass (chassis)

Figure 15 – Function check of the touch voltage monitor with sliding wires

To establish more safety during the test, the test should be carried out with an external voltage source without connection to the overhead line. Figure 15 a) only serves for clarification.

The test is successfully passed when the device responds at $60 \text{ V} \pm 9 \text{ V}$.

Annex A (normative)

Constructional detailed provisions

A.1 General

Considering the specific characteristics of a trolley bus vehicle, it is considered necessary to recall the following points, which shall be carefully considered during the design and manufacture.

A.2 Attachment of the current collection system and other components

Large components and their mounting parts shall be designed to withstand the load as specified by the vehicle manufacturer. Without information, the requirements shall comply with IEC 61373 and ISO 16750-3, if applicable.

The current collection system and the poles to the base shall be fitted and secured in order to prevent disconnection or loss of parts, taking into account shocks due to dewirement of the trolley.

A.3 Insulations

The insulating covers, the interposed insulations, clearance in air and the protection against water penetration shall be adequately designed and maintained. The design of insulation distances is detailed in IEC 62497-1.

IEC 62497-1 provides only minimum values for creepage distances regarding the voltage stress on insulation. Layout of creepage distances in accordance with IEC 62497-1 without additional measures can result in unacceptable insulation resistances resulting in high leakage currents.

For outdoor use on systems without a protecting earth conductor, the manufacturer shall design appropriate creepage distances regarding the environmental data given by the operator, to ensure compliance with the minimum insulation resistance values given in Table 5.

The approval is achieved by visual inspection and measurement of the length of clearances and creepage distances.

The design of insulation systems shall consider carefully pollution degree, form and material. Insulators with grooves, drip edges or installed in environmental protected locations or made of silicone shall be preferred. For protection of insulation in the lower part of the vehicle, splash protection shall be provided to prevent water film formation. A combination of covers and mud flaps to the wheel houses shall be provided.

Insulation in air ducts, in particular in electric warm-air heaters, is susceptible to pollution and, with high air moisture, the insulation resistance of the heaters easily tends to fall below the limits given in Table 5. Therefore, their cleaning shall be included in the maintenance plan (also for reasons of fire safety).

Positioning of external air intakes shall carefully consider the amount of pollution. Water separators with subsequent filtering shall be provided.

A.4 Ventilation

The compartments housing contactors or switching devices, which may produce an arc during breaking, shall be adequately ventilated to avoid accumulation of ionized air. The same precautions shall be used for compartments containing batteries.

Installation spaces for electronic components, having at least a protection degree of IP54 in accordance with IEC 60529, are necessary to be separated from ventilated installation spaces.

A.5 Accessibility

The arrangement of the individual equipment and of cabling shall be designed taking into account the need of accessibility and inspection: the cables shall not create an obstacle to access parts to be calibrated or subject to wear and tear.

A.6 Location of the main circuit breaker

Mounting of the main protection equipment shall ensure that, particularly under fault conditions, the circuit breaker arc does not reach flammable parts. In particular, mounting in the passenger compartment is not allowed.

A.7 Inlet and outlet points of cables

The inlet and outlet points through the vehicle's body and from the conduits under the chassis shall be protected against penetration of water or mud and against the formation of moisture. Degrees of protection and the relevant tests are described in IEC 60529. The aging of sealing materials and gaskets shall be considered.

A.8 Cabling

Particular care shall be given to the routing, anchoring location and spans of cables, to avoid their loosening or abrading owing to vibrations, considering, if any, passages in proximity to metallic edges. The installation instructions of IEC 62995 shall be observed.

A.9 Test terminal board

In order to facilitate the checks and measurements of the electrical insulation, it is advisable to provide a terminal board, on the vehicle, to which all intermediate masses and other components, requiring verification, are connected. This terminal board may be part of the insulation monitoring device in accordance with 5.1.6 or 5.1.7. The design shall be agreed between the operator and the manufacturer.

A.10 Insulation leakage pre-alarm

To give an early indication of insulation deterioration, particularly in the presence of adverse climatic conditions, it is suggested that an insulation leakage pre-alarm be fitted. This device will measure the insulation resistance and will have a threshold of pre-alarm at a value to be agreed with the operator. This device may be considered a complement of the terminal board mentioned in Clause A.9 or of the device described in 5.1.6.

A.11 Equipment connected to different voltage band circuits

In the case of connection to circuits supplied with band I and II voltages, having components supplied with band III voltages, particular attention shall be given to the integrity of terminals and clearances for the cabling. If necessary, additional clamps and protections shall be added, suitable to avoid contact between different voltage bands, even in the case of detachment of the terminals.

For double insulations, in addition to the requirements of IEC 61991, one cause shall not lead to the deterioration of the basic insulation and the supplementary insulation at the same time.

A.12 Segregation of band III circuits

The compartments containing electrical components at band III voltages, placed inside the vehicle, shall be securely closed and protected from unauthorized access. Warning signs in compliance with IEC 61991 shall be mounted on the cover of these compartments.

IEC 60529 requires the protection degree IPXXD within the passenger or the luggage compartments. In areas other than the roof, protection degree IPXXB applies. On the roof, no protection is required, because of protection by distance in accordance with IEC 61991.

A.13 Batteries and other energy storage devices

When operation of the vehicle with or without an overhead contact line is planned with batteries or other energy storage devices, such as capacitors and flywheel storage devices, these devices should be selected among those commonly used in traction and road vehicles (see ECE Regulation No. 100, ISO 6469-1 and ISO 6469-3).

Depending on the mode of operation of the energy storage system, the need of a double insulation shall be verified. Where, during operation (charging or discharging), there is no galvanic isolation from the overhead line, supplementary insulation shall be retrofitted in the mechanical structure as well as for the voltage supply and the signal interfaces of the control electronics.

A galvanically isolated charger and a galvanically separable connection of the traction circuit with an isolating contactor in accordance with 5.2.4.2 is recommended. This increases crash safety and allows battery systems only with basic insulation (battery bus standard).

The selection of energy storage devices shall be made taking into consideration the safety of staff and passengers, and by applying the International Standards relevant for the kind of energy storage device selected. Refer to IEC 61881 series, IEC 60077-1, IEC 62196-1 and IEC 62928.

Special attention shall be paid to additional hazards in the case of an accident. Chemical and thermal effects owing to leakage and short-circuits in the energy storage device shall be taken into account. The partitioning in units with rated voltages < 120 V by use of additional isolation contactors is recommended. The probability of energy release and the energy released will be reduced, as well as the possible touch voltage being reduced to acceptable values.

If applicable, discharging devices shall comply with IEC 61991 and the IEC 61881 series. Corresponding warning signs shall be additionally affixed. The handling of capacitors is described in the IEC 61881 series.

NOTE In Europe, general handling instructions are specified in EN 50110-1.

Recommendations for external charging systems of energy storage devices are specified in ECE Regulation No. 100, IEC 62196-1, and in IEC 61851.

A.14 Fuel cells

With respect to electrical safety, fuel cells can be considered auxiliary power supplies. The vehicle standard ISO 23273 shall apply.³

It specifies general requirements for electrical systems; in particular, there are differences in electric shock protection and the voltage bands.

A.15 Environmental conditions

The ambient temperature range shall be specified by the operator and the operating temperature range in accordance with IEC 62498-1 shall be determined by the manufacturer.

More environmental conditions can be specified by the operator and the operating conditions in accordance with IEC 60721-3-5 shall be determined by the manufacturer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63076:2019

³ See also ECE Regulation No. 100.

Annex B (informative)

Open door interlocking

The following requirements of ECE Regulation No. 107 should be met:

- 7.6.5.1.8: the doors should be prevented from opening if the vehicle moves at a speed higher than 5 km/h;
- 7.6.5.8: a starting prevention device, if fitted, should be effective only at speeds of less than 5 km/h and should be incapable of operation above that speed;
- 7.6.5.9: if the vehicle is not fitted with a starting prevention device, an audible warning to the driver should be activated if the vehicle is driven away from rest when any power-operated service door is not fully closed; this audible warning should be activated at a speed exceeding 5 km/h for doors complying with the requirements of 7.6.5.6.1.2.3.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63076:2019

Bibliography

IEC 60034 (all parts), *Rotating electrical machines*

IEC 60112, *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*

IEC 60146 (all parts), *Semiconductor converters*

IEC 60310, *Railway applications – Traction transformers and inductors on board rolling stock*

IEC 60332 (all parts), *Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions*

IEC 60913, *Railway applications – Fixed installations – Electric traction overhead contact lines*

IEC 61000-3-12, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-12: Limits – Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current > 16 A and ≤ 75 A per phase*

IEC 61140, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*

IEC 61377, *Railway applications – Rolling stock – Combined test method for traction systems*

IEC 62278 (all parts), *Railway applications – Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS)*

IEC 62279, *Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Software for railway control and protection systems*

IEC 62425, *Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety related electronic systems for signalling*

IEC 62497 (all parts), *Railway applications – Insulation coordination*

IEC 62498 (all parts), *Railway applications – Environmental conditions for equipment*

IEC 62576, *Electric double-layer capacitors for use in hybrid electric vehicles – Test methods for electrical characteristics*

ISO 6469-1, *Electrically propelled road vehicles – Safety specifications – Part 1: Rechargeable energy storage system (RESS)*

ISO 6469-2, *Electrically propelled road vehicles – Safety specifications – Part 2: Vehicle operational safety*

ISO 7637-1, *Road vehicles – Electrical disturbances from conduction and coupling – Part 1: Definitions and general considerations*

ISO 7637-2, *Road vehicles – Electrical disturbances from conduction and coupling – Part 2: Electrical transient conduction along supply lines only*

ISO 7637-3, *Road vehicles – Electrical disturbances from conduction and coupling – Part 3: Electrical transient transmission by capacitive and inductive coupling via lines other than supply lines*

ISO 9001, *Quality management systems – Requirements*

ISO 16750-1, *Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment – Part 1: General*

ISO 16750-4, *Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment – Part 4: Climatic loads*

ISO 16750-5, *Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment – Part 5: Chemical loads*

EN 45502 (all parts), *Active implantable medical devices*

EN 45545-5, *Railway applications – Fire protection on railway vehicles – Part 5: Fire safety requirements for electrical equipment including that of trolley buses, track guided buses and magnetic levitation vehicles*

EN 50110 (all parts), *Operation of electrical installations*

EN 50110-1:2013, *Operation of electrical installations – Part 1: General requirements*

EN 50178, *Electronic equipment for use in power installations*

EN 50264 (all parts), *Railway applications – Railway rolling stock power and control cables having special fire performance*

EN 50306 (all parts), *Railway applications – Railway rolling stock cables having special fire performance – Thin wall*

EN 50355, *Railway applications – Railway rolling stock cables having special fire performance – Guide to use*

DIN VDE 0701-0702, *Inspection after repair, modification of electrical appliances – Periodic inspection on electrical appliances – General requirements for electrical safety*

Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (18th individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC)

ECE Regulation No. 10, *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to electromagnetic compatibility*

ECE Regulation No. 13, *Uniform provisions concerning the approval of vehicles of categories M, N and O with regard to braking*

ECE Regulation No. 100, *Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to specific requirements for the electric power train*

ECE Regulation No. 107, *Uniform provisions concerning the approval of category M2 and M3 vehicles with regard to their general construction*

SR 734.2, *Ordinance on electrical power installations*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63076:2019

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	53
1 Domaine d'application	55
2 Références normatives	56
3 Termes et définitions	57
4 Tensions et classification des domaines de tension	60
4.1 Tensions	60
4.1.1 Généralités	60
4.1.2 Tensions de service	60
4.1.3 Tensions d'isolement et tensions d'essai	61
4.1.4 Surtensions	61
4.2 Classification des domaines de tension	61
5 Construction des trolleybus	61
5.1 Critères de protection et de sécurité électrique	61
5.1.1 Critères de protection contre les contacts directs et indirects	61
5.1.2 Marches, colonnes, barres d'appui, rampes et plates-formes d'accès	64
5.1.3 Portes et poignées de porte	64
5.1.4 Câblage	64
5.1.5 Verrouillage des portes ouvertes	65
5.1.6 Détecteur de courant de fuite	65
5.1.7 Détecteur d'isolement de la masse intermédiaire	66
5.1.8 Condensateurs	66
5.1.9 Liaisons équipotentielle	66
5.1.10 Compatibilité électromagnétique (CEM)	66
5.1.11 Protection contre les surtensions	67
5.2 Composants électriques du domaine de tension III	67
5.2.1 Généralités	67
5.2.2 Système de captage de courant	67
5.2.3 Matériel de traction électrique	68
5.2.4 Alimentation indépendante de la ligne aérienne de contact	69
5.2.5 Groupes auxiliaires	70
5.2.6 Systèmes de ventilation et de chauffage	71
5.2.7 Câbles	71
5.3 Composants électriques du domaine de tension II	71
5.3.1 Généralités	71
5.3.2 Câbles	71
5.3.3 Séparation des circuits de domaines de tension différents	71
5.4 Composants électriques du domaine de tension I	72
5.4.1 Généralités	72
5.4.2 Câbles	72
5.4.3 Séparation des circuits de domaines de tension différents	72
6 Vérifications et essais	72
6.1 Généralités	72
6.2 Trolleybus neufs	73
6.2.1 Vérification de la conception et de la construction	73
6.2.2 Essais de tension avec une source séparée appliquée sur des circuits et composants alimentés par des tensions du domaine III sur la ligne aérienne de contact	74

6.2.3	Essais de tension avec une source séparée appliquée sur des circuits et composants alimentés par des tensions du domaine III isolés de la ligne aérienne de contact.....	74
6.2.4	Essais de tension avec une source séparée appliquée sur des circuits et composants alimentés par des tensions du domaine II.....	75
6.2.5	Essais de l'isolement des zones d'entrée	76
6.2.6	Valeurs de résistance d'isolement pour les circuits et composants alimentés par des tensions du domaine III de la tension d'alimentation.....	76
6.2.7	Essais de résistance d'isolement pour les circuits et composants alimentés par la tension d'alimentation	77
6.2.8	Valeurs de résistance d'isolement pour les circuits et composants alimentés par des tensions du domaine III isolés de la tension d'alimentation	78
6.2.9	Essais de résistance d'isolement pour les circuits et composants alimentés par des tensions du domaine III isolés de la tension d'alimentation	78
6.2.10	Valeurs de résistance d'isolement pour les circuits et composants alimentés par une tension du domaine II.....	79
6.2.11	Essais de résistance d'isolement pour les circuits et composants alimentés par une tension du domaine II.....	79
6.3	Trolleybus révisés.....	79
6.3.1	Essais et vérification de l'équipement électrique	79
6.3.2	Mesurages et valeur de la résistance d'isolement	79
6.3.3	Essais de résistance d'isolement	80
6.3.4	Trolleybus après révisions mineures ou réparations de maintenance	80
6.4	Trolleybus en service (vérifications périodiques).....	80
6.4.1	Diminution de l'isolement et dispositions exigées.....	80
6.4.2	Vérifications périodiques et essais de l'isolement lors de la maintenance.....	80
6.4.3	Vérifications périodiques et essais de l'isolement	81
6.5	Détecteurs de courant de fuite (révisions, définitions, seuils).....	81
6.5.1	Plages de tensions et de températures de service	81
6.5.2	Fonctionnement et alarme du détecteur	82
6.5.3	Limites et étalonnage du détecteur	82
6.5.4	Vérifications d'efficacité périodiques	88
Annexe A	(normative) Dispositions détaillées de construction	93
A.1	Généralités	93
A.2	Fixation du système de captage de courant et des autres composants.....	93
A.3	Isolements	93
A.4	Ventilation.....	94
A.5	Accessibilité.....	94
A.6	Emplacement du disjoncteur principal	94
A.7	Points d'entrée et de sortie des câbles.....	94
A.8	Câblage	94
A.9	Plaque à bornes d'essai.....	94
A.10	Préalarme de détection de fuite de l'isolation	95
A.11	Équipement relié à des circuits de domaines de tension différents	95
A.12	Séparation des circuits du domaine III	95
A.13	Batteries et autres équipements de stockage de l'énergie	95
A.14	Piles à combustible	96
A.15	Conditions d'environnement	96

Annexe B (informative) Verrouillage des portes ouvertes	97
Bibliographie.....	98
Figure 1 – Vue d'ensemble de l'isolement – Trolleybus	63
Figure 2 – Déplacement maximum entre l'axe longitudinal du véhicule et l'axe médian de la caténaire	68
Figure 3 – Circuits d'essai.....	75
Figure 4 – Raccordement du mégohmmètre.....	77
Figure 5 – Raccordement du mégohmmètre.....	78
Figure 6 – Surveillance du courant de fuite	83
Figure 7 – Surveillance de la résistance d'isolement	84
Figure 8 – Surveillance de la tension de contact avec fils glissants.....	85
Figure 9 – Surveillance de la tension de contact avec ligne aérienne de contact mise à la terre.....	86
Figure 10 – Compensation de la chute de tension sur la ligne aérienne de contact mise à la terre.....	87
Figure 11 – Progression de la tension avec une charge reliée à la ligne aérienne de contact.....	88
Figure 12 – Vérification du fonctionnement de la surveillance du courant de fuite	89
Figure 13 – Vérification du fonctionnement de la surveillance de la résistance d'isolement	90
Figure 14 – Vérification du fonctionnement du dispositif de surveillance de la tension de contact avec la masse du véhicule.....	91
Figure 15 – Vérification du fonctionnement du dispositif de surveillance de la tension de contact avec fils glissants	91
Tableau 1 – Tensions nominales et limites admissibles en valeurs et en durée	60
Tableau 2 – Tensions d'isolement et tensions d'essai à la fréquence industrielle	61
Tableau 3 – Surtensions	61
Tableau 4 – Domaines de tension pour les trolleybus	61
Tableau 5 – Résumé des essais électriques	81

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**APPLICATIONS FERROVIAIRES – MATÉRIEL ROULANT –
ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES DES TROLLEYBUS –
EXIGENCES DE SÉCURITÉ ET SYSTÈMES DE CAPTAGE DE COURANT**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications, l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 63076 a été établie par le comité d'études 9 de l'IEC: Matériels et systèmes électriques ferroviaires.

La présente publication est basée sur l'EN 50502:2015.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
9/2530/FDIS	9/2543/RVD

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63076:2019

APPLICATIONS FERROVIAIRES – MATÉRIEL ROULANT – ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES DES TROLLEYBUS – EXIGENCES DE SÉCURITÉ ET SYSTÈMES DE CAPTAGE DE COURANT

1 Domaine d'application

Le présent document s'applique aux systèmes électriques à bord des véhicules de type trolleybus, tels que définis en 3.1, alimentés par une tension d'alimentation nominale (U_n) comprise entre 600 V en courant continu et 750 V en courant continu.

Le présent document définit les exigences et les recommandations de construction, notamment pour éviter les dangers de type électrique pour le public et le personnel. Lorsque les trolleybus sont soumis à des exigences particulières, des recommandations sont dispensées, concernant aussi bien la sécurité mécanique et fonctionnelle que la protection contre les incendies.

Le présent document concerne les équipements de transport public. Le présent document s'applique aux:

- trolleybus sans interface d'isolation embarquée par rapport à la ligne de contact,
- autobus équipés d'un rail d'alimentation en courant pour le guidage sur la surface de roulement,
- autobus guidés par un système de captage de courant bipolaire sur la toiture.

Le présent document ne s'applique pas aux:

- a) véhicules électriques équipés d'une alimentation électrique interne uniquement:
 - 1) véhicules hybrides,
 - 2) véhicules diesel – électriques,
 - 3) véhicules à pile à combustible,
 - 4) véhicules à batterie,
- b) véhicules équipés d'une liaison de protection de sécurité:
 - 1) trains de banlieue à pneumatique,
 - 2) autobus guidés alimentés par un rail d'alimentation en courant séparé,
 - 3) autobus guidés par rail équipés d'un système de captage de courant unipolaire sur la toiture,
- c) véhicules fonctionnant hors des zones accessibles au public:
 - 1) poids lourds électriques sur autoroute.

Le guidage et les rails d'alimentation en courant sont des solutions spécifiques et ne sont actuellement pas soumis à la normalisation comme les systèmes de captage de courant et les lignes aériennes de contact des trolleybus.

Le présent document traite principalement des réseaux mis à la terre, mais aussi des réseaux isolés galvaniquement.

2 Références normatives

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

IEC 60077 (toutes les parties), *Applications ferroviaires – Équipements électriques du matériel roulant*

IEC 60077-1, *Applications ferroviaires – Équipements électriques du matériel roulant – Partie 1: Conditions générales de service et règles générales*

IEC 60322, *Applications ferroviaires – Équipements électriques du matériel roulant – Règles relatives aux résistances de puissance de construction ouverte*

IEC 60349 (toutes les parties), *Traction électrique – Machines électriques tournantes des véhicules ferroviaires et routiers*

IEC 60479 (toutes les parties), *Effets du courant sur l'homme et les animaux domestiques*

IEC 60479-1, *Effects of current on human beings and livestock – Part 1: General aspects* (disponible en anglais seulement)

IEC 60479-2, *Effects of current on human beings and livestock – Part 2: Special aspects* (disponible en anglais seulement)

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

IEC 60571, *Applications ferroviaires – Équipements électroniques utilisés sur le matériel roulant*

IEC 60721-3-5, *Classification des conditions d'environnement – Partie 3: Classification des groupements des agents d'environnement et de leurs sévérités – Section 5: Installations des véhicules terrestres*

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

IEC 61111, *Travaux sous tension – Tapis isolants électriques*

IEC 61133:2016, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais de matériel roulant après achèvement et avant mise en service*

IEC 61287-1, *Applications ferroviaires – Convertisseurs de puissance embarqués sur le matériel roulant – Partie 1: Caractéristiques et méthodes d'essai*

IEC 61373, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Essais de chocs et vibrations*

IEC 61557-2, *Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension de 1 000 V c.a. et 1 500 V c.c. – Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection – Partie 2: Résistance d'isolement*

IEC 61557-8, *Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension au plus égale à 1 000 V c.a. et 1 500 V c.c. – Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection – Partie 8: Contrôleur permanent d'isolement pour réseaux IT*

IEC 61851 (toutes les parties), *Système de charge conductive pour véhicules électriques*

IEC 61881 (toutes les parties), *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Condensateurs pour électronique de puissance*

IEC 61991, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Dispositions de protection contre les dangers électriques*

IEC 62128-1, *Applications ferroviaires – Installations fixes – Sécurité électrique, mise à la terre et circuit de retour – Partie 1: Mesures de protection contre les chocs électriques*

IEC 62196-1, *Fiches, socles de prise de courant, prises mobiles de véhicule et socles de connecteur de véhicule – Charge conductive des véhicules électriques – Partie 1: Règles générales*

IEC 62236 (toutes les parties), *Applications ferroviaires – Compatibilité électromagnétique*

IEC 62497-1:2010, *Applications ferroviaires – Coordination de l'isolement – Partie 1: Exigences fondamentales – Distances d'isolement dans l'air et lignes de fuite pour tout matériel électrique et électronique*

IEC 62498-1, *Applications ferroviaires – Conditions d'environnement pour le matériel – Partie 1: Équipement embarqué du matériel roulant*

IEC TS 62597, *Procédures de mesure des niveaux de champ magnétique générés par les appareils électriques et électroniques dans l'environnement ferroviaire en regard de l'exposition humaine*

IEC 62928, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Batteries d'accumulateurs de traction embarquées au lithium-ion*

IEC 62995, *Applications ferroviaires – Matériel roulant – Règles d'installation du câblage*

ISO 6469-3, *Véhicules routiers électriques – Spécifications de sécurité – Partie 3: Sécurité électrique*

ISO 16750-2, *Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment – Part 2: Electrical loads* (disponible en anglais seulement)

ISO 16750-3, *Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment – Part 3: Mechanical loads* (disponible en anglais seulement)

ISO 23273, *Fuel cell road vehicles – Safety specifications – Protection against hydrogen hazards for vehicles fuelled with compressed hydrogen* (disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions 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

trolleybus

véhicule sur pneumatiques (avec plage d'action latérale limitée ou guidée) sans liaison de protection de sécurité du châssis, propulsé grâce à l'électricité en zone accessible au public et alimenté galvaniquement par une ligne d'alimentation externe (ligne aérienne de contact, rail d'alimentation en courant)

Note 1 à l'article: Les deux perches de la ligne d'alimentation sont soit toutes les deux isolées galvaniquement de la terre, soit l'une est isolée et l'autre mise à la terre. L'isolement peut s'effectuer de manière centralisée ou au niveau de chaque source d'alimentation (sous-station).

3.2

système de captage de courant

chacun des composants, généralement monté sur la toiture du véhicule, ayant la tâche de capter le courant des lignes aériennes de contact pour alimenter les équipements du véhicule, à la fois à l'arrêt et en condition de marche

3.3

masse

<pour trolleybus> partie conductrice d'un composant électrique qui est accessible et n'est pas sous tension en conditions normales, mais peut le devenir en conditions de défaut

Note 1 à l'article: Les équipements définis en 5.4.1 en tant que composants d'autobus normaux ne sont pas concernés par ce terme.

Note 2 à l'article: Les parties conductrices du châssis et de la carrosserie sont définies comme la masse du véhicule.

3.4

masse intermédiaire

partie conductrice entre deux parties isolantes d'un équipement à double isolation (protection, enveloppe, etc.) qui ne doit pas être accessible au public

3.5

isolation principale

<pour trolleybus> isolation destinée à la sécurité individuelle entre les parties électriques qui font l'objet d'une mise sous tension et la masse intermédiaire afin d'assurer la protection principale contre les chocs électriques

3.6

isolation supplémentaire

<pour trolleybus> isolation destinée à la sécurité individuelle entre la masse intermédiaire et la masse du véhicule

3.7

double isolation

isolation comprenant à la fois une isolation principale et une isolation supplémentaire

[SOURCE: IEC 60050-195:1998, 195-06-08]

3.8

isolation fonctionnelle

<pour trolleybus> isolation non destinée à la sécurité individuelle, avec des exigences moindres, qui assure le fonctionnement du véhicule

Note 1 à l'article: Dans une certaine mesure, sa conception est spécifiée dans les normes de produit.

3.9**tension nominale** U_n

<pour chemin de fer> valeur désignée d'un système à laquelle se réfèrent les caractéristiques générales

3.10**plage de tensions assignées** U_{Ne}

<pour trolleybus> plage de tensions qui, avec le courant assigné, spécifie les conditions d'exploitation de l'équipement et à laquelle se réfèrent les essais applicables et les catégories d'utilisation

3.11**tension permanente la plus élevée** U_{max1}

valeur maximale de la tension susceptible d'être présente sans limitation dans le temps

[SOURCE: IEC 60850:2014, 3.4]

3.12**tension d'isolement assignée,** U_{Nm}

<pour trolleybus> valeur à laquelle se réfèrent les tensions d'essais diélectriques et les lignes de fuite et qui ne peut en aucun cas être inférieure à U_{Ne}

Note 1 à l'article: Lorsqu'aucune valeur n'est attribuée à U_{Nm} par l'acheteur, la tension permanente la plus élevée U_{max1} indiquée dans l'IEC 60850 doit être présumée.

3.13**tension de tenue à fréquence industrielle** U_a

valeur efficace de la tension sinusoïdale à fréquence industrielle que l'isolation du matériel considéré peut supporter lors d'essais faits dans des conditions spécifiées et pendant une durée spécifiée

[SOURCE: IEC 60050-614:2016, 614-03-22]

3.14**tension non permanente la plus élevée** U_{max2}

valeur maximale de la tension susceptible d'être présente pendant une durée limitée

[SOURCE: IEC 60850:2014, 3.5]

3.15**surtension**

<pour chemin de fer> toute tension dont la valeur de crête dépasse la valeur de crête correspondant à la tension maximale en régime établi dans des conditions normales d'exploitation

[SOURCE: IEC 60850:2014, 3.6]

3.16**surtension de longue durée**

surtension supérieure à U_{max2} , durant typiquement plus de 20 ms, due à des phénomènes à basse impédance, par exemple une augmentation de la tension primaire d'une sous-station

[SOURCE: IEC 60850:2014, 3.7, modifié – La Note 1 à l'article a été supprimée.]

3.17**surtension la plus élevée de longue durée** $U_{\max 3}$

tension définie comme la valeur la plus élevée de la surtension de longue durée pour $t = 20$ ms

[SOURCE: IEC 60850:2014, 3.8, modifié – La deuxième phrase a été supprimée.]

3.18**décâblément**

détachement soudain et permanent par l'une ou les deux perches du trolley de la ou des lignes aériennes de contact lorsque le trolleybus est en fonctionnement

3.19**ligne aérienne de contact caténaire**

ligne de contact destinée à alimenter des véhicules en énergie électrique par l'intermédiaire d'organes de prise de courant et constituée par des conducteurs placés au-dessus ou à côté de la limite supérieure du gabarit des véhicules

Note 1 à l'article: Les caractéristiques des lignes aériennes de contact sont à indiquer au constructeur, avec le type d'exploitation, les conditions d'environnement et le profil du revêtement. Les propriétés mécaniques sont spécifiées dans l'IEC 60913; les hauteurs minimales sont spécifiées dans l'IEC 62128-1.

[SOURCE: IEC 60050-811:2017, 811-33-02, modifié – La Note 1 à l'article a été ajoutée.]

4 Tensions et classification des domaines de tension**4.1 Tensions****4.1.1 Généralités**

Les définitions de tensions utilisées dans le présent document sont issues de l'IEC 60850 et de l'IEC 62497-1; les exigences suivantes s'appliquent aux réseaux en tension continue conformément à l'IEC 60850.

4.1.2 Tensions de service

L'équipement doit fonctionner aux tensions du système de lignes aériennes de contact spécifiées dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Tensions nominales et limites admissibles en valeurs et en durée

Tension nominale U_n V courant continu	Plage de tensions assignées U_{Ne} V courant continu	Tension permanente la plus élevée $U_{\max 1}$ V courant continu	Tension non permanente la plus élevée $U_{\max 2}$ V courant continu
600	400 à 720	720	800
750	500 à 900	900	1 000

NOTE En France, en Belgique et au Royaume-Uni, des réglementations nationales différentes (IEC 60850) sont en vigueur et ne s'appliquent toutefois pas aux trolleybus.

Concernant les stations de lavage, conformément à l'IEC 62128-1, la tension maximale admissible est de 120 V en courant continu (domaine de tension II). Dans ce cas, la station de lavage ne fait pas partie de l'atelier lorsque la tension maximale admissible est de 60 V en courant continu (domaine de tension I).

4.1.3 Tensions d'isolement et tensions d'essai

Conformément à l'IEC 62497-1, l'isolation doit être conçue et soumise à l'essai par rapport aux tensions données dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Tensions d'isolement et tensions d'essai à la fréquence industrielle

Tension nominale U_n V courant continu	Tension d'isolement assignée U_{Nm} V courant continu	Tension de tenue à la fréquence industrielle U_a V courant continu
600	≥ 720	voir IEC 62497-1:2010, Tableau B.1
750	≥ 900	

4.1.4 Surtensions

L'équipement doit supporter les surtensions du système de lignes aériennes de contact spécifiées dans le Tableau 3.

Tableau 3 – Surtensions

Tension nominale U_n V courant continu	Surtension la plus élevée de longue durée U_{max3} V courant continu
600	1 270
750	1 270

4.2 Classification des domaines de tension

Conformément à l'IEC 61991, les domaines de tension applicables aux trolleybus sont conformes au Tableau 4.

Tableau 4 – Domaines de tension pour les trolleybus

Domaine	Tension nominale V	
	CA	CC
I	$U_n \leq 25$	$U_n \leq 60$
II	$25 < U_n \leq 50$	$60 < U_n \leq 120$
III	$50 < U_n \leq 1\,000$	$120 < U_n \leq 1\,500$

5 Construction des trolleybus

5.1 Critères de protection et de sécurité électrique

5.1.1 Critères de protection contre les contacts directs et indirects

Les meilleurs critères et dispositions doivent être adoptés lors de la conception et de la construction des trolleybus afin d'éviter, ou à défaut de réduire le plus possible à un niveau non dangereux, toutes les tensions de contact et, en particulier, la tension différentielle entre les potentiels de la masse et à la terre, mais aussi dans le but de détecter les fuites avant que les tensions associées n'atteignent un niveau dangereux.

Les valeurs limites des tensions de contact sont spécifiées dans l'IEC 62128-1. Les valeurs limites des courants de choc sont spécifiées dans la série IEC 60479.

NOTE Des valeurs limites différentes pour les tensions de contact sont appliquées en Suisse (SR 734.2).

Les exigences de l'IEC 61991 doivent être appliquées le cas échéant.

Puisque le potentiel de danger le plus élevé est présent lors d'un contact avec l'extérieur du véhicule, les exigences de l'IEC 61991, sur une double isolation vérifiable sont complétées par une troisième isolation dans la zone des portes, où les voyageurs ont le plus de risques de contact avec les tensions.

Si possible, une double isolation doit être conçue afin qu'un défaut ne puisse pas traverser les deux chemins en même temps.

L'écart entre les couches de l'isolation, en fonction du matériau et du degré de pollution, doit être choisi conformément à l'IEC 62497-1.

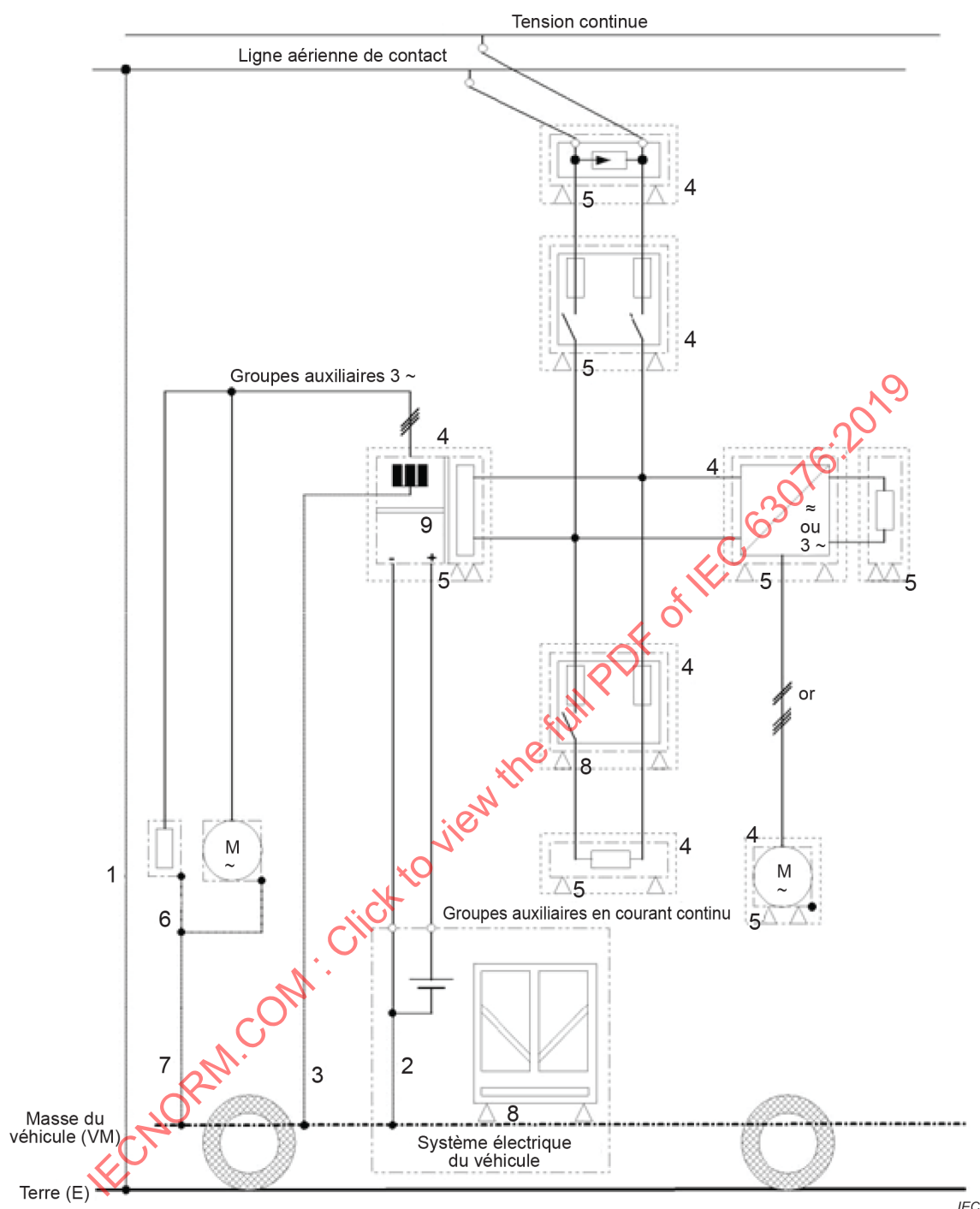
Toujours s'assurer, pour l'isolation extérieure, qu'une partie de l'isolation est protégée contre l'humidité ou la poussière. Si cela n'est pas possible, des écarts plus importants et/ou des matériaux différents doivent être adoptés en raison des valeurs plus élevées des résistances d'isolement minimales des systèmes sans liaison de protection (voir Tableau 6).

La Figure 1 donne une vue d'ensemble de la double isolation nécessaire pour ce type de véhicule dans l'IEC 61991, ainsi que de la troisième isolation pour les portes.

La modification de l'isolation principale en une double isolation s'applique toujours pour les trois types d'interfaces du composant:

- isolation supplémentaire de l'assemblage mécanique;
- isolation supplémentaire du module d'alimentation;
- isolation supplémentaire des interfaces de signaux.

L'apposition de signaux de danger sur les espaces d'installation contenant des circuits des domaines de tension II et III ou des circuits de puissance du domaine I doit être conforme à l'IEC 61991.



Légende

- 1 Raccordement conducteur de la sortie de la sous-station vers la terre, le cas échéant
- 2 Raccordement conducteur de l'alimentation en courant continu embarquée vers la masse du véhicule, le cas échéant
- 3 Raccordement conducteur entre le point neutre du transformateur du convertisseur statique et la masse du véhicule en tant que conducteur de protection, le cas échéant (voir aussi 7)
- 4 Protection des contacts directs de l'ensemble des masses intermédiaires (enveloppe, isolation sur la toiture, installation sous le plancher)
- 5 Isolation supplémentaire pour la mise en œuvre de la double isolation. Les isolations, principales ou fonctionnelles, sont représentées par des enveloppes, la double isolation des câbles n'est pas représentée
- 6 Raccordement conducteur de toutes les enveloppes des charges triphasées en courant alternatif (liaison de protection le cas échéant)
- 7 Raccordement conducteur de l'ensemble des enveloppes des charges triphasées en courant alternatif et de la masse du véhicule en tant que conducteur de protection (voir aussi 3)
- 8 Isolation supplémentaire des zones d'entrée (portes, plates-formes d'accès, boutons poussoirs), le cas échéant
- 9 Double isolation à l'intérieur des équipements (représentée uniquement pour le convertisseur statique)

Figure 1 – Vue d'ensemble de l'isolement – Trolleybus

La résistance d'isolement des isolations extérieures, avec comme facteur les conditions atmosphériques et les défauts d'isolement que peuvent rencontrer les véhicules, peut être inférieure aux valeurs limites pour la sécurité individuelle.

Pour cette raison, les mesures spécifiées dans le présent paragraphe doivent être prises indépendamment de la configuration du réseau de lignes aériennes (mis à la terre ou galvaniquement isolé).

5.1.2 Marches, colonnes, barres d'appui, rampes et plates-formes d'accès

Afin d'éviter aux personnes, montant et descendant du véhicule, des sensations de décharge de la masse du véhicule supérieure au seuil de perception, les zones d'entrée doivent être équipées de matériaux isolants faisant office d'impédances de protection.

Les marches, colonnes et barres d'appui en face de toutes les portes doivent être isolées de la masse du véhicule ou constituées d'un matériau isolant. Les rampes et plates-formes d'accès destinées aux personnes handicapées doivent être isolées de la masse du véhicule.

Les zones d'entrée doivent comporter des larmiers à l'extrémité de la plaque d'assise, ainsi qu'une canalisation pour l'eau infiltrée. Le contact direct de l'eau avec d'autres parties de la masse du véhicule doit être évité.

La fonction d'impédance de protection des zones d'entrée doit être assurée par un nettoyage régulier des zones d'entrée et un examen visuel effectué par du personnel qualifié. Des détergents doivent être utilisés pour éviter l'usure chimique des équipements.

Lors de l'examen visuel, les équipements doivent être examinés attentivement afin de détecter tous dégâts pouvant affecter les propriétés diélectriques, tels que les ruptures, les fissures ou les trous d'épingle (6.2.5). Les propriétés diélectriques des équipements doivent être conformes aux exigences d'isolation principale définies en 6.2.

Un examen visuel des zones d'entrée nettoyées est exigé; il est inclus dans la procédure d'essai d'isolement périodique définie en 6.4.

5.1.3 Portes et poignées de porte

Toutes les portes et tous les accessoires associés, excepté l'équipement de commande inaccessible au public, doivent être isolés de la masse du véhicule ou constitués d'un matériau isolant.

Pour assurer des lignes de fuite suffisantes, il est recommandé d'installer des poignées de porte en plastique ou des portes coulissantes en plastique sans poignées.

5.1.4 Câblage

Les conduits de câbles alimentés par des tensions du domaine III doivent être séparés de ceux dont les câbles sont alimentés à des tensions des domaines I et II. Les conduits et goulottes du domaine III doivent être facilement identifiables à l'aide d'un marquage adéquat.

Dans le cas de conduits du domaine III à double isolation, les câbles venant de différents circuits doivent être séparés conformément à l'IEC 62995.

Les secouristes des villes équipées de trolleybus et de lignes aériennes de contact seront spécialement formés, afin que la signalisation spécifique ne soit pas obligatoire pour les trolleybus classiques, équipés ou non d'une alimentation auxiliaire avec un générateur diesel, le système complet pouvant être coupé. Cette exigence ne concerne pas le câblage des équipements de stockage de l'énergie qui doivent être munis d'une signalisation orange jusqu'au premier disjoncteur¹.

5.1.5 Verrouillage des portes ouvertes

Le matériel de traction doit être muni d'un dispositif de verrouillage empêchant le véhicule de démarrer lorsque les portes sont ouvertes. Ce dispositif de verrouillage doit comporter un bouton poussoir ou un équipement de déverrouillage similaire permettant au chauffeur de désactiver le dispositif.

5.1.6 Détecteur de courant de fuite

Il est recommandé, en accord entre le constructeur et l'opérateur et en correspondance avec le système d'alimentation, d'équiper les trolleybus d'un appareil de mesure automatique, défini en tant que détecteur de courant de fuite. Les informations adéquates doivent être fournies par l'opérateur.

L'équipement génère un signal d'alarme optique/acoustique lorsque la résistance d'isolement entre les circuits alimentés par la tension d'alimentation et la masse du véhicule descend en dessous des valeurs limites admissibles. Selon le type de méthode de mesure appliquée, le fait de dépasser la tension de contact admissible ou le courant de fuite admissible peut également être utilisé comme critère. La résistance d'isolement admissible est calculée à partir de la tension d'alimentation conformément à l'IEC 60850 et du seuil de gêne du courant de choc admissible spécifié dans la série IEC 60479.

Lorsque les valeurs limites susmentionnées ont été atteintes, l'équipement peut ouvrir le contacteur de ligne et abaisser les perches du trolley automatiquement lorsque le véhicule est à l'arrêt, si cette fonction est possible et demandée par l'opérateur. Le véhicule peut être équipé d'un interrupteur à clé ou d'un équipement verrouillable similaire permettant au chauffeur de désactiver la fonction, si l'opérateur le demande en mode d'urgence. Si le véhicule dispose d'une source d'énergie auxiliaire, cette dernière doit être utilisée en mode d'urgence.

Les perches du trolley étant abaissées et le contacteur de ligne seul ne pouvant couper le système complet, la sécurité est mise en œuvre uniquement par la mesure de protection de la "double isolation" en complément de l'isolement des zones d'entrée.

La détection d'une valeur de résistance d'isolement inférieure à la limite admissible est considérée comme de la maintenance préventive. Cette mesure permet de renforcer le niveau de sécurité des voyageurs au-delà de celui qui aurait été atteint par les interventions effectuées uniquement lors des inspections périodiques obligatoires (voir également l'Article A.10).

Le détecteur de courant de fuite, ou au moins l'équipement d'alarme acoustique/optique adéquat, le cas échéant, doit être installé au poste de conduite, dans un endroit aisément repérable par le chauffeur. Un affichage externe peut être convenu entre l'opérateur et le constructeur.

Lorsque celui-ci est requis et compris dans le matériel, l'équipement peut disposer de moyens d'autodiagnostic et doit satisfaire aux critères de sécurité correspondants. Dans ce cas, la caractéristique doit être acceptée par une autorité reconnue.

¹ Voir Règlement CEE No. 100.

L'équipement étant interconnecté avec le système à surveiller, il doit être équipé d'une isolation principale et supplémentaire et peut donc lui-même induire un défaut d'isolement. Cet aspect doit être pris en compte, particulièrement lors de la conception. Pour cette raison, l'équipement doit être inclus lors des essais diélectriques avec les tensions conformes à l'IEC 62497-1:2010, Tableau B.1, ainsi que lors des essais périodiques obligatoires.

5.1.7 Détecteur d'isolement de la masse intermédiaire

Lorsqu'un détecteur de courant de fuite est fourni, un dispositif capable de détecter le niveau d'isolement des diverses masses intermédiaires par rapport aux parties correspondantes, raccordées à la ligne aérienne de contact ou à la masse du véhicule, peut être installé pour les besoins de maintenance préventive, par accord entre le constructeur et l'opérateur. Ce dispositif peut être associé au détecteur de courant de fuite spécifié en 5.1.6. Les masses intermédiaires doivent être isolées électriquement les unes des autres.

Exceptionnellement et pour des raisons de construction justifiées, certaines masses intermédiaires peuvent être reliées entre elles pour des équipements au fonctionnement similaire. Dans ce cas, la rigidité diélectrique entre les masses intermédiaires est particulièrement importante.

Le détecteur de courant de fuite pour les masses intermédiaires du véhicule simplifie la maintenance préventive et peut ainsi accroître la sécurité des voyageurs.

5.1.8 Condensateurs

Pour les condensateurs alimentés par des tensions du domaine III, qui peuvent conserver la charge lorsqu'ils deviennent accessibles au contact direct lors de la maintenance, les moyens nécessaires pour assurer qu'il n'y a pas de risque de chocs électriques doivent être fournis. Il peut s'agir de circuits de décharge conçus spécifiquement, de circuits supplémentaires ou de procédures. Leur mise en œuvre doit faire l'objet d'un accord entre l'opérateur et le constructeur.

Afin d'obtenir les meilleures conditions de sécurité, des mesures doivent être prises afin d'éviter que le personnel n'accède involontairement aux parties à tensions dangereuses. Dans ce contexte, les dispositions de l'IEC 61991 et de la série IEC 61881 doivent être appliquées.

5.1.9 Liaisons équipotentielles

Pour les circuits du domaine III isolés qui ne sont pas alimentés directement par le fil de contact, des mesures de protection doivent être prises conformément à l'IEC 61991.

Dans le cas de trolleybus articulés ou d'autobus connectés, ces éléments doivent être interconnectés électriquement afin de relier les masses du véhicule au même potentiel. Ces liaisons équipotentielles doivent être facilement identifiables et signalées de façon appropriée. Pour l'identification des connexions et du circuit de liaison équipotentielle, les exigences de l'IEC 62995 doivent être appliquées.

5.1.10 Compatibilité électromagnétique (CEM)

Les équipements électriques et électroniques embarqués ne doivent pas causer ou subir, dans le véhicule et dans le milieu ambiant, d'interférences d'origine électrique, magnétique ou électromagnétique, à un niveau qui pourrait compromettre le bon fonctionnement des équipements de commande, d'étalonnage, de sécurité, de radiotransmission, etc., en raison des émissions conduites, induites ou rayonnées.

Les limites d'intensité de champ dans le véhicule et dans son voisinage ne doivent pas dépasser les valeurs limites des normes pertinentes de chaque pays.

NOTE En Europe, la série EN 45502 est applicable.

Comme base, la série IEC 62236 doit s'appliquer, avec les valeurs d'émission de l'IEC TS 62597. Il convient d'appliquer les règles ou pratiques nationales en vigueur pour les fréquences qui n'ont pas été prises en compte dans l'IEC TS 62597 concernant l'exposition humaine.

Lors des procédures de commutation, les mesures d'antibrouillage, effectuées en parallèle avec les distances d'isolement individuelles, ne doivent pas dépasser les valeurs limites conformément à l'IEC TS 60479-2, ces valeurs transitoires devenant importantes en cas de défaut d'isolement de l'isolation supplémentaire.

Les masses intermédiaires qui peuvent générer des potentiels de tension alternative par couplage capacitif doivent être reliées de façon à ne pas dépasser les valeurs limites spécifiées dans la série IEC 60479. Ces potentiels deviennent importants en cas de défaut d'isolement de l'isolation supplémentaire.

L'opérateur doit également spécifier les fréquences critiques de l'infrastructure existante (pour actionner les commutateurs). Les interférences provenant d'autres systèmes (par exemple, feux de circulation) doivent être prises en compte. Si nécessaire, un plan CEM doit être établi après accord mutuel entre le constructeur et l'opérateur.

5.1.11 Protection contre les surtensions

Pour limiter les surtensions atmosphériques, des parafoudres doivent être prévus dans le système d'alimentation afin de réduire les contraintes sur l'isolation principale et l'isolation supplémentaire. Les modalités de mise en œuvre (à intervalles réguliers sur les lignes aériennes de contact, sur les sous-stations) et les données concernant les parafoudres doivent être fournies par l'opérateur.

Pour limiter les surtensions du système d'alimentation, des parafoudres doivent être prévus dans le véhicule afin de réduire les contraintes sur l'isolation fonctionnelle. Les données concernant les parafoudres doivent faire l'objet d'un accord entre le constructeur du véhicule et l'opérateur.

5.2 Composants électriques du domaine de tension III

5.2.1 Généralités

Les composants électriques alimentés dans un domaine de tension III et reliés à une ligne aérienne de contact doivent être spécifiquement conçus pour la traction électrique, être appropriés pour l'utilisation dans les trolleybus, avoir une double isolation de la masse du véhicule et avoir les bornes des perches isolées de la masse intermédiaire.

Pour les caractéristiques électriques et mécaniques, les normes spécifiques du produit s'appliquent.

5.2.2 Système de captage de courant

Une double isolation ou une isolation renforcée doit être appliquée entre la partie active et la masse du véhicule (caisse du véhicule) lorsque le système de captage de courant est installé.

L'isolateur du système de captage de courant doit avoir une structure étanche et une surface lisse anti-encrassement afin d'augmenter les lignes de fuite et d'assurer les performances d'isolement du système de captage de courant.

Lorsque la vitesse du véhicule est supérieure ou égale à 5 km/h, l'axe longitudinal du véhicule peut être déplacé à gauche ou à droite de l'axe médian de la caténaire de 4 500 mm maximum (pour un système de perche de trolley de 6 200 mm) ou de 4 000 mm (pour un système de perche de trolley de 5 500 mm), tel que présenté à la Figure 2.

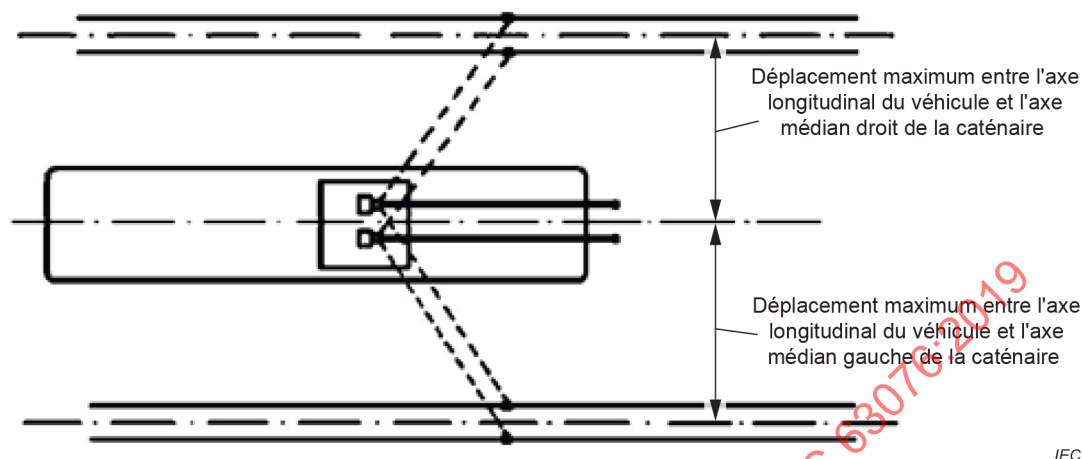


Figure 2 – Déplacement maximum entre l'axe longitudinal du véhicule et l'axe médian de la caténaire

Lorsque les perches de trolley sont utilisées comme connexions électriques, elles doivent être couvertes par une isolation suffisante pour permettre à l'isolation fonctionnelle d'empêcher la mise en court-circuit de la ligne aérienne de contact en cas de décâblage.

Les câbles entre la tête de l'appareil de prise de courant et l'équipement du véhicule doivent être adaptés à l'utilisation dans les trolleybus et doivent posséder des caractéristiques électromécaniques spécifiques à cette application, avec ses contraintes mécaniques et environnementales (câblage conformément à l'IEC 62995). Lorsque le câble est installé sur le système de captage de courant, il ne peut pas être appliqué de force, ne peut pas affecter les activités du système de captage de courant et résiste au pliage, à l'humidité, à la lumière du soleil et au vieillissement prématuré.

En l'absence de tension d'alimentation, de pression d'air et en cas de défaillance de l'équipement électronique pertinent, les perches de trolley doivent être abaissées (par exemple, par corde) ou un signal doit au moins être indiqué sur le poste de conduite.

5.2.3 Matériel de traction électrique

5.2.3.1 Généralités

Le matériel de traction électrique comprend principalement le(s) moteur(s) de traction, le convertisseur pour la motorisation (ou traction) et le freinage, ainsi que la résistance (le cas échéant, pour le démarrage et/ou le freinage).

D'un point de vue fonctionnel, l'équipement d'antipatinage est considéré comme faisant partie intégrante du matériel de traction.

5.2.3.2 Moteurs de traction

Les exigences de la série IEC 60349 s'applique aux moteurs de traction.

Les moteurs doivent être montés de manière à avoir une double isolation de la masse du véhicule et une double isolation par rapport au raccordement des sorties de transmission et à d'autres interfaces mécaniques (refroidissement) et électriques (capteurs).

5.2.3.3 Traction et freinage

Les exigences de l'IEC 61287-1 s'appliquent aux convertisseurs électroniques de puissance.

Les exigences de la série IEC 60077 s'appliquent aux commandes électromécaniques.

Les exigences de l'IEC 60571 s'appliquent aux équipements de commande électroniques.

Les équipements doivent être installés dans des compartiments ou enveloppes, être convenablement ventilés et accessibles uniquement au personnel en charge de la maintenance des trolleybus. Toutes les parties actives doivent disposer d'une double isolation par rapport à la masse du véhicule, excepté celles isolées galvaniquement de la tension d'alimentation, et doivent dans tous les cas être protégées contre des contacts accidentels lorsqu'elles sont sous tension. Elles doivent être protégées de tout contact accidentel lorsqu'elles sont sous tension.

5.2.3.4 Résistances de démarrage et de freinage, résistance pour commutateurs commandés en courant

Les exigences de l'IEC 60322 s'appliquent aux résistances électriques. Elles doivent être disposées de manière que les parties actives disposent d'une double isolation par rapport à la masse du véhicule, avec des cloisons ou des dispositifs de protection appropriés contre les contacts accidentels lorsqu'elles sont sous tension.

L'isolation entre les composants actifs et le cadre intermédiaire mécanique ne fait office que d'isolation fonctionnelle (isolation principale conformément à l'IEC 60322). Ainsi, la double isolation nécessite une autre masse intermédiaire isolée de la masse du véhicule et du cadre intermédiaire.

Lorsque la chaleur produite par les résistances est utilisée pour le chauffage du poste de conduite et/ou le compartiment voyageurs, les conduits adéquats, s'ils sont en matériau conducteur, doivent être reliés électriquement à la masse du véhicule.

Les parties actives des résistances et les isolateurs extérieurs doivent être protégés contre les débris volants (par exemple, feuilles) par des cloisons appropriées, afin de prévenir les incendies et de garantir les distances d'isolement.

5.2.4 Alimentation indépendante de la ligne aérienne de contact

5.2.4.1 Généralités

Les trolleybus peuvent disposer d'équipements leur permettant de fonctionner avec une source d'énergie électrique auxiliaire autre que la ligne aérienne de contact.

Il peut s'agir d'un groupe électrogène thermique, d'un groupe de batteries ou de tout autre moyen équivalent adéquat pour alimenter le(s) moteur(s) de traction.

En fonction de la puissance de l'alimentation indépendante, une distinction peut être faite entre une alimentation électrique de secours pour libérer la voie, l'alimentation auxiliaire pour le service restreint et l'alimentation électrique principale. Même si les alimentations de secours limitent la plage de fonctionnement au réseau de ligne aérienne, la capacité thermique du système de freinage d'endurance reste pertinente pour l'homologation du système de freinage².

² Voir Règlement CEE No. 13.

En ce qui concerne les systèmes de contrôle-commande et de sécurité, ils peuvent être utilisés de la même façon qu'en exploitation normale.

5.2.4.2 Alimentation indépendante et exigences d'isolement

Tous les composants électriques destinés à une utilisation spécifique lors d'une exploitation indépendante doivent avoir les mêmes caractéristiques que celles exigées pour les équipements alimentés dans un même domaine de tension.

Pour l'exploitation sur la ligne aérienne de contact, une installation pour la récupération et le stockage de l'énergie doit, par conséquent, disposer d'une double isolation (voir les Articles A.13 et A.14).

Si chaque raccordement électrique entre la ligne aérienne de contact et la source électrique pour l'exploitation indépendante est explicitement interrompu sans avoir à abaisser les perches de trolley, la double isolation n'est pas nécessaire. Dans ce cas, il suffit d'équiper d'un verrou mécanique ou électrique les appareillages servant à relier le système à la ligne aérienne de contact ou à l'alimentation auxiliaire. Les contacts ouverts des contacteurs doivent satisfaire aux exigences relatives à l'isolation principale ou supplémentaire, en fonction du type d'isolation choisi pour l'alimentation indépendante. Étant donné que le raccordement électrique à la source d'énergie doit être considéré comme un potentiel intermédiaire, un raccordement de vérification de l'isolement pour le raccordement électrique doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et l'opérateur.

L'équipement mentionné en 5.2.3.1 peut être utilisé pour alimenter le(s) moteur(s) de traction.

Pour les besoins de maintenance, il doit être possible de déconnecter l'alimentation indépendante du système. Cela peut s'effectuer à l'aide de commutateurs, de disjoncteurs à fusible ou d'appareillages électromagnétiques. Pour les alimentations auxiliaires motorisées, il suffit de couper le moteur s'il dispose d'une sécurité empêchant son redémarrage.

5.2.5 Groupes auxiliaires

Les groupes auxiliaires alimentés par la tension d'alimentation (moteurs auxiliaires du compresseur, ventilateurs, pompe hydraulique, générateurs auxiliaires, convertisseurs statiques, etc.) doivent disposer d'une double isolation de la masse du véhicule, indépendante de la configuration du réseau de ligne aérienne (mis à la terre ou galvaniquement isolé).

Les équipements alimentés par des circuits isolés de la ligne par une isolation galvanique (isolation principale ou supplémentaire) peuvent être montés sans isolation. L'isolation principale de ces équipements doit respecter les exigences relatives à l'isolation principale ou supplémentaire, selon sa fonction au sein de la double isolation.

Les équipements alimentés par des circuits isolés de la ligne par une double isolation galvanique peuvent être montés sans isolation. Il est pertinent de dimensionner l'isolation principale de ces équipements par rapport à la tension assignée du circuit connecté. Pour l'utilisation d'équipements industriels (équipements électroniques, convertisseurs, moteurs), les normes industrielles correspondantes doivent être appliquées.

NOTE Les normes industrielles correspondantes sont la série IEC 60146, l'EN 50178, la série IEC 60034, etc.

Les mesures de protection contre les dangers électriques doivent être conformes à l'IEC 61991.

5.2.6 Systèmes de ventilation et de chauffage

Lorsque des équipements de chauffage ou de climatisation, pour des utilisations diverses, comportent des composants alimentés par des tensions du domaine III, les exigences en 5.2.4 doivent être appliquées. Les conduits de ventilation en matériau conducteur doivent être reliés à la masse du véhicule.

Dans ce cas, la mise en œuvre des équipements et du flux d'air doit être conforme aux règles ou pratiques nationales en vigueur en matière de protection contre les incendies.

NOTE En Europe, l'EN 45545-5 est applicable.

5.2.7 Câbles

Les câbles utilisés dans les circuits du domaine de tension III doivent être de type non propagateur de flammes, avec faible émission de fumée et gaz toxiques ou corrosifs. Ils doivent se conformer à l'IEC 62995 qui s'applique pour l'utilisation dans les trolleybus.

NOTE 1 En Europe, la série EN 50306 et l'EN 50264 s'appliquent.

Les instructions de raccordement de l'IEC 62995 doivent être prises en compte. La pose des câbles doit être conforme aux règles ou pratiques nationales en vigueur en matière de protection contre les incendies.

NOTE 2 En Europe, l'EN 45545-5 s'applique en matière de protection contre les incendies.

En particulier, les câbles d'alimentation situés dans les compartiments voyageurs ou dans les conduits d'aération peuvent uniquement être posés dans des conduits métalliques. Les câbles non protégés par un fusible (par exemple, en amont du fusible en ligne) doivent disposer d'une double isolation.

5.3 Composants électriques du domaine de tension II

5.3.1 Généralités

Les composants électriques alimentés à une tension du domaine II doivent être bipolaires et isolés de la masse du véhicule. Ils doivent être protégés au moyen de fusibles ou de disjoncteurs automatiques caractérisés par un pouvoir de coupure adéquat et doivent être appropriés à l'utilisation dans les trolleybus. Lorsqu'il est nécessaire, dans un véhicule, que des composants soient alimentés par des tensions relevant de domaines différents, des mesures adéquates doivent être prises pour assurer une séparation électrique efficace.

Les mesures de protection contre les dangers électriques doivent être conformes à l'IEC 61991 pour les alimentations isolées.

5.3.2 Câbles

Voir 5.2.7.

5.3.3 Séparation des circuits de domaines de tension différents

Les circuits relatifs aux composants mentionnés en 5.3.1, installés sur les mêmes structures avec des câbles des domaines de tension I et III, doivent être conçus de manière à assurer une séparation adéquate. Les points de raccordement, le cas échéant, des câbles du domaine de tension II et des appareils des domaines de tension I et III doivent être soigneusement conçus afin de respecter les distances, la protection mécanique et l'isolement entre les tensions.

Les instructions d'installation de l'IEC 62995 doivent être respectées. L'identification des différents domaines de tension doit faire l'objet d'un accord entre l'opérateur et le constructeur.

5.4 Composants électriques du domaine de tension I

5.4.1 Généralités

Les mesures de protection contre les dangers électriques doivent être conformes à l'IEC 61991 pour les alimentations isolées.

Les composants électriques alimentés par un domaine de tension I sont interconnectés par des lignes de signaux et des bus de données supplémentaires, il n'y a pas de distinction entre composants de trolleybus (spécifiques aux trolleybus) et composants d'autobus normaux (système électrique automobile). Etant donné qu'une partie des composants ne disposent pas d'alimentation bipolaire isolée, les essais de tension de tenue et de résistance d'isolement ne sont pas nécessaires à leur homologation.

Les composants de trolleybus munis d'une isolation simple contre la tension de ligne aérienne doivent avoir une alimentation bipolaire et doivent être alimentés par une alimentation galvaniquement isolée supplémentaire utilisant la même isolation principale ou supplémentaire que l'équipement, reliée à la ligne aérienne de contact. Un essai de raccordement du potentiel intermédiaire doit faire l'objet d'un accord entre l'opérateur et le constructeur.

L'IEC 61373 ou l'ISO 16750-3 doit être appliquée pour les essais de chocs et vibrations, le cas échéant. En raison des charges mécaniques différentes des véhicules ferroviaires et sur pneumatiques, la catégorie applicable doit être convenue entre le constructeur et l'opérateur pour l'utilisation de l'IEC 61373.

S'il est nécessaire d'installer des composants électriques alimentés par des tensions de domaines de tension différents dans le véhicule, une séparation électrique efficace doit être assurée.

5.4.2 Câbles

Voir 5.2.7.

5.4.3 Séparation des circuits de domaines de tension différents

Voir 5.3.3.

6 Vérifications et essais

6.1 Généralités

Les exigences spécifiées dans le présent paragraphe concernent les essais diélectriques à effectuer spécifiquement sur les équipements des trolleybus. Les essais sur les composants sont spécifiés et appliqués selon les normes de produit pertinentes. Les essais électriques pertinents dans le cadre du présent document se trouvent dans l'IEC 61133:2016:

- IEC 61133:2016, 8.7 Essais d'isolement électrique (essais de série);
- IEC 61133:2016, 8.7.1 Généralités;

NOTE 1 Vérification de la double isolation, des distances d'isolement et des lignes de fuite conformément à l'IEC 62497-1.

- IEC 61133:2016, 8.7.2 Essai de tenue en tension;

NOTE 2 Conformément au présent document.

- IEC 61133:2016, 8.7.3 Essai d'impédance d'isolement;

NOTE 3 Vérification de la résistance d'isolement et surveillance de l'isolement conformément au présent document.

- IEC 61133:2016, 8.8 Essais des liaisons de protection et des circuits de retour (essais de série et essais relatifs à la sécurité).

Ces essais peuvent être effectués successivement sur le véhicule, sur l'équipement ou sur un banc d'essai. Le matériel d'essai doit être conforme à l'IEC 61557-2.

Les essais en tensions alternatives et continues contraignent d'autant plus les isolations fixes que ces tensions sont appliquées pendant une durée supérieure en comparaison à une tension d'impulsion. Les isolations peuvent être endommagées par les essais. Cela est pris en compte par les normes de produit par la possibilité d'effectuer des essais de plus courte durée, en cas d'utilisation de hautes tensions d'essai en courant alternatif ou en courant continu, conformément à l'IEC 62497-1.

Par conséquent, afin de pouvoir mesurer l'influence de l'essai de tension de tenue sur l'isolation, il est recommandé d'effectuer les mesurages de résistance d'isolement conformément au 4.2 avant et après l'essai de tension de tenue.

Pour les essais individuels de série, la tension d'essai de l'essai diélectrique répété peut être réduite à la tension d'essai initiale conformément à l'IEC 60077-1. Sachant que les normes de produit prennent en compte l'annotation susmentionnée de l'IEC 62497-1, elles doivent être privilégiées pour les essais individuels de série afin de réduire les dégâts préexistants des sections d'isolement. Ces dérogations sont explicitement soulignées dans les passages pertinents du texte ci-après.

Le cas échéant, il convient que le constructeur spécifie et consigne la valeur limite du courant de fuite pour les essais individuels.

Il convient d'effectuer une vérification de l'isolement au moins tous les trois mois. À défaut, la vérification peut être effectuée tous les 15 000 km d'exploitation, voire tous les 30 000 km d'exploitation selon accord avec l'opérateur, en prenant en considération la première limite atteinte entre les deux limites susmentionnées. Ces intervalles peuvent être étendus si l'équipement de préalarme mentionné en l'Article A.10 est présent et que ses relevés indiquent des vérifications fréquentes de l'isolement.

NOTE 4 En Italie, la réglementation impose des vérifications tous les deux mois ou tous les 10 000 km.

Les valeurs limites applicables à l'isolement des trolleybus neufs, des trolleybus révisés et des trolleybus en exploitation normale sont données en 6.4.

6.2 Trolleybus neufs

6.2.1 Vérification de la conception et de la construction

La conformité du véhicule aux exigences de l'Article 5 doit être vérifiée, en particulier en ce qui concerne l'isolement de l'équipement soumis à des tensions du domaine III, notamment les circuits doublement isolés alimentés par une ligne aérienne de contact.

La documentation de conception de la partie électrique doit énumérer et indiquer les différentes masses intermédiaires, sur lesquelles doivent être effectués les essais électriques spécifiés ci-dessous.

La documentation de conception de la partie mécanique doit spécifier les dimensions des distances d'isolement et des lignes de fuite, ainsi que les propriétés des matériaux isolants.

Conformément à l'IEC 62497-1, les lignes de fuite peuvent être vérifiées uniquement par mesurage. Seules les distances d'isolement, mises en œuvre lors de l'installation sur le véhicule, ont besoin d'être mesurées conformément à l'IEC 61133:2016. De plus, l'impact du vieillissement, des conditions météorologiques et des déformations dues à l'exploitation doit être pris en compte. Pour les essais de série conformes à l'IEC 61133:2016, un examen visuel supplémentaire suffit.

6.2.2 Essais de tension avec une source séparée appliquée sur des circuits et composants alimentés par des tensions du domaine III sur la ligne aérienne de contact

Les circuits et composants électriques alimentés par la tension d'alimentation et ceux qui sont alimentés par des tensions du domaine III, avec double isolation de la masse du véhicule, doivent être soumis à des essais de tension, effectués sur matériel neuf lorsque le véhicule est mis en service conformément à l'IEC 61133:2016.

Les autres circuits du domaine de tension III, les circuits auxiliaires ou de commande des domaines de tension I et II ne disposant pas d'une isolation suffisante reposant sur la tension de ligne de contact (par exemple, qui sont munis d'une isolation pour leur domaine de tension, qui est donc uniquement une isolation fonctionnelle) sont assignés aux circuits susmentionnés et doivent donc être soumis aux essais avec ces circuits. L'essai de l'isolation fonctionnelle ne fait pas partie intégrante du présent document.

L'essai doit être effectué successivement du domaine haute tension au domaine basse tension. Les circuits ayant déjà été soumis à l'essai ne sont pas reliés aux autres circuits afin d'éviter les essais répétés et une distorsion des mesurages de résistance d'isolement à cause de circuits parallèles des résistances d'isolement.

Cet essai est effectué:

- a) après avoir exclu les composants alimentés par des tensions du domaine III et ceux qui ont déjà été soumis à l'essai en usine avant livraison, et après avoir raccordé ensemble tous les circuits restants, appartenant à une isolation du domaine III. Cela ne s'applique pas aux isolations supplémentaires qui sont mises en œuvre seulement lorsqu'elles sont installées sur le véhicule entre le boîtier du composant/équipement et la masse du véhicule. La liste de ces composants doit être fournie, ainsi que la documentation d'un essai distinct effectué par le constructeur. Ces documents peuvent être des rapports d'essais de type, des rapports d'essais individuels de série ou des déclarations de conformité (les essais individuels de série selon les normes de produit peuvent indiquer des valeurs inférieures pour la période d'essai du point c)),
- b) en ayant relié à la terre tous les circuits et composants restants du matériel électrique du trolleybus,
- c) en appliquant une tension de tenue à la fréquence industrielle U_a telle qu'indiquée dans l'IEC 62497-1:2010, Tableau B.1,
- d) en effectuant l'essai entre les circuits et composants susmentionnés et les masses intermédiaires reliées à la masse du véhicule (voir Figure 3 a)),
- e) en répétant l'essai entre les masses intermédiaires interconnectées et la masse du véhicule (voir Figure 3 b)); les circuits du domaine de tension III restent isolés et le raccordement entre les masses intermédiaires et les circuits restants est supprimé,
- f) en répétant l'essai entre les masses intermédiaires isolées les unes des autres (voir Figure 3 c)).

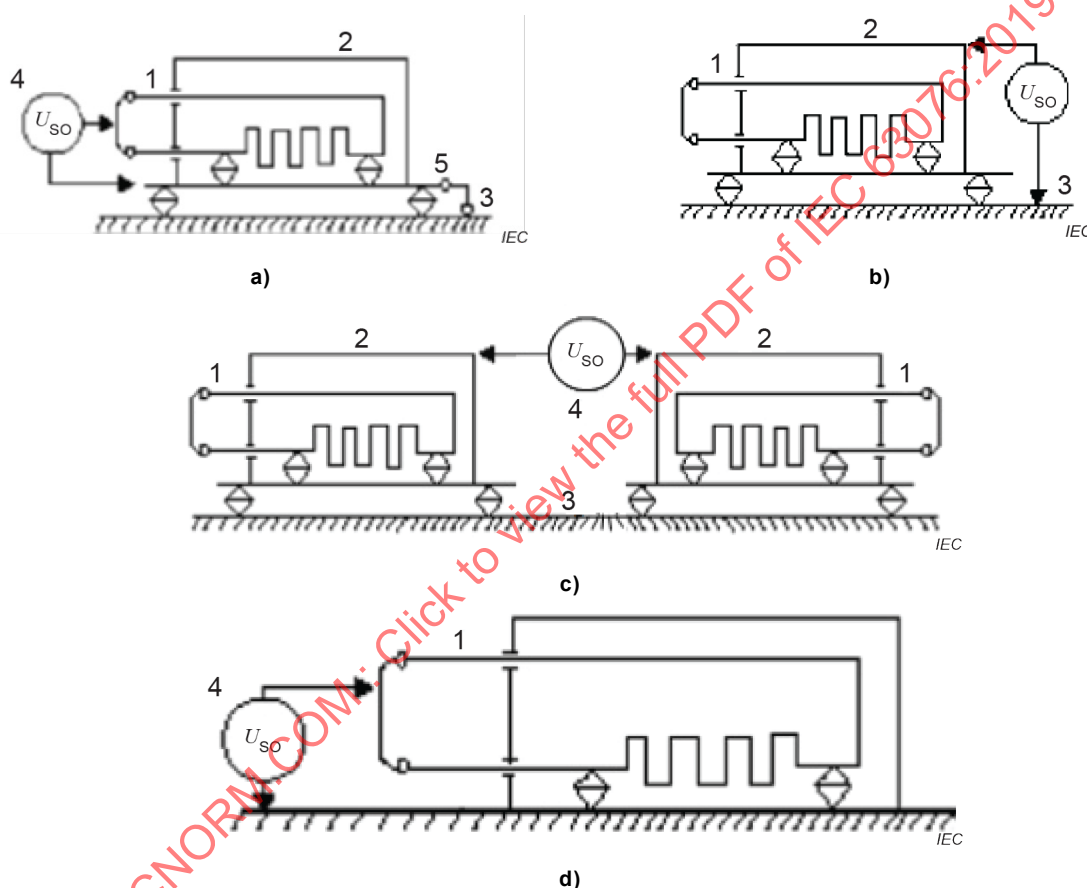
6.2.3 Essais de tension avec une source séparée appliquée sur des circuits et composants alimentés par des tensions du domaine III isolés de la ligne aérienne de contact

Les circuits et composants alimentés par des tensions du domaine III, qui ne sont pas alimentés directement par la tension de la ligne, et ayant une isolation simple ou double de la masse du véhicule, doivent être soumis à l'essai comme spécifié ci-dessus (voir Figure 3 d)), avec une tension de tenue à la fréquence industrielle U_a (voir l'IEC 62497-1:2010, Tableau B.1) appliquée entre les circuits respectifs et la masse du véhicule.

Les raccordements à la masse du véhicule, pour assurer les fonctions de réseaux d'alimentation doublement isolés des circuits alimentés par la tension de la ligne aérienne de contact, doivent être séparés de la masse du véhicule pour cet essai. Cela comprend, dans le cas des réseaux d'alimentation triphasés par exemple, le raccordement du point neutre du réseau vers la masse du véhicule, pour réduire les tensions d'alimentation par rapport à la masse du véhicule, pour mettre en œuvre un réseau de liaison équipotentielle avec ou sans surveillance du courant de fuite et surveillance de l'isolement.

Les valeurs de cette double isolation sont présupposées faire référence à la tension de ligne de contact.

Après réparation ou si l'essai de tension de tenue a échoué, un deuxième essai doit être effectué à 85 % de la valeur de U_a afin de réduire les contraintes de l'essai sur l'isolement.



Légende

- 1 circuit ou composant électrique
- 2 masse intermédiaire
- 3 masse du véhicule
- 4 générateur de tension
- 5 mise à la terre et liaison équipotentielle

Figure 3 – Circuits d'essai

6.2.4 Essais de tension avec une source séparée appliquée sur des circuits et composants alimentés par des tensions du domaine II

Les circuits et composants alimentés par des tensions du domaine II doivent être soumis à un essai de tension à la fréquence industrielle, sur matériel neuf lorsque le véhicule est mis en service conformément à l'IEC 61133:2016.

Par hypothèse, il est admis que les valeurs de ces circuits caractérisent généralement une double isolation des circuits alimentés par une tension de ligne de contact, en référence à la tension de ligne de contact (voir aussi 6.2.2). L'essai est effectué:

- a) après avoir exclu les composants alimentés par des tensions du domaine II et ceux qui ont déjà été soumis à l'essai en usine avant livraison, et après avoir raccordé tous les circuits restants, appartenant à une isolation du domaine II. Le constructeur doit fournir la liste de ces composants, ainsi que la documentation d'un essai distinct qu'il a effectué. Ces documents peuvent être des rapports d'essais de type, des rapports d'essais individuels de série ou une déclaration de conformité (les essais individuels de série selon les normes de produit peuvent indiquer des valeurs inférieures pour la période d'essai du point c)),
- b) en ayant raccordé et relié à la terre tous les circuits et composants restants de l'équipement électrique du trolleybus, alimentés dans un domaine de tension inférieur,
- c) en appliquant, entre les circuits et les composants susmentionnés et la masse du véhicule (châssis), une tension de tenue à la fréquence industrielle U_a ; la valeur de U_a est indiquée dans le Tableau B.1 de l'IEC 62497-1:2010.

6.2.5 Essais de l'isolement des zones d'entrée

La conception de la structure et un examen visuel des zones d'entrée, accompagnés des rapports d'essai ou de certificats de conformité de la couche d'isolement (selon l'IEC 61111, par exemple) sont les critères requis pour l'homologation.

L'aptitude des matériaux à l'isolement des zones d'entrée en ce qui concerne les propriétés diélectriques et mécaniques doit être démontrée par des documents adéquats.

L'examen visuel doit être effectué par des électriciens qualifiés. Lors de l'examen visuel, les équipements doivent être examinés attentivement afin de détecter tous dégâts pouvant affecter les propriétés diélectriques, tels que les ruptures, les fissures ou les trous d'épingle.

NOTE En Europe, les électriciens qualifiés sont définis dans l'EN 50110-1:2013, 3.2.4.

Les distances d'isolement et les lignes de fuite appropriées doivent être vérifiées conformément à l'IEC 62497-1:2010.

6.2.6 Valeurs de résistance d'isolement pour les circuits et composants alimentés par des tensions du domaine III de la tension d'alimentation

Les mesurages suivants de la résistance d'isolement doivent être effectués:

- a) entre la masse du véhicule et tous les circuits et composants interconnectés alimentés par la tension d'alimentation (voir Figure 4 a));
- b) entre chaque masse intermédiaire et tous les circuits interconnectés alimentés par la tension d'alimentation (voir Figure 4 b));
- c) entre la masse du véhicule et chaque masse intermédiaire (voir Figure 4 c));
- d) entre chaque masse intermédiaire et toutes les autres masses intermédiaires (voir Figure 4 d)).

Les essais, à effectuer selon les conditions indiquées en 6.2.7, sont considérés comme étant réussis lorsque la résistance d'isolement R , mesurée à l'état sec, respecte la condition suivante:

$$R \geq 10 \text{ M}\Omega$$

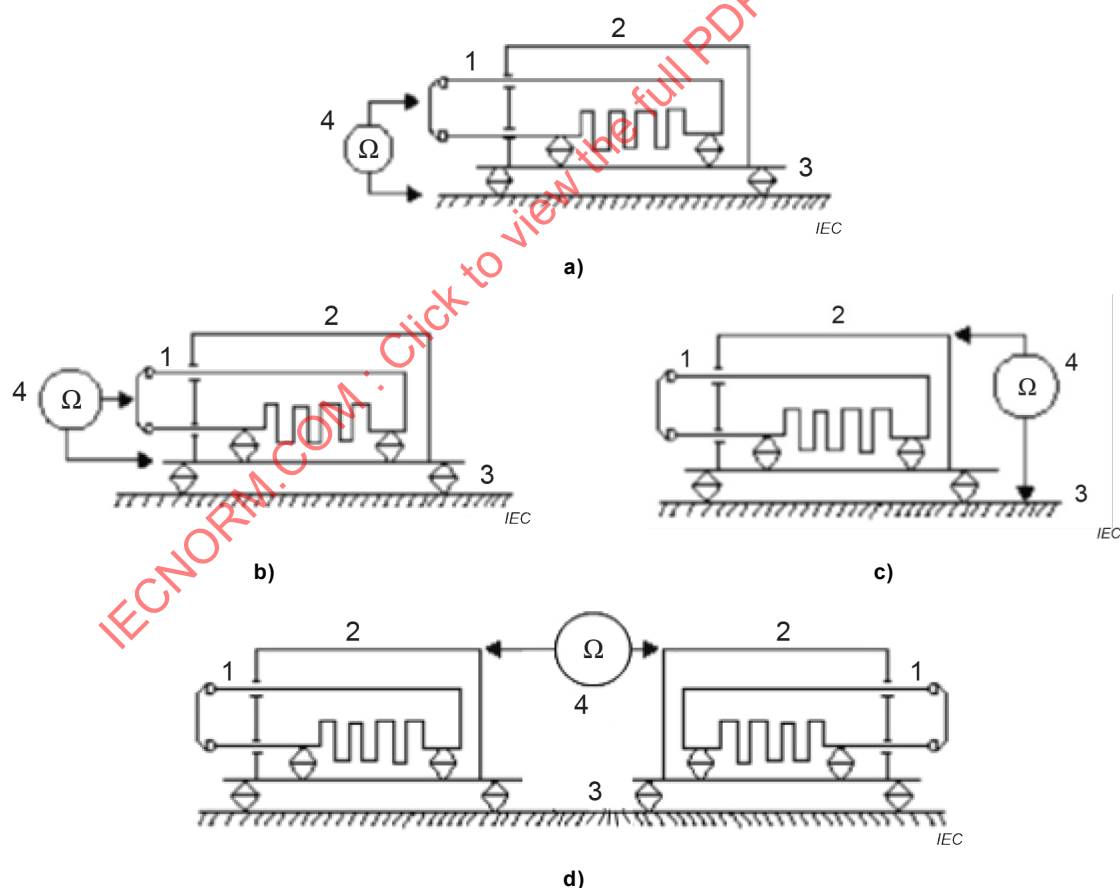
6.2.7 Essais de résistance d'isolement pour les circuits et composants alimentés par la tension d'alimentation

Les essais de résistance d'isolement doivent être effectués sur un véhicule sec, voire également lorsque le véhicule est humide si cela est exigé. En référence aux essais mentionnés en a) et en b) du 6.2.6, tous les circuits et les composants électriques doivent être raccordés. Par conséquent, tous les commutateurs et les contacteurs concernés doivent être positionnés de façon que toutes les parties de l'installation électrique directement alimentées par la tension d'alimentation soient alimentées lors de l'essai. Cela peut être effectué en suivant les instructions basées sur les schémas de circuit du véhicule ou (afin de simplifier les essais périodiques) à l'aide d'une fonction d'essai intégrée au système.

Avant de démarrer l'essai, le raccordement à la masse du détecteur de courant de fuite (voir 5.1.6) doit être supprimé si cela est spécifié par le constructeur de l'équipement pour ce mesurage.

Le mesurage doit être effectué à l'aide d'un mégohmmètre avec un générateur (partie intégrante de l'instrument) pour 1 000 V en courant continu.

Selon le type de mesurage, le mégohmmètre doit être raccordé comme indiqué à la Figure 4 a), b), c) ou d).



Légende

- 1 circuit ou composant électrique
- 2 masse intermédiaire
- 3 masse du véhicule
- 4 instrument de mesure

Figure 4 – Raccordement du mégohmmètre

6.2.8 Valeurs de résistance d'isolement pour les circuits et composants alimentés par des tensions du domaine III isolés de la tension d'alimentation

Ces circuits et composants électriques doivent être soumis au mesurage de la résistance d'isolement par rapport à la masse du véhicule même s'ils sont isolés des réseaux d'alimentation munis d'une double isolation de la ligne de contact reliés à la masse du véhicule pour assurer l'exploitation (voir également 5.2.4.2 et 6.2.3). L'essai est considéré comme réussi lorsque la résistance d'isolement R , mesurée à l'état sec, respecte la condition suivante:

$$R \geq 10 \text{ M}\Omega$$

Lorsque ces installations comprennent une masse intermédiaire pour des raisons de construction, les critères mentionnés en 6.2.6 b) et c) s'appliquent. Les valeurs de résistance de ces masses intermédiaires doivent respecter la condition susmentionnée.

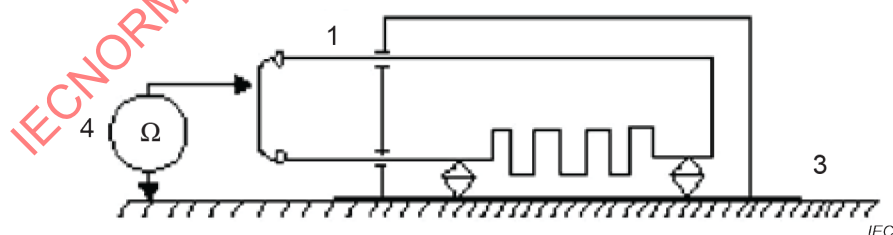
6.2.9 Essais de résistance d'isolement pour les circuits et composants alimentés par des tensions du domaine III isolés de la tension d'alimentation

Les essais de résistance d'isolement doivent être effectués sur un véhicule sec, voire également lorsque le véhicule est humide si cela est exigé. Tous les circuits et les composants électriques doivent être raccordés. Par conséquent, tous les commutateurs et les contacteurs concernés doivent être positionnés de façon que toutes les parties de l'installation électrique alimentées par une tension du domaine III soient alimentées lors de l'essai. Cela peut être effectué en suivant les instructions basées sur les schémas de circuit du véhicule ou (afin de simplifier les essais périodiques) à l'aide d'une fonction d'essai intégrée au système.

Avant de démarrer l'essai, le raccordement à la masse du détecteur de courant de fuite (voir 5.1.6) doit être supprimé si cela est spécifié par le constructeur de l'équipement pour ce mesurage. Dans ce cas, un essai périodique distinct doit être spécifié pour le détecteur de courant de fuite.

Le mesurage doit être effectué à l'aide d'un mégohmmètre avec un générateur (partie intégrante de l'instrument) pour 1 000 V en courant continu.

Le mégohmmètre doit être raccordé comme indiqué à la Figure 5.



Légende

- 1 circuit ou composant électrique
- 3 masse du véhicule
- 4 instrument de mesure

Figure 5 – Raccordement du mégohmmètre

Lorsque des masses intermédiaires sont présentes, l'instrument doit être raccordé comme indiqué aux Figures 4 b) et c).

Selon les dispositions (conformément à l'IEC 61991), afin d'éviter les dangers électriques, le cas échéant, l'essai de résistance d'isolement mentionné en 6.2.9 peut être réalisé suivant la même procédure que l'essai de résistance d'isolement périodique spécifié en 6.4.

6.2.10 Valeurs de résistance d'isolement pour les circuits et composants alimentés par une tension du domaine II

La résistance d'isolement entre la masse du véhicule et tous les circuits et composants interconnectés, alimentés par une tension du domaine II, doit être mesurée.

L'essai est considéré comme réussi lorsque la résistance d'isolement R , mesurée à l'état sec, respecte la condition suivante:

$$R \geq 10 \text{ M}\Omega$$

6.2.11 Essais de résistance d'isolement pour les circuits et composants alimentés par une tension du domaine II

Les essais de résistance d'isolement doivent être effectués sur un véhicule sec, voire également lorsque le véhicule est humide si cela est exigé. Tous les circuits et les composants électriques doivent être raccordés. Par conséquent, en tenant compte du schéma électrique de l'équipement du véhicule, tous les commutateurs et les contacteurs concernés doivent être positionnés de façon que toutes les parties de l'installation électrique alimentées par une tension du domaine II soient alimentées lors de l'essai. Cela peut être effectué en suivant les instructions basées sur les schémas de circuit du véhicule ou (afin de simplifier les essais périodiques) à l'aide d'une fonction d'essai intégrée au système.

Avant de démarrer l'essai, le raccordement à la masse du détecteur de courant de fuite (voir 5.1.6) doit être supprimé si cela est spécifié par le constructeur de l'équipement pour ce mesurage. Dans ce cas, un essai périodique distinct doit être spécifié pour le détecteur de courant de fuite.

Le mesurage doit être effectué à l'aide d'un mégohmmètre avec un générateur (partie intégrante de l'instrument) pour 1 000 V en courant continu.

Le mégohmmètre doit être raccordé comme indiqué à la Figure 5.

Selon les dispositions (conformément à l'IEC 61991), afin d'éviter les dangers électriques, le cas échéant, l'essai d'isolement peut être réalisé suivant la même procédure que l'essai de résistance d'isolement périodique spécifié en 6.4.

6.3 Trolleybus révisés

6.3.1 Essais et vérification de l'équipement électrique

Dès la remise en service d'un véhicule révisé, les vérifications des propriétés diélectriques exigées mentionnées de 6.2.1 à 6.2.4 doivent être répétées avec des valeurs réduites à 85 % de U_a .

6.3.2 Mesurages et valeur de la résistance d'isolement

Les essais de résistance d'isolement décrits en 6.2.7, 6.2.9 et 6.2.11 doivent être effectués sur la partie de l'installation électrique révisée et pour le domaine de tension associé.

Les essais sont considérés comme réussis lorsque la résistance d'isolement équivaut à au moins 1/3 des valeurs exigées pour un véhicule neuf.

6.3.3 Essais de résistance d'isolement

Voir exigences en 6.2.7, 6.2.9 et 6.2.11.

6.3.4 Trolleybus après révisions mineures ou réparations de maintenance

Selon l'étendue des réparations, des essais doivent être effectués selon les paragraphes mentionnés en 6.3. Plus particulièrement, pour les composants soumis à l'essai en atelier avec les normes de produit, seules les isolations embarquées doivent être soumises à l'essai. Pour les essais supplémentaires, voir 6.4.2.

6.4 Trolleybus en service (vérifications périodiques)

6.4.1 Diminution de l'isolement et dispositions exigées

En service, l'isolement peut diminuer sous l'effet de facteurs extérieurs variés (boue, pluie, etc.), d'usure progressive ou de défauts. Au-delà d'une limite donnée, cette diminution doit être révélée par le détecteur de courant de fuite (voir 5.1.6). Afin d'assurer une marge de sécurité adéquate du niveau d'isolement du véhicule, deux dispositions sont nécessaires:

- contrôles et vérifications périodiques selon 6.4.2 et 6.4.3. Lorsque la résistance d'isolement vérifiée est inférieure ou égale à celle indiquée dans le Tableau 5, le véhicule doit immédiatement être envoyé en révision, avant sa remise en service;
- vérification de l'efficacité du détecteur de courant de fuite, le cas échéant, comme mentionné en 6.5.3. Lorsque la valeur de la résistance d'isolement vérifiée est inférieure ou égale à celle exigée en 6.5.2, le véhicule doit immédiatement être envoyé en révision, avant sa remise en service.

6.4.2 Vérifications périodiques et essais de l'isolement lors de la maintenance

Les réparations ou modifications du véhicule ne doivent pas entraîner une réduction de la sécurité par rapport à son état initial. Cela concerne en particulier:

- les distances d'isolement et les lignes de fuite,
- les mesures de protection contre les chocs électriques,
- la protection (contre l'infiltration d'humidité et de poussière),
- les mesures de protection contre les dangers mécaniques et autres dangers,
- le processus fonctionnel de la partie logicielle, si exigé.

L'électricien qualifié responsable de l'essai doit décider si des essais supplémentaires sont nécessaires pour démontrer que le niveau de sécurité a été maintenu.

Les points suivants doivent être évalués lors de l'examen visuel final:

- les dommages sur les câbles de raccordement;
- les dommages sur l'isolation;
- le choix des fils et connecteurs appropriés;
- l'état des bornes et des fils;
- les dommages sur les protections antitorsion et les serre-câbles;
- les dommages sur les enveloppes et les protecteurs de contact;
- les signes de manipulation ou de modification interdite;
- la dégradation de la sécurité par corrosion ou détérioration des matériaux.

Il convient d'effectuer des vérifications sur l'isolement de l'équipement électrique du véhicule (ou sur des parties du système d'isolation) selon le plan de maintenance de l'opérateur ou à la suite d'un défaut.

Ces vérifications doivent être précédées d'un examen visuel afin de vérifier l'absence de détériorations apparentes susceptibles d'affecter l'exploitation et de réduire la sécurité.

Les masses intermédiaires doivent être vérifiées individuellement l'une après l'autre à l'aide de l'équipement mentionné en 5.1.7 et, le cas échéant, la résistance d'isolement du matériel électrique des systèmes ou sous-systèmes concernés doit être mesurée. Si disponible, une plaque d'essai spécifique (telle que celle décrite en l'Article A.9) peut être utilisée à cette fin.

6.4.3 Vérifications périodiques et essais de l'isolement

Dans certains pays, la réglementation exige des visites, vérifications et essais annuels pour le matériel roulant. Dans ce contexte, des mesurages de la résistance d'isolement doivent être effectués comme indiqué en 6.2.7, 6.2.9 et 6.2.11.

Les essais sont décrits en 6.2.7, 6.2.9 et 6.2.11 et pour les valeurs minimales de la résistance d'isolement à l'état sec, les valeurs minimales suivantes sont recommandées:

- pour chaque isolation simple $\geq 500 \text{ k}\Omega$;
- pour les circuits parallèles de chaque double isolation $\geq 1 \text{ M}\Omega$ (véhicule complet).

Tableau 5 – Résumé des essais électriques

Domaine de tension	Véhicule neuf	Véhicule révisé	Véhicule en service
Domaine II	Tension de tenue U_a basée sur U_{Nm} (voir IEC 62497-1:2010, Tableau B.1) ^a	85 % de la tension de tenue U_a basée sur U_{Nm} (voir IEC 62497-1:2010, Tableau B.1)	
	Isolation $R \geq 10 \text{ M}\Omega$ (mégohmmètre 1 000 V en courant continu)	Isolation $R \geq 3,3 \text{ M}\Omega$ (mégohmmètre 1 000 V en courant continu)	Isolation $\geq 500 \text{ k}\Omega$ (mégohmmètre 1 000 V en courant continu)
Domaine III	Tension de tenue U_a basée sur U_{Nm} (voir IEC 62497-1:2010, Tableau B.1)	85 % de la tension de tenue U_a basée sur U_{Nm} (voir IEC 62497-1:2010, Tableau B.1)	
	Isolation $R \geq 10 \text{ M}\Omega$ (mégohmmètre 1 000 V en courant continu)	Isolation $R \geq 3,3 \text{ M}\Omega$ (mégohmmètre 1 000 V en courant continu)	Isolation $\geq 500 \text{ k}\Omega$ (mégohmmètre 1 000 V en courant continu)
^a Pour chaque groupe de composants d'un même domaine de tension, le constructeur doit indiquer la tension d'isolement assignée U_{Nm} afin d'évaluer la tension de tenue U_a donnée dans Tableau B.1 de l'IEC 62497-1:2010.			

6.5 Détecteurs de courant de fuite (révisions, définitions, seuils)

6.5.1 Plages de tensions et de températures de service

L'appareil de détection du courant de fuite doit fonctionner correctement dans la plage de $0,67 U_n$ à $1,2 U_n$ par rapport à la tension d'alimentation nominale (voir 4.1.2), telle que spécifiée dans l'IEC 60850.

Cela s'applique également pour la plage de tensions de $0,70 U_n'$ à $1,15 U_n'$ spécifiée dans l'IEC 60571, lorsque l'appareil est alimenté par la batterie du réseau du véhicule (voir 5.4) ayant pour tension nominale U_n' .

Les caractéristiques de la tension d'alimentation, comme décrit dans l'ISO 16750-2 pour les véhicules moteurs, ne doivent pas avoir d'incidence sur la fonctionnalité du détecteur.

La plage de températures doit être conforme à l'IEC 62498-1 selon les conditions d'environnement et l'emplacement de l'installation dans le véhicule.