

- protective control: The condition within an electrical system wherein specific overvoltage attenuating means can be expected to limit the prospective transient overvoltages to a defined level.

NOTE 1 Overvoltages in large and complex systems such as low-voltage mains subjected to multiple and variable influences can only be assessed on a statistical basis. This is particularly true for overvoltages of atmospheric origin and applies whether the controlled condition is achieved as a consequence of inherent control or by means of protective control.

NOTE 2 A probabilistic analysis is recommended to assess whether inherent control exists or whether protective control is needed. This analysis requires knowledge of the electrical system characteristics, the keraunic levels, transient overvoltage levels, etc. This approach has been used in IEC 60364-4-443 for electrical installations of buildings connected to low-voltage mains.

NOTE 3 The specific overvoltage attenuating means may be a device having means for storage or dissipation of energy and, under defined conditions, capable of harmlessly dissipating the energy of the overvoltages expected at the location.

In order to apply the concept of insulation coordination, distinction is made between transient overvoltages from two different sources:

- transient overvoltages originating in the system to which the equipment is connected through its terminals;
- transient overvoltages originating in the equipment.

Insulation coordination uses a preferred series of values of rated impulse voltage:

330 V, 500 V, 800 V, 1 500 V, 2 500 V, 4 000 V, 6 000 V, 8 000 V, 12 000 V.

2.1.1.3 Insulation coordination with regard to recurring peak voltage

Consideration shall be given to the extent partial-discharges can occur in solid insulation (see 3.3.2.2.1) or along surfaces of insulation (under consideration).

2.1.1.4 Insulation coordination with regard to temporary overvoltage

Insulation coordination with regard to temporary overvoltages is based on the temporary overvoltage specified in IEC 60364-4-442 (see 3.3.3.2.2 in this standard).

NOTE Currently available surge protective devices (SPDs) are not able to adequately deal with the energy associated with temporary overvoltages.

2.1.2 Insulation coordination with regard to environmental conditions

The micro-environmental conditions for the insulation shall be taken into account as quantified by pollution degree.

The micro-environmental conditions depend primarily on the macro-environmental conditions in which the equipment is located and in many cases the environments are identical. However, the micro-environment can be better or worse than the macro-environment where, for example, enclosures, heating, ventilation or dust influence the micro-environment.

NOTE Protection by enclosures provided according to the classes specified in IEC 60529 does not necessarily improve the micro-environment with regard to pollution.

Les paramètres d'environnement les plus importants sont les suivants:

- pour les distances d'isolement dans l'air:
 - la pression de l'air,
 - la température, si elle varie sur une grande plage;
- pour les lignes de fuite:
 - la pollution,
 - l'humidité relative,
 - la condensation;
- pour l'isolation solide:
 - la température,
 - l'humidité relative.

2.2 Tensions et caractéristiques assignées de tension

Pour le dimensionnement du matériel, selon la coordination de l'isolement, les Comités d'Etudes doivent spécifier:

- les caractéristiques assignées de tension,
- une catégorie de surtension selon l'utilisation prévue du matériel, en tenant compte des caractéristiques du système (réseau) auquel il est prévu de le raccorder.

2.2.1 Détermination de la tension pour des contraintes de longues durées

On suppose que la tension assignée du matériel n'est pas inférieure à la tension nominale du réseau d'alimentation.

2.2.1.1 Tension pour le dimensionnement de l'isolation principale

2.2.1.1.1 Matériel alimenté directement par le réseau

Les tensions nominales du réseau ont été rationalisées selon les tableaux 3a et 3b (voir 3.2.1.1) et ces tensions constituent les valeurs minimales à utiliser pour le choix des lignes de fuite. Elles peuvent aussi être utilisées pour le choix de la tension assignée d'isolement.

Pour un matériel ayant plusieurs tensions assignées, permettant son utilisation pour différentes tensions nominales du réseau d'alimentation, la tension choisie doit être appropriée pour la tension assignée la plus élevée du matériel.

Les Comités d'Etudes doivent considérer si la tension doit être choisie:

- en fonction de la tension entre phases, ou
- en fonction de la tension entre phase et neutre.

2.2.1.1.2 Systèmes (réseaux), matériels et circuits internes non alimentés directement par le réseau

La valeur efficace la plus élevée de la tension susceptible d'apparaître dans le système (réseau), le matériel ou les circuits internes doit être utilisée pour l'isolation principale. La tension est déterminée pour une alimentation sous tension assignée et dans les conditions les plus sévères prévues dans les caractéristiques assignées du matériel.

NOTE Il n'est pas tenu compte des conditions de défauts.

The most important environmental parameters are as follows:

- for clearances:
 - air pressure,
 - temperature, if it has a wide variation;
- for creepage distances:
 - pollution,
 - relative humidity,
 - condensation;
- for solid insulation:
 - temperature,
 - relative humidity.

2.2 Voltages and voltage ratings

For the purpose of dimensioning equipment in accordance with insulation coordination, technical committees shall specify:

- the basis for voltage ratings,
- an overvoltage category according to the expected use of the equipment, taking into account the characteristics of the system to which it is intended to be connected.

2.2.1 Determination of voltage for long-term stresses

It is assumed that the rated voltage of equipment is not lower than the nominal voltage of the supply system.

2.2.1.1 Voltage for dimensioning basic insulation

2.2.1.1.1 Equipment energized directly from the low-voltage mains

The nominal voltages of the low-voltage mains have been rationalized according to tables 3a and 3b (see 3.2.1.1) and these voltages are the minimum to be used for the selection of creepage distances. They may also be used for the selection of rated insulation voltages.

For equipment having several rated voltages so that it may be used at different nominal voltages of the low-voltage mains, the voltage selected shall be appropriate for the highest rated voltage of the equipment.

Technical Committees shall consider whether the voltage is to be selected:

- based on line-to-line voltage, or
- based on line-to-neutral voltage.

2.2.1.1.2 Systems, equipment and internal circuits not energized directly from the low-voltage mains

The highest r.m.s. voltage which can occur in the system, equipment or internal circuits shall be used for basic insulation. The voltage is determined for supply at rated voltage and under the most onerous combination of other conditions within the rating of the equipment.

NOTE Fault conditions are not taken into account.

2.2.1.2 Tension pour le dimensionnement de l'isolation fonctionnelle

La tension locale est utilisée pour déterminer les dimensions correspondant à l'isolation fonctionnelle.

2.2.2 Détermination de la tension assignée de tenue aux chocs

Les surtensions transitoires constituent la base pour la détermination de la tension assignée de tenue aux chocs.

2.2.2.1 Catégories de surtension

Le concept de catégories de surtension est utilisé pour un matériel alimenté directement par le réseau.

NOTE Ce concept de catégories de surtension est utilisé dans la CEI 60364-4-443.

Un concept similaire peut aussi être utilisé pour des matériels raccordés à d'autres systèmes (réseaux), par exemple des réseaux de télécommunications et de transmissions de données.

2.2.2.1.1 Matériel alimenté directement par le réseau

Les Comités d'Etudes doivent spécifier la catégorie de surtension en se basant sur l'explication générale suivante des catégories de surtension (voir aussi la CEI 60364-4-443):

- Les matériels de catégorie IV sont utilisés à l'origine de l'installation.

NOTE Des exemples de tels matériels sont les compteurs électriques et les matériels principaux de protection contre les surintensités.

- Les matériels de catégorie III sont les matériels des installations fixes et dans le cas où la fiabilité et la disponibilité du matériel font l'objet de spécifications particulières.

NOTE Des exemples de tels matériels sont les appareils de l'installation fixe et des matériels à usage industriel avec raccordement permanent à l'installation fixe.

- Les matériels de catégorie II sont des matériels consommateurs d'énergie, alimentés à partir de l'installation fixe.

NOTE Des exemples de tels matériels sont les appareils électrodomestiques, les outils portatifs et les autres charges électrodomestiques et analogues.

Si ce matériel est, cependant, soumis à des exigences sévères concernant la fiabilité et la disponibilité, la catégorie III est applicable.

- Les matériels de catégorie I sont des matériels pour raccordement aux circuits dans lesquels des mesures pour limiter les surtensions transitoires à un niveau faible approprié sont prises.

Ces mesures doivent assurer que les surtensions temporaires qui pourraient apparaître sont suffisamment limitées de manière à ce que leur valeur de crête ne soit pas supérieure à la tension assignée de tenue aux chocs correspondante donnée au tableau 1.

Dans le dernier cas, le Comité d'Etudes doit spécifier la manière dont l'utilisateur doit être informé que le matériel est uniquement à utiliser dans des réseaux à neutre relié à la terre.

NOTE 1 On peut donner comme exemples de tels matériels, ceux qui contiennent des circuits électroniques protégés à ce niveau, voir cependant la note de 2.1.1.4.

NOTE 2 A moins que les circuits ne soient conçus pour traiter les surtensions temporaires, les matériels de catégorie 1 ne peuvent pas être directement raccordés au réseau.

2.2.2.1.2 Systèmes (réseaux) et matériels non alimentés directement par le réseau

Il est recommandé que les Comités d'Etudes spécifient les catégories de surtension ou les tensions assignées de tenue aux chocs appropriées. L'application de la série préférentielle de 2.1.1.2 est recommandée.

NOTE De tels systèmes (réseaux) sont, par exemple, des systèmes de télécommunication, des systèmes de commande industrielle ou des systèmes indépendants placés sur des véhicules.

2.2.1.2 Voltage for dimensioning functional insulation

The working voltage is used for determining the dimensions required for functional insulation.

2.2.2 Determination of rated impulse voltage

The transient overvoltages are taken as the basis for determining the rated impulse voltage.

2.2.2.1 Overvoltage categories

The concept of overvoltage categories is used for equipment energized directly from the low-voltage mains.

NOTE This concept of overvoltage categories is used in IEC 60364-4-443.

A similar concept can also be used for equipment connected to other systems, for example telecommunication and data systems.

2.2.2.1.1 Equipment energized directly from the supply mains

Technical Committees shall specify the overvoltage category as based on the following general explanation of overvoltage categories (see also IEC 60364-4-443):

- Equipment of overvoltage category IV is for use at the origin of the installation.

NOTE Examples of such equipment are electricity meters and primary overcurrent protection equipment.

- Equipment of overvoltage category III is equipment in fixed installations and for cases where the reliability and the availability of the equipment is subject to special requirements.

NOTE Examples of such equipment are switches in the fixed installation and equipment for industrial use with permanent connection to the fixed installation.

- Equipment of overvoltage category II is energy-consuming equipment to be supplied from the fixed installation.

NOTE Examples of such equipment are appliances, portable tools and other household and similar loads.

If such equipment is subjected to special requirements with regard to reliability and availability, overvoltage category III applies.

- Equipment of overvoltage category I is equipment for connection to circuits in which measures are taken to limit transient overvoltages to an appropriately low level.

These measures shall ensure that the temporary overvoltages that could occur are sufficiently limited so that their peak value does not exceed the relevant rated impulse voltage of table 1.

In the latter case the Technical Committee shall specify how the user is to be informed that the equipment is for use on neutral-earthed systems only.

NOTE 1 Examples of such equipment are those containing electronic circuits protected to this level, however see the note in 2.1.1.4.

NOTE 2 Unless the circuits are designed to take the temporary overvoltages into account, equipment of overvoltage category 1 cannot be directly connected to the supply mains.

2.2.2.1.2 Systems and equipment not energized directly from the low-voltage mains

It is recommended that Technical Committees specify overvoltage categories or rated impulse voltages as appropriate. Application of the preferred series of 2.1.1.2 is recommended.

NOTE Telecommunication or industrial control systems or independent systems on vehicles are examples of such systems.

2.2.2.2 Choix de la tension assignée de tenue aux chocs pour le matériel

La tension assignée de tenue aux chocs du matériel doit être choisie dans le tableau 1 correspondant à la catégorie de surtension spécifiée et à la tension assignée du matériel.

NOTE 1 Le matériel ayant une tension assignée de tenue particulière aux chocs et plus d'une tension assignée peut être utilisé dans différentes conditions de catégories de surtension.

NOTE 2 Pour l'étude de l'aspect surtension de manoeuvre, voir 2.2.2.4.

Tableau 1 – Tension assignée de choc pour les matériels alimentés directement par le réseau

| Tension nominale du réseau d'alimentation ¹⁾ fondée sur la CEI 60038 ³⁾ | | Tension phase-neutre déduite des tensions nominales c.a. ou c.c. jusqu'à et y compris | Tension assignée de choc ²⁾ | | | |
|--|-----------|---|--|-------|-------|--------|
| | | | Catégorie de surtension ⁴⁾ | | | |
| Triphasé | Monophasé | V | I | II | III | IV |
| 230/400 277/480 400/690 1 000 | 120-240 | 50 | 330 | 500 | 800 | 1 500 |
| | | 100 | 500 | 800 | 1 500 | 2 500 |
| | | 150 | 800 | 1 500 | 2 500 | 4 000 |
| | | 300 | 1 500 | 2 500 | 4 000 | 6 000 |
| | | 600 | 2 500 | 4 000 | 6 000 | 8 000 |
| | | 1 000 | 4 000 | 6 000 | 8 000 | 12 000 |

1) Voir annexe B pour l'application aux différents réseaux de distribution électrique existants et leurs tensions nominales.
 2) Les matériels avec ces tensions assignées de tenue aux chocs peuvent être utilisés dans les installations conformes à la CEI 60364-4-443.
 3) La marque / indique un réseau électrique triphasé à 4 fils (montage en étoile). La valeur inférieure est la tension entre phase et neutre, alors que la valeur supérieure est la tension entre phases. Lorsqu'une seule valeur est indiquée, elle se rapporte à des réseaux triphasés à 3 fils, et spécifie la valeur entre phases.
 4) Voir 2.2.2.1.1 pour une explication relative aux catégories de surtension.

2.2.2.3 Coordination de l'isolement de la tension de tenue aux chocs dans le matériel

2.2.2.3.1 Pour les parties ou les circuits situés à l'intérieur d'un matériel et qui sont sensiblement influencés par les surtensions transitoires externes, la tension assignée de tenue aux chocs du matériel est applicable. Les surtensions transitoires qui peuvent être produites par le fonctionnement du matériel ne doivent pas influencer les conditions des circuits externes au-delà de celles indiquées en 2.2.2.4.

2.2.2.3.2 Pour les autres parties ou circuits situés à l'intérieur d'un matériel qui sont spécifiquement protégés contre les surtensions transitoires de telle sorte qu'ils ne soient pas influencés de manière significative par les surtensions transitoires externes, la tension de tenue aux chocs prescrite pour l'isolation principale n'est pas liée à la tension assignée de choc des matériels mais aux conditions réelles concernant cette partie ou ce circuit. L'application des séries préférentielles des valeurs de tension de tenue aux chocs, comme introduites en 2.1.1.2, est cependant recommandée pour permettre une normalisation. Dans d'autres cas, l'interpolation des valeurs du tableau 2 est autorisée.

2.2.2.4 Surtension de manoeuvre produite par le matériel

Pour un matériel susceptible de créer des surtensions, comme par exemple les appareils de connexion, la tension assignée de tenue aux chocs implique que le matériel ne doit pas produire de surtension supérieure à cette valeur lorsqu'il est utilisé conformément à la norme correspondante et aux instructions du constructeur.

NOTE Le risque résiduel que des tensions supérieures à la tension assignée de choc puissent être engendrées dépend des conditions du circuit.

2.2.2.2 Selection of rated impulse voltage for equipment

The rated impulse voltage of the equipment shall be selected from table 1 corresponding to the overvoltage category specified and to the rated voltage of the equipment.

NOTE 1 Equipment with a particular rated impulse voltage and having more than one rated voltage may be suitable for use in different overvoltage categories.

NOTE 2 For consideration of the switching overvoltage aspect, see 2.2.2.4.

Table 1 – Rated impulse voltage for equipment energized directly from the low-voltage mains

| Nominal voltage of the supply system ¹⁾ based on IEC 60038 ³⁾ | | Voltage line to neutral derived from nominal voltages a.c. or d.c. up to and including V | Rated impulse voltage ²⁾ | | | |
|--|--------------|--|-------------------------------------|-------|-------|--------|
| | | | Overvoltage category ⁴⁾ | | | |
| Three phase | Single phase | | I | II | III | IV |
| 230/400 277/480 400/690 1 000 | 120-240 | 50 | 330 | 500 | 800 | 1 500 |
| | | 100 | 500 | 800 | 1 500 | 2 500 |
| | | 150 | 800 | 1 500 | 2 500 | 4 000 |
| | | 300 | 1 500 | 2 500 | 4 000 | 6 000 |
| | | 600 | 2 500 | 4 000 | 6 000 | 8 000 |
| | | 1 000 | 4 000 | 6 000 | 8 000 | 12 000 |

1) See annex B for application to existing different low-voltage mains and their nominal voltages.

2) Equipment with these rated impulse voltages can be used in installations in accordance with IEC 60364-4-443.

3) The / mark indicates a four-wire three-phase distribution system. The lower value is the voltage line-to-neutral, while the higher value is the voltage line-to-line. Where only one value is indicated, it refers to three-wire, three-phase systems and specifies the value line-to-line.

4) See 2.2.2.1.1 for an explanation of the overvoltage categories.

2.2.2.3 Impulse voltage insulation coordination within equipment

2.2.2.3.1 For parts or circuits within equipment which are significantly influenced by external transient overvoltages, the rated impulse voltage of the equipment applies. Transient overvoltages which can be generated by the operation of the equipment shall not influence external circuit conditions beyond that specified in 2.2.2.4.

2.2.2.3.2 For other parts or circuits within equipment which are specifically protected against transient overvoltages so that they are not significantly influenced by external transient overvoltages, the impulse withstand voltage required for basic insulation is not related to the rated impulse voltage of the equipment but to the actual conditions for that part or circuit. Application of the preferred series of impulse voltage values as introduced in 2.1.1.2 is, however, recommended to permit standardization. In other cases, interpolation of table 2 values is allowed.

2.2.2.4 Switching overvoltage generated by the equipment

For equipment capable of generating an overvoltage at the equipment terminals, for example switching devices, the rated impulse voltage implies that the equipment shall not generate overvoltage in excess of this value when used in accordance with the relevant standard and instructions of the manufacturer.

NOTE The residual risk that voltages in excess of the rated impulse voltage can be generated depends on the circuit conditions.

Si un appareil de connexion de tension de choc assignée ou de catégorie de surtension particulière est tel qu'il n'engendre pas de surtensions supérieures à celle d'une catégorie de surtension inférieure, il a deux tensions de choc assignées ou deux catégories de surtension: la plus élevée se rapportant à sa tension de tenue aux chocs, la plus faible se rapportant aux surtensions produites.

NOTE Une valeur donnée de la tension assignée de tenue aux chocs implique que des surtensions inférieures ou égales à cette amplitude pourraient devenir effectives dans le réseau et que, par conséquent, le matériel ne conviendrait pas pour une utilisation dans des catégories de surtension inférieures ou pourrait nécessiter des moyens de réduction appropriés à cette catégorie inférieure.

2.2.2.5 Prescriptions d'interface

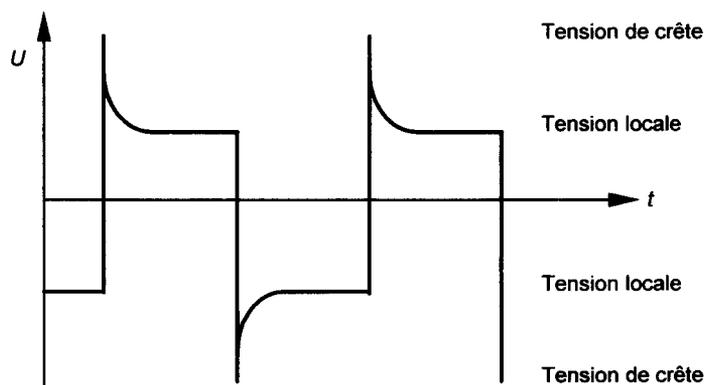
Le matériel peut être utilisé suivant les conditions d'une catégorie de surtension supérieure si une réduction appropriée de la surtension est pourvue. L'amortissement de surtension approprié peut être réalisé par

- un dispositif de protection contre les surtensions;
- un transformateur à enroulements isolés;
- un réseau de distribution possédant un grand nombre de branches (capables de dériver l'énergie des chocs);
- une capacitance capable d'absorber l'énergie des chocs;
- une résistance ou un dispositif d'amortissement similaire capable de dissiper l'énergie des chocs.

NOTE L'attention est attirée en particulier sur le fait que tout dispositif de protection contre les surtensions placé dans l'installation ou dans le matériel peut devoir dissiper plus d'énergie que tout dispositif de protection contre les surtensions placé à l'origine de l'installation ayant une tension résiduelle plus élevée. Ceci s'applique en particulier au dispositif de protection dont la tension résiduelle est la plus faible.

2.2.3 Détermination de la tension de crête répétitive

La forme d'onde de la tension est mesurée au moyen d'un oscilloscope ayant une bande passante suffisante, servant à déterminer l'amplitude de crête conformément à la figure 3.



IEC 1206/02

Figure 3 – Tension de crête répétitive

If a switching device with a particular rated impulse voltage or overvoltage category does not generate overvoltages higher than those of a lower overvoltage category, it has two rated impulse voltages or two overvoltage categories: the higher one referring to its impulse withstand voltage, the lower one referring to the generated overvoltage.

NOTE A given value of rated impulse voltage implies that overvoltages up to that magnitude may become effective in the system and that, as a consequence, the equipment may be unsuitable for use in lower overvoltage categories or require suppression means suitable for the lower category.

2.2.2.5 Interface requirements

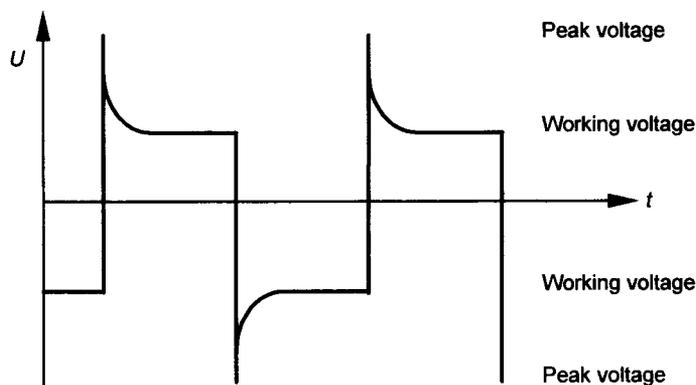
Equipment may be used under the conditions of a higher overvoltage category where appropriate overvoltage reduction is provided. Appropriate overvoltage attenuation can be achieved by:

- an overvoltage protective device;
- a transformer with isolated windings;
- a distribution system with a multiplicity of branch circuits (capable of diverting energy of surges);
- a capacitance capable of absorbing energy of surges;
- a resistance or similar damping device capable of dissipating the energy of surges.

NOTE Attention is drawn to the fact that any overvoltage protective device within the installation or within equipment may have to dissipate more energy than any overvoltage protective device at the origin of the installation having a higher clamping voltage. This applies particularly to the overvoltage protective device with the lowest clamping voltage.

2.2.3 Determination of recurring peak voltage

The waveshape of the voltage is measured by an oscilloscope of sufficient bandwidth, from which the peak amplitude is determined according to figure 3.



IEC 1206/02

Figure 3 – Recurring peak voltage

2.2.4 Détermination de la surtension temporaire

2.2.4.1 Généralités

Les situations relatives aux surtensions temporaires les plus sévères dues aux perturbations d'alimentation sont traitées dans la CEI 60364-4-442.

NOTE La CEI 60364-4-442 traite de la sécurité des personnes et des biens dans un système à basse tension dans le cas d'un défaut entre le système à haute tension et la terre des transformateurs qui alimentent les systèmes à basse tension.

2.2.4.2 Tension de défaut

L'amplitude et la durée d'une tension de défaut ou de la tension de contact due à un défaut à la terre dans un système à haute tension sont montrées à la figure 44A de la CEI 60364-4-442.

2.2.4.3 Contraintes dues à des surtensions temporaires

L'amplitude et la durée d'une surtension temporaire dans un équipement à basse tension due à un défaut à la terre dans un système à haute tension sont données en 3.3.3.2.2.

2.3 Fréquence

Les informations concernant le dimensionnement des fréquences supérieures à 30 kHz sont données dans la CEI 60664-4.

2.4 Durée d'application de la contrainte de tension

En ce qui concerne les lignes de fuite, la durée d'application de la contrainte de tension influe sur le nombre de cas où le séchage peut produire des scintillations d'une énergie suffisamment importante pour entraîner le cheminement. Le nombre de ces cas est considéré comme suffisamment important pour entraîner le cheminement

- dans les matériels destinés à un usage continu mais qui ne produisent pas suffisamment de chaleur pour maintenir sèche la surface de l'isolation;
- dans les matériels sujets à condensation sur de longues périodes pendant lesquelles ils sont fréquemment fermés et coupés;
- dans les appareils de connexion, côté entrée et entre les bornes de ligne et de charge, qui sont directement raccordés au réseau.

Les lignes de fuite indiquées dans le tableau 4 ont été déterminées pour une isolation destinée à être soumise à une contrainte de tension de longue durée.

NOTE Les comités d'études concernés par des matériels dont l'isolation est soumise à des contraintes de tension de courte durée uniquement peuvent envisager de permettre l'utilisation de lignes de fuite plus courtes pour l'isolation fonctionnelle, par exemple correspondant à un niveau de tension inférieur à ceux spécifiés au tableau 4.

2.5 Pollution

Le micro-environnement détermine l'effet sur l'isolation. Cependant le macro-environnement doit être pris en considération lors de l'étude du micro-environnement.

Des moyens tels que l'utilisation efficace d'enveloppes, d'enrobage ou de scellements hermétiques peuvent être employés pour réduire la pollution de l'isolation considérée. De tels moyens pour réduire la pollution peuvent ne pas être efficaces lorsque le matériel est sujet à la condensation ou si, en fonctionnement normal, le matériel produit lui-même des éléments polluants.

Les faibles distances d'isolement peuvent se trouver complètement pontées par des particules solides, des poussières et de l'eau et, en conséquence, des distances minimales sont spécifiées lorsqu'il peut y avoir de la pollution dans le micro-environnement.

NOTE 1 La pollution devient conductrice en présence d'humidité. La pollution due à de l'eau contaminée, de la suie, de la poussière de métal ou de carbone est naturellement conductrice.

NOTE 2 La pollution conductrice par gaz ionisés et dépôts métalliques est limitée à des cas spécifiques, par exemple dans les chambres à arc de l'appareillage, et n'est pas traitée dans cette partie de la CEI 60664.

2.2.4 Determination of temporary overvoltage

2.2.4.1 General

Situations related to the most onerous temporary overvoltages due to faults in the supply system are considered in IEC 60364-4-442.

NOTE IEC 60364-4-442 deals with the safety of persons and equipment in a low-voltage system in the event of a fault between the high-voltage system and earth of transformers that supply low-voltage systems.

2.2.4.2 Fault voltage

The magnitude and the duration of the fault voltage or the touch voltage due to an earth fault in the high-voltage system are shown in figure 44A of IEC 60364-4-442.

2.2.4.3 Stress due to temporary overvoltages

The magnitude and duration of a temporary overvoltage in low-voltage equipment due to an earth fault in the high-voltage system are given in 3.3.3.2.2.

2.3 Frequency

Information on the dimensioning for frequencies above 30 kHz is given in IEC 60664-4.

2.4 Time under voltage stress

With regard to creepage distances, the time under voltage stress influences the number of occasions when drying-out can result in surface scintillations with energy high enough to entail tracking. The number of such occasions is considered to be sufficiently large to cause tracking

- in equipment intended for continuous use but not generating sufficient heat to keep the surface of the insulation dry,
- in equipment subjected to condensation for extended periods during which it is frequently switched on and off,
- on the input side of a switching device, and between its line and load terminals, that is connected directly to the supply mains.

The creepage distances shown in table 4 have been determined for insulation intended to be under voltage stress during a long period of time.

NOTE Technical Committees responsible for equipment in which insulation is under voltage stress for only a short time may consider allowing reduced creepage distances for functional insulation, for example of one voltage step lower than specified in table 4.

2.5 Pollution

The micro-environment determines the effect of pollution on the insulation. The macro-environment, however, has to be taken into account when considering the micro-environment.

Means may be provided to reduce pollution at the insulation under consideration by effective use of enclosures, encapsulation or hermetic sealing. Such means to reduce pollution may not be effective when the equipment is subject to condensation or if, in normal operation, it generates pollutants itself.

Small clearances can be bridged completely by solid particles, dust and water and therefore minimum clearances are specified where pollution may be present in the micro-environment.

NOTE 1 Pollution will become conductive in the presence of humidity. Pollution caused by contaminated water, soot, metal or carbon dust is inherently conductive.

NOTE 2 Conductive pollution by ionized gases and metallic depositions occurs only in specific instances, for example in arc chambers of switchgear or controlgear, and is not covered by this part of IEC 60664.

2.5.1 Degrés de pollution dans le micro-environnement

Afin d'évaluer les lignes de fuite et les distances d'isolement, les quatre degrés de pollution suivants sont définis pour le micro-environnement:

– *Degré de pollution 1*

Il n'existe pas de pollution ou il se produit seulement une pollution sèche, non conductrice. La pollution n'a pas d'influence.

– *Degré de pollution 2*

Il ne se produit qu'une pollution non conductrice. Cependant, on doit s'attendre de temps en temps à une conductivité temporaire provoquée par de la condensation.

– *Degré de pollution 3*

Présence d'une pollution conductrice ou d'une pollution sèche, non conductrice, qui devient conductrice par suite de la condensation qui peut se produire.

– *Degré de pollution 4*

Une conductivité persistante apparaît qui est due à la poussière conductrice, à la pluie ou à d'autres conditions humides.

2.5.2 Conditions de pollution conductrice

Les dimensions des lignes de fuite ne peuvent pas être spécifiées en présence d'une pollution qui est en permanence conductrice, par exemple de la poussière de carbone ou de métal. En variante, la surface de l'isolation doit être conçue pour éviter tout chemin continu de pollution conductrice, par exemple au moyen de nervures et de rainures (voir 3.2.1.4).

2.6 Information fournie avec le matériel

Les Comités d'Etudes doivent spécifier quelle information appropriée doit être fournie avec le matériel et de quelle manière celle-ci doit être donnée.

2.7 Matériau isolant

2.7.1 Indice de résistance au cheminement (IRC)

2.7.1.1 En ce qui concerne le cheminement, les matériaux isolants peuvent être sommairement caractérisés selon les dommages subis de par la libération localisée d'énergie résultant de scintillations lors de l'interruption d'un courant de fuite superficiel en raison du séchage de la surface contaminée. En présence de scintillations, le matériau isolant peut avoir les comportements suivants:

- aucune décomposition du matériau isolant;
- usure du matériau isolant par action des décharges électriques (électroérosion);
- formation progressive de chemins conducteurs se formant à la surface du matériau isolant en raison des effets conjugués de la contrainte électrique et de la contamination conductrice électrolytique en surface (cheminement).

NOTE Le cheminement ou l'érosion apparaît lorsque

- un film liquide conduisant le courant de fuite superficiel se rompt, et que
- la tension appliquée est suffisante pour provoquer le claquage du petit intervalle formé lorsque le film se rompt, et que
- le courant est supérieur à une valeur limite qui est nécessaire pour fournir localement une énergie suffisante pour décomposer thermiquement le matériau isolant sous le film.

La détérioration s'accroît avec le temps d'écoulement du courant.

2.5.1 Degrees of pollution in the micro-environment

For the purpose of evaluating creepage distances and clearances, the following four degrees of pollution in the micro-environment are established:

- *Pollution degree 1*
No pollution or only dry, non-conductive pollution occurs. The pollution has no influence.
- *Pollution degree 2*
Only non-conductive pollution occurs except that occasionally a temporary conductivity caused by condensation is to be expected.
- *Pollution degree 3*
Conductive pollution occurs or dry non-conductive pollution occurs which becomes conductive due to condensation which is to be expected.
- *Pollution degree 4*
Continuous conductivity occurs due to conductive dust, rain or other wet conditions.

2.5.2 Conditions of conductive pollution

The dimensions for creepage distance cannot be specified where permanently conductive pollution is present, e.g. from carbon or metal dust. Instead, the surface of the insulation shall be designed to avoid a continuous path of conductive pollution, e.g. by means of ribs and grooves (see 3.2.1.4).

2.6 Information supplied with the equipment

Technical Committees shall specify the relevant information to be supplied with the equipment and the way this is to be provided.

2.7 Insulating material

2.7.1 Comparative tracking index (CTI)

2.7.1.1 With regard to tracking, an insulating material can be roughly characterized according to the damage it suffers from the concentrated release of energy during scintillations when a surface leakage current is interrupted due to the drying-out of the contaminated surface. The following behaviour of an insulating material in the presence of scintillations can occur:

- no decomposition of the insulating material;
- the wearing away of insulating material by the action of electrical discharges (electrical erosion);
- the progressive formation of conductive paths which are produced on the surface of insulating material due to the combined effects of electric stress and electrolytically conductive contamination on the surface (tracking).

NOTE Tracking or erosion will occur when

- a liquid film carrying the surface leakage current breaks, and
- the applied voltage is sufficient to break down the small gap formed when the film breaks, and
- the current is above a limiting value which is necessary to provide sufficient energy locally to thermally decompose the insulating material beneath the film.

Deterioration increases with the time for which the current flows.

2.7.1.2 Une méthode de classification des matériaux isolants selon 2.7.1.1 n'existe pas. Le comportement du matériau isolant sous l'action de divers agents de contamination et des tensions est extrêmement complexe. Dans ces conditions, de nombreux matériaux peuvent présenter deux ou même trois des caractéristiques indiquées. Une corrélation directe avec les groupes de matériaux de 2.7.1.3 n'est pas utilisable. Cependant, il a été démontré à l'expérience et par des essais que les matériaux isolants ayant une meilleure performance relative ont approximativement le même classement relatif d'après l'indice de résistance de cheminement (IRC). C'est pourquoi la présente norme utilise les valeurs d'IRC pour caractériser les matériaux isolants.

2.7.1.3 Dans le cadre de la présente norme, les matériaux sont classés comme suit en quatre groupes selon les valeurs de l'IRC. Ces valeurs sont déterminées en référence à la solution A de la CEI 60112. Les groupes sont les suivants:

- groupe de matériau I: $600 \leq \text{IRC}$;
- groupe de matériau II: $400 \leq \text{IRC} < 600$;
- groupe de matériau IIIa: $175 \leq \text{IRC} < 400$;
- groupe de matériau IIIb: $100 \leq \text{IRC} < 175$.

L'indice de tenue au cheminement (ITC) est utilisé pour vérifier les caractéristiques de cheminement des matériaux. Il est possible d'inclure un matériau dans l'un des quatre groupes ci-dessus lorsque son ITC, établi selon les méthodes de la CEI 60112 et en utilisant la solution A, est supérieur ou égal à la valeur inférieure spécifiée pour le groupe.

2.7.1.4 L'essai pour déterminer l'indice de résistance au cheminement (IRC) conformément à la CEI 60112 est conçu de façon à comparer la performance des divers matériaux isolants placés dans les conditions d'essai. Cet essai donne une comparaison qualitative et, dans le cas où les matériaux isolants ont tendance à former des cheminements, cet essai peut également donner une comparaison quantitative de l'indice de résistance au cheminement.

2.7.1.5 Pour le verre, les céramiques et d'autres matériaux isolants inorganiques qui ne sont pas sujets au cheminement, les lignes de fuite n'ont pas besoin d'être plus grandes que les distances d'isolement associées dans le cadre de la coordination de l'isolement. Le dimensionnement du tableau 2 sera donc approprié dans des conditions de champ hétérogène.

2.7.2 Caractéristiques de rigidité diélectrique

Les comités d'études doivent prendre en compte les caractéristiques de rigidité diélectrique des matériaux isolants, en se référant aux contraintes décrites en 3.3.1, 3.3.2.1.1 et 3.3.2.2.1.

2.7.3 Caractéristiques thermiques

Les comités d'études doivent prendre en compte les caractéristiques thermiques des matériaux isolants, en se référant aux contraintes décrites en 3.3.2.1.2, 3.3.2.2.2 et 3.3.3.5.

NOTE Voir également la CEI 60216.

2.7.4 Caractéristiques mécaniques et chimiques

Les comités d'études doivent prendre en compte les caractéristiques mécaniques et chimiques des matériaux isolants, en se référant aux contraintes décrites en 3.3.2.1.3, 3.3.2.2.3 et 3.3.2.3.

2.7.1.2 A method of classification for insulating materials according to 2.7.1.1 does not exist. The behaviour of the insulating material under various contaminants and voltages is extremely complex. Under these conditions, many materials may exhibit two or even all three of the characteristics stated. A direct correlation with the material groups of 2.7.1.3 is not practical. However, it has been found by experience and tests that insulating materials having a higher relative performance also have approximately the same relative ranking according to the comparative tracking index (CTI). Therefore, this standard uses the CTI values to categorize insulating materials.

2.7.1.3 For the purpose of this standard, materials are classified into four groups according to their CTI values. These values are determined in accordance with IEC 60112 using solution A. The groups are as follows:

- material group I: $600 \leq \text{CTI}$;
- material group II: $400 \leq \text{CTI} < 600$;
- material group IIIa: $175 \leq \text{CTI} < 400$;
- material group IIIb: $100 \leq \text{CTI} < 175$.

The proof tracking index (PTI) is used to verify the tracking characteristics of materials. A material may be included in one of these four groups on the basis that the PTI, verified by the method of IEC 60112 using solution A, is not less than the lower value specified for the group.

2.7.1.4 The test for comparative tracking index (CTI) in accordance with IEC 60112 is designed to compare the performance of various insulating materials under test conditions. It gives a qualitative comparison and in the case of insulating materials having a tendency to form tracks, it also gives a quantitative comparison.

2.7.1.5 For glass, ceramics or other inorganic insulating materials which do not track, creepage distances need not be greater than their associated clearance for the purpose of insulation co-ordination. The dimensions of table 2 for inhomogeneous field conditions are appropriate.

2.7.2 Electric strength characteristics

The electric strength characteristics of insulating material shall be considered by the technical committees, taking into account the stresses described in 3.3.1, 3.3.2.1.1 and 3.3.2.2.1.

2.7.3 Thermal characteristics

The thermal characteristics of insulating material shall be considered by the technical committees taking into account the stresses described in 3.3.2.1.2, 3.3.2.2.2 and 3.3.3.5.

NOTE See also IEC 60216.

2.7.4 Mechanical and chemical characteristics

The mechanical and chemical characteristics of insulating material shall be considered by the technical committees, taking into account the stresses described in 3.3.2.1.3, 3.3.2.2.3 and 3.3.2.3.

SECTION 3: PRESCRIPTIONS ET RÈGLES DE DIMENSIONNEMENT

3.1 Dimensionnement des distances d'isolement

Les distances d'isolement doivent être dimensionnées pour supporter la tension de tenue aux chocs prescrite. Pour les matériels directement raccordés au réseau, la tension de tenue aux chocs requise est la tension assignée de choc établie sur la base du 2.2.2.2. Si une tension efficace en régime permanent, une surtension temporaire ou une tension de crête répétitive exigent des distances d'isolement supérieures à celles requises pour la tension de tenue aux chocs, les valeurs correspondantes du tableau 7a doivent être utilisées. La distance d'isolement la plus importante doit être choisie, suite à la prise en compte de la tension de tenue aux chocs, de la tension efficace en régime permanent, des surtensions temporaires et des tensions de crête répétitives.

NOTE Dimensionner pour la tension efficace en régime permanent ou pour la tension de crête répétitive conduit à une situation où il n'existe aucune marge pour le claquage en cas d'application continue de ces tensions. Les Comités d'Etudes devraient tenir compte de ce fait.

3.1.1 Critères de dimensionnement

Les dimensions des distances d'isolement doivent être choisies en tenant compte des facteurs d'influence suivants:

- tension de tenue aux chocs spécifiée en 3.1.4 pour l'isolation fonctionnelle et en 3.1.5 pour l'isolation principale, supplémentaire et renforcée;
- tensions de tenue en régime permanent et surtensions temporaires (voir 3.1.1.2);
- tensions de crête répétitives (voir 3.1.1.2);
- conditions de champ électrique (voir 3.1.2);
- altitude: les dimensions des distances d'isolement spécifiées dans le tableau 2 et dans le tableau 7a donnent des capacités de tenue aux chocs pour des matériels destinés à être utilisés à des altitudes jusqu'à 2 000 m. Pour un matériel utilisé à des altitudes plus élevées, le 3.1.3 est applicable;
- degrés de pollution du micro-environnement (voir 2.5.1).

Les influences mécaniques telles que vibrations ou les forces appliquées peuvent exiger des distances d'isolement plus importantes.

3.1.1.1 Dimensionnement pour résister aux surtensions transitoires

Les distances d'isolement doivent être dimensionnées de manière à résister à la tension de tenue aux chocs prescrite, conformément au tableau 2. Pour les matériels directement raccordés au réseau, la tension de tenue aux chocs prescrite est la tension assignée de tenue aux chocs établie sur la base de 2.2.2.2 (tableau 1).

NOTE La CEI 60664-5 donne une procédure de rechange et plus précise de dimensionnement pour les distances d'isolement inférieures à 2 mm.

SECTION 3: REQUIREMENTS AND DIMENSIONING RULES

3.1 Dimensioning of clearances

Clearances shall be dimensioned to withstand the required impulse withstand voltage. For equipment directly connected to the low-voltage mains the required impulse withstand voltage is the rated impulse voltage established on the basis of 2.2.2.2. If a steady-state r.m.s. voltage, a temporary overvoltage or a recurring peak voltage requires larger clearances than required for the impulse withstand voltage, the corresponding values of table 7a shall be used. The largest clearance shall be selected, resulting from consideration of impulse withstand voltage, steady-state r.m.s. voltage, temporary overvoltage and recurring peak voltage.

NOTE Dimensioning for steady-state r.m.s. or recurring peak voltage leads to a situation in which there is no margin to breakdown with the continuous application of these voltages. Technical Committees should take this into account.

3.1.1 Dimensioning criteria

Clearance dimensions shall be selected taking into account the following influencing factors:

- impulse withstand voltage according to 3.1.4 for functional insulation and 3.1.5 for basic, supplementary and reinforced insulation;
- steady-state withstand voltages and temporary overvoltages (see 3.1.1.2);
- recurring peak voltages (see 3.1.1.2);
- electric field conditions (see 3.1.2);
- altitude: the clearance dimensions specified in table 2 and table 7a give withstand capability for equipment for use in altitudes up to 2 000 m. For equipment for use at higher altitudes 3.1.3 applies;
- degrees of pollution in the micro-environment (see 2.5.1).

Larger clearances may be required due to mechanical influences such as vibration or applied forces.

3.1.1.1 Dimensioning to withstand transient overvoltages

Clearances shall be dimensioned to withstand the required impulse withstand voltage, according to table 2. For equipment directly connected to the supply mains, the required impulse withstand voltage is the rated impulse voltage established on the basis of 2.2.2.2 (table 1).

NOTE IEC 60664-5 provides an alternative and more precise dimensioning procedure for clearances not greater than 2 mm.

Tableau 2 – Distances d'isolement pour résister aux surtensions transitoires¹

| Tension de tenue aux chocs prescrite ^{1) 5)} | Distances minimales d'isolement dans l'air jusqu'à 2 000 m au-dessus du niveau de la mer | | | | | |
|---|--|----------------------|-------------------|--|----------------------|-------------------|
| | Cas A Champ hétérogène (voir 1.3.15) | | | Cas B Champ homogène (voir 1.3.14) | | |
| | Degré de pollution ⁶⁾ | | | Degré de pollution ⁶⁾ | | |
| kV | 1 mm | 2 mm | 3 mm | 1 mm | 2 mm | 3 mm |
| 0,33 ²⁾ | 0,01 | 0,2 ^{3) 4)} | 0,8 ⁴⁾ | 0,01 | 0,2 ^{3) 4)} | 0,8 ⁴⁾ |
| 0,40 | 0,02 | | | 0,02 | | |
| 0,50 ²⁾ | 0,04 | | | 0,04 | | |
| 0,60 | 0,06 | | | 0,06 | | |
| 0,80 ²⁾ | 0,10 | | | 0,10 | | |
| 1,0 | 0,15 | | | 0,15 | | |
| 1,2 | 0,25 | 0,25 | | 0,2 | | |
| 1,5 ²⁾ | 0,5 | 0,5 | | 0,3 | 0,3 | |
| 2,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,45 | 0,45 | |
| 2,5 ²⁾ | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 0,60 | 0,60 | |
| 3,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 0,80 | 0,80 | |
| 4,0 ²⁾ | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| 5,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| 6,0 ²⁾ | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| 8,0 ²⁾ | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| 10 | 11 | 11 | 11 | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| 12 ²⁾ | 14 | 14 | 14 | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| 15 | 18 | 18 | 18 | 5,5 | 5,5 | 5,5 |
| 20 | 25 | 25 | 25 | 8,0 | 8,0 | 8,0 |
| 25 | 33 | 33 | 33 | 10 | 10 | 10 |
| 30 | 40 | 40 | 40 | 12,5 | 12,5 | 12,5 |
| 40 | 60 | 60 | 60 | 17 | 17 | 17 |
| 50 | 75 | 75 | 75 | 22 | 22 | 22 |
| 60 | 90 | 90 | 90 | 27 | 27 | 27 |
| 80 | 130 | 130 | 130 | 35 | 35 | 35 |
| 100 | 170 | 170 | 170 | 45 | 45 | 45 |

- 1) Cette tension est
- pour l'isolation fonctionnelle, la tension de choc maximale susceptible d'apparaître au travers de la distance d'isolement (voir 3.1.4),
 - pour l'isolation principale directement exposée ou influencée significativement par les surtensions transitoires provenant du réseau à basse tension (voir 2.2.2.2, 2.2.2.3.1 et 3.1.5), la tension assignée de tenue aux chocs du matériel,
 - pour les autres isolations principales (voir 2.2.2.3.2), la tension de tenue aux chocs la plus élevée qui peut apparaître dans le circuit.
- Pour l'isolation renforcée voir 3.1.5.
- 2) Valeurs préférentielles spécifiées en 2.1.1.2.
- 3) Pour les matériaux de circuits imprimés, les valeurs pour le degré de pollution 1 s'appliquent avec pour exception que les valeurs ne doivent pas être inférieures à 0,04 mm, comme spécifié dans le tableau 4.
- 4) Les distances d'isolement minimales données pour les degrés de pollution 2 et 3 sont basées sur les caractéristiques de résistance réduites de la ligne de fuite associée dans des conditions d'humidité (voir CEI 60664-5).
- 5) Pour les parties ou circuits à l'intérieur des matériels qui sont soumis à des tensions de tenue aux chocs selon 2.2.2.3.2, l'interpolation des valeurs est autorisée. Cependant, on obtient une harmonisation en utilisant la série préférentielle des valeurs de tension de tenue aux chocs de 2.1.1.2.
- 6) Les dimensions pour le degré de pollution 4 sont celles spécifiées pour le degré de pollution 3, à l'exception de la distance d'isolement minimale qui est de 1,6 mm.

¹ Ce tableau 2 remplace le tableau 2 de la page 40 et présente un titre modifié.

Table 2 – Clearances to withstand transient overvoltages¹

| Required impulse withstand voltage ^{1) 5)} | Minimum clearances in air up to 2 000 m above sea level | | | | | |
|---|---|----------------------|-------------------|---|----------------------|-------------------|
| | Case A Inhomogeneous field (see 1.3.15) | | | Case B Homogeneous field (see 1.3.14) | | |
| | Pollution degree ⁶⁾ | | | Pollution degree ⁶⁾ | | |
| kV | 1 mm | 2 mm | 3 mm | 1 mm | 2 mm | 3 mm |
| 0,33 ²⁾ | 0,01 | 0,2 ^{3) 4)} | 0,8 ⁴⁾ | 0,01 | 0,2 ^{3) 4)} | 0,8 ⁴⁾ |
| 0,40 | 0,02 | | | 0,02 | | |
| 0,50 ²⁾ | 0,04 | | | 0,04 | | |
| 0,60 | 0,06 | | | 0,06 | | |
| 0,80 ²⁾ | 0,10 | | | 0,10 | | |
| 1,0 | 0,15 | | | 0,15 | | |
| 1,2 | 0,25 | 0,25 | | 0,2 | | |
| 1,5 ²⁾ | 0,5 | 0,5 | | 0,3 | 0,3 | |
| 2,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,45 | 0,45 | |
| 2,5 ²⁾ | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 0,60 | 0,60 | |
| 3,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 0,80 | 0,80 | |
| 4,0 ²⁾ | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| 5,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 1,5 | 1,5 | 1,5 |
| 6,0 ²⁾ | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| 8,0 ²⁾ | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| 10 | 11 | 11 | 11 | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| 12 ²⁾ | 14 | 14 | 14 | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| 15 | 18 | 18 | 18 | 5,5 | 5,5 | 5,5 |
| 20 | 25 | 25 | 25 | 8,0 | 8,0 | 8,0 |
| 25 | 33 | 33 | 33 | 10 | 10 | 10 |
| 30 | 40 | 40 | 40 | 12,5 | 12,5 | 12,5 |
| 40 | 60 | 60 | 60 | 17 | 17 | 17 |
| 50 | 75 | 75 | 75 | 22 | 22 | 22 |
| 60 | 90 | 90 | 90 | 27 | 27 | 27 |
| 80 | 130 | 130 | 130 | 35 | 35 | 35 |
| 100 | 170 | 170 | 170 | 45 | 45 | 45 |

- 1) This voltage is
 – for functional insulation, the maximum impulse voltage expected to occur across the clearance (see 3.1.4),
 – for basic insulation directly exposed to or significantly influenced by transient overvoltages from the low-voltage mains (see 2.2.2.2, 2.2.2.3.1 and 3.1.5), the rated impulse voltage of the equipment,
 – for other basic insulation (see 2.2.2.3.2), the highest impulse voltage that can occur in the circuit.
 For reinforced insulation see 3.1.5.
- 2) Preferred values as specified in 2.1.1.2.
- 3) For printed wiring material, the values for pollution degree 1 apply except that the value shall not be less than 0,04 mm, as specified in table 4.
- 4) The minimum clearances given for pollution degrees 2 and 3 are based on the reduced withstand characteristics of the associated creepage distance under humidity conditions (see IEC 60664-5).
- 5) For parts or circuits within equipment subject to impulse voltages according to 2.2.2.3.2, interpolation of values is allowed. However, standardization is achieved by using the preferred series of impulse voltage values in 2.1.1.2.
- 6) The dimensions for pollution degree 4 are as specified for pollution degree 3, except that the minimum clearance is 1,6 mm.

¹ This table 2 replaces Table 2 on page 41 and bears an amended title.

3.1.1.2 Dimensionnement pour résister aux tensions en régime permanent, aux surtensions temporaires ou aux tensions de crête répétitives

Les distances d'isolement doivent être dimensionnées conformément au tableau 7a pour résister à la valeur de crête de la tension en régime permanent (courant continu ou 50/60 Hz), à la surtension temporaire ou à la tension de crête répétitive.

NOTE 1 Les informations concernant les caractéristiques de résistance pour les fréquences supérieures sont données dans la CEI 60664-4.

Tableau 7 – Distances d'isolement pour résister aux tensions en régime permanent, aux surtensions temporaires ou aux tensions de crête répétitives

Tableau 7a – Dimensionnement des distances d'isolement pour résister aux tensions en régime permanent, aux surtensions temporaires ou aux tensions de crête répétitives

| Tension ¹⁾ (valeur de crête) ²⁾ kV | Distances minimales d'isolement dans l'air jusqu'à 2 000 m au-dessus du niveau de la mer | |
|--|--|--|
| | Cas A Conditions de champ hétérogène (voir 1.3.15) mm | Cas B Conditions de champ homogène (voir 1.3.14) mm |
| 0,33 | 0,01 | 0,01 |
| 0,4 | 0,02 | 0,02 |
| 0,5 | 0,04 | 0,04 |
| 0,6 | 0,06 | 0,06 |
| 0,8 | 0,13 | 0,1 |
| 1,0 | 0,26 | 0,15 |
| 1,2 | 0,42 | 0,2 |
| 1,5 | 0,76 | 0,3 |
| 2,0 | 1,27 | 0,45 |
| 2,5 | 1,8 | 0,6 |
| 3,0 | 2,4 | 0,8 |
| 4,0 | 3,8 | 1,2 |
| 5,0 | 5,7 | 1,5 |
| 6,0 | 7,9 | 2 |
| 8,0 | 11,0 | 3 |
| 10 | 15,2 | 3,5 |
| 12 | 19 | 4,5 |
| 15 | 25 | 5,5 |
| 20 | 34 | 8 |
| 25 | 44 | 10 |
| 30 | 55 | 12,5 |
| 40 | 77 | 17 |
| 50 | 100 | 22 |
| 60 | | 27 |
| 80 | | 35 |
| 100 | | 45 |

¹⁾ Les distances d'isolement pour les autres tensions sont obtenues par interpolation.

²⁾ Voir la figure 3 pour la tension de crête répétitive.

Tableau 7b – Informations complémentaires pour le dimensionnement des distances d'isolement pour éviter les décharges partielles

| Tension ¹⁾ (valeur de crête) ²⁾ kV | Distances minimales d'isolement dans l'air à partir de 2 000 m au-dessus du niveau de la mer |
|--|--|
| | Cas A Conditions de champ hétérogène (voir 1.3.15) mm |
| 0,33 | Comme spécifié pour le cas A au tableau 7a |
| 0,4 | |
| 0,5 | |
| 0,6 | |
| 0,8 | |
| 1,0 | |
| 1,2 | |
| 1,5 | |
| 2,0 | |
| 2,5 | |
| 3,0 | 3,2 |
| 4,0 | 11 |
| 5,0 | 24 |
| 6,0 | 64 |
| 8,0 | 184 |
| 10 | 290 |
| 12 | 320 |
| 15 | ³⁾ |
| 20 | |
| 25 | |
| 30 | |
| 40 | |
| 50 | |
| 60 | |
| 80 | |
| 100 | |

¹⁾ Les distances d'isolement pour les autres tensions sont obtenues par interpolation.

²⁾ Voir la figure 3 pour la tension de crête répétitive.

³⁾ Dimensionnement sans décharge partielle impossible dans des conditions de champ hétérogène.

NOTE 2 Si les distances d'isolement sont soumises à des contraintes avec des tensions en régime permanent de 2,5 kV (valeur de crête) et supérieures, le dimensionnement selon les valeurs de claquage du tableau 7a peut ne pas assurer un fonctionnement sans couronne (décharges partielles), en particulier pour les champs hétérogènes. Pour assurer un fonctionnement sans couronne, il est nécessaire soit d'utiliser des distances d'isolement plus importantes comme indiqué au tableau 7b soit d'améliorer la distribution de champ.

3.1.1.2 Dimensioning to withstand steady-state voltages, temporary overvoltages or recurring peak voltages

Clearances shall be dimensioned according to table 7a to withstand the peak value of the steady-state (d.c. or 50/60 Hz voltage), the temporary overvoltage or recurring peak voltage.

NOTE 1 Information for the withstand characteristics for higher frequencies is given in IEC 60664-4.

Table 7 – Clearances to withstand steady-state voltages, temporary overvoltages or recurring peak voltages

Table 7a – Dimensioning of clearances to withstand steady-state voltages, temporary overvoltages or recurring peak voltages

| Voltage ¹⁾ (peak value) ²⁾ kV | Minimum clearances in air up to 2 000 m above sea level | |
|---|--|--|
| | Case A Inhomogeneous field conditions (see 1.3.15) mm | Case B Homogeneous field conditions (see 1.3.14) mm |
| 0,33 | 0,01 | 0,01 |
| 0,4 | 0,02 | 0,02 |
| 0,5 | 0,04 | 0,04 |
| 0,6 | 0,06 | 0,06 |
| 0,8 | 0,13 | 0,1 |
| 1,0 | 0,26 | 0,15 |
| 1,2 | 0,42 | 0,2 |
| 1,5 | 0,76 | 0,3 |
| 2,0 | 1,27 | 0,45 |
| 2,5 | 1,8 | 0,6 |
| 3,0 | 2,4 | 0,8 |
| 4,0 | 3,8 | 1,2 |
| 5,0 | 5,7 | 1,5 |
| 6,0 | 7,9 | 2 |
| 8,0 | 11,0 | 3 |
| 10 | 15,2 | 3,5 |
| 12 | 19 | 4,5 |
| 15 | 25 | 5,5 |
| 20 | 34 | 8 |
| 25 | 44 | 10 |
| 30 | 55 | 12,5 |
| 40 | 77 | 17 |
| 50 | 100 | 22 |
| 60 | | 27 |
| 80 | | 35 |
| 100 | | 45 |

1) The clearances for other voltages are obtained by interpolation.
2) See figure 3 for recurring peak voltage.

Table 7b – Additional information concerning the dimensioning of clearances to avoid partial discharge

| Voltage ¹⁾ (peak value) ²⁾ kV | Minimum clearances in air up to 2 000 m above sea level |
|---|--|
| | Case A Inhomogeneous field conditions (see 1.3.15) mm |
| 0,33 | As specified for case A in table 7a |
| 0,4 | |
| 0,5 | |
| 0,6 | |
| 0,8 | |
| 1,0 | |
| 1,2 | |
| 1,5 | |
| 2,0 | |
| 2,5 | |
| 3,0 | 3,2 |
| 4,0 | 11 |
| 5,0 | 24 |
| 6,0 | 64 |
| 8,0 | 184 |
| 10 | 290 |
| 12 | 320 |
| 15 | 3) |
| 20 | |
| 25 | |
| 30 | |
| 40 | |
| 50 | |
| 60 | |
| 80 | |
| 100 | |

1) The clearances for other voltages are obtained by interpolation.
2) See figure 3 for recurring peak voltage.
3) Dimensioning without partial discharge is not possible under inhomogeneous field conditions.

NOTE 2 If clearances are stressed with steady-state voltages of 2,5 kV (peak) and above, dimensioning according to the breakdown values in table 7a may not provide operation without corona (partial discharges), especially for inhomogeneous fields. In order to provide corona-free operation, it is either necessary to use larger clearances, as given in table 7b, or to improve the field distribution.

3.1.2 Conditions de champ électrique

La forme et la disposition des parties conductrices (électrodes) influent sur l'homogénéité du champ et, par conséquent, sur la distance d'isolement requise pour tenir une tension donnée (voir tableau 2, tableau 7a et tableau A.1).

3.1.2.1 Conditions de champ hétérogène (cas A du tableau 2)

Des distances d'isolement au moins égales à celles du tableau 2 pour des conditions de champ hétérogène peuvent être utilisées indépendamment de la forme et de la disposition des parties conductrices, et sans vérification par un essai de tenue au choc.

Les distances d'isolement à travers des fentes dans des enveloppes en matériau isolant ne doivent pas être inférieures à celles concernant la tenue aux conditions de champ hétérogène car les configurations ne peuvent être vérifiées, ce qui peut influencer de manière contraire l'homogénéité du champ électrique.

3.1.2.2 Conditions de champ homogène (cas B du tableau 2)

Les valeurs de distances d'isolement du cas B du tableau 2 sont applicables uniquement dans des conditions de champ homogène. Elles peuvent uniquement être utilisées lorsque la forme et la disposition des parties conductrices (électrodes) sont conçues pour obtenir un champ électrique ayant essentiellement un gradient de tension constant.

Les distances d'isolement inférieures à celles indiquées pour des conditions de champ hétérogène nécessitent une vérification par essai de tenue de tension (voir 4.1.1).

NOTE Pour les faibles valeurs des distances d'isolement, la présence de la pollution peut détruire l'uniformité du champ électrique en rendant nécessaire d'augmenter les distances d'isolement au-delà des valeurs du cas B.

3.1.3 Altitude

Comme les dimensions données dans le tableau 2 et dans le tableau 7 sont valables pour des altitudes jusqu'à 2 000 m au-dessus du niveau de la mer, les distances d'isolement pour des altitudes supérieures à 2 000 m doivent être multipliées par le facteur de correction d'altitude spécifié au tableau A.2.

NOTE La tension disruptive d'une distance d'isolement dans l'air, pour un champ homogène (tension de tenue, cas B, dans le tableau A.1), est, selon la loi de Paschen, proportionnelle au produit de la distance entre électrodes par la pression atmosphérique. En conséquence, les valeurs expérimentales relevées approximativement au niveau de la mer sont calculées en tenant compte de la différence de pression atmosphérique entre 2 000 m et le niveau de la mer. Dans le cadre de la présente norme, les mêmes calculs sont repris pour les champs non homogènes.

3.1.4 Dimensionnement des distances d'isolement de l'isolation fonctionnelle

Pour une distance d'isolement de l'isolation fonctionnelle, la tension de choc maximale supposée se produire à travers celle-ci dans les conditions assignées du matériel (qui comprennent la tension assignée et la tension assignée de tenue aux chocs du matériel) est la tension assignée de tenue aux chocs appropriée.

3.1.5 Dimensionnement des distances d'isolement de l'isolation principale, supplémentaire et renforcée

Les distances d'isolement de l'isolation principale et supplémentaire doivent être dimensionnées chacune conformément au tableau 2 correspondant:

- à la tension assignée de tenue aux chocs suivant 2.2.2.2 ou 2.2.2.3.1 ou
- aux spécifications de tension de tenue aux chocs suivant 2.2.2.3.2.

3.1.2 Electric field conditions

The shape and arrangement of the conductive parts (electrodes) influence the homogeneity of the field and consequently the clearance needed to withstand a given voltage (see table 2, table 7a and table A.1).

3.1.2.1 Inhomogeneous field conditions (case A of table 2)

Clearances not less than those specified in table 2 for inhomogeneous field conditions can be used irrespective of the shape and arrangement of the conductive parts and without verification by a voltage withstand test.

Clearances through openings in enclosures of insulating material shall not be less than those specified for inhomogeneous field conditions since the configuration is not controlled, which may have an adverse effect on the homogeneity of the electric field.

3.1.2.2 Homogeneous field conditions (case B of table 2)

Values for clearances in table 2 for case B are only applicable for homogeneous fields. They can only be used where the shape and arrangement of the conductive parts is designed to achieve an electric field having an essentially constant voltage gradient.

Clearances smaller than those for inhomogeneous field conditions require verification by a voltage withstand test (see 4.1.1).

NOTE For small values of clearances, the uniformity of the electric field can deteriorate in the presence of pollution, making it necessary to increase the clearances above the values of case B.

3.1.3 Altitude

As the dimensions in table 2 and table 7 are valid for altitudes up to 2 000 m above sea level, clearances for altitudes above 2 000 m shall be multiplied by the altitude correction factor specified in table A.2.

NOTE The breakdown voltage of a clearance in air for a homogeneous field (withstand voltage case B in table A.1) is, according to Paschen's Law, proportional to the product of the distance between electrodes and the atmospheric pressure. Therefore experimental data recorded at approximately sea level is corrected according to the difference in atmospheric pressure between 2 000 m and sea level. The same correction is made for inhomogeneous fields.

3.1.4 Dimensioning of clearances of functional insulation

For a clearance of functional insulation, the maximum impulse voltage expected to occur across it under rated conditions of the equipment, in particular the rated voltage and rated impulse voltage, is the appropriate impulse withstand voltage.

3.1.5 Dimensioning of clearances of basic, supplementary and reinforced insulation

Clearances of basic and supplementary insulation shall each be dimensioned as specified in table 2 corresponding to

- the rated impulse voltage, according to 2.2.2.2 or 2.2.2.3.1, or
- the impulse withstand voltage requirements according to 2.2.2.3.2.

Les distances d'isolement de l'isolation renforcée doivent être dimensionnées comme spécifié dans le tableau 2 correspondant à la tension assignée de tenue aux chocs immédiatement supérieure dans la série préférentielle de 2.1.1.2 à celle indiquée pour l'isolation principale. Si, conformément à 2.2.2.3.2, la tension de tenue aux chocs prescrite pour l'isolation principale diffère d'une valeur de la série préférentielle, l'isolation renforcée doit être dimensionnée pour supporter 160 % de la tension de tenue aux chocs exigée pour l'isolation principale.

NOTE Dans un système (réseau) coordonné, l'augmentation des distances d'isolement au-dessus du minimum exigé ne procure pas de possibilités supplémentaires pour une tension de tenue aux chocs prescrite. Cependant, pour des raisons différentes de la coordination de l'isolement, il peut être nécessaire d'augmenter les distances d'isolement (par exemple, pour des raisons mécaniques). Dans de tels cas, la tension d'essai doit rester fondée sur la tension assignée de tenue aux chocs du matériel, faute de quoi il pourrait se produire une contrainte anormale sur l'isolation solide associée.

Pour un matériel pourvu d'une double isolation où l'isolation principale et l'isolation supplémentaire ne peuvent pas être essayées séparément, le système d'isolation doit être traité comme une isolation renforcée.

NOTE Lors du dimensionnement de distances d'isolement par rapport à des surfaces accessibles en matériau isolant, de telles surfaces sont supposées être recouvertes d'une feuille métallique. De plus amples détails peuvent être spécifiés par les Comités d'Etudes.

3.1.6 Distances de sectionnement

Voir la CEI 60364-5-537.

3.2 Dimensionnement des lignes de fuite

Les valeurs du tableau 4 sont adaptées à la majorité des applications. Si un dimensionnement plus précis des lignes de fuite de 2 mm ou moins est nécessaire, la CEI 60664-5 s'applique.

3.2.1 Facteurs d'influence

Les lignes de fuite doivent être choisies dans le tableau 4. Les facteurs d'influence suivants doivent être pris en considération:

- tension conforme à 2.2.1 (voir également 3.2.1.1);
- micro-environnement (voir 3.2.1.2);
- orientation et localisation de la ligne de fuite (voir 3.2.1.3);
- forme de la surface isolante (voir 2.5.2 et 3.2.1.4);
- matériaux isolants (voir 2.7.1);
- durée d'application de la contrainte de tension (voir article 2.4).

NOTE Les valeurs du tableau 4 sont basées sur des données empiriques existantes et conviennent à une majorité d'applications. Cependant, pour l'isolation fonctionnelle, des valeurs de lignes de fuite différentes de celles du tableau 4 peuvent être appropriées.

3.2.1.1 Tension

La base de la détermination d'une ligne de fuite est la valeur efficace de longue durée de la tension existant le long de la ligne de fuite. Cette tension est la tension locale (voir 3.2.2), la tension assignée d'isolement (voir 3.2.3) ou la tension assignée (voir 3.2.3).

Les surtensions transitoires sont négligées car elles n'influencent normalement pas le phénomène de cheminement. Cependant, les surtensions temporaires et fonctionnelles doivent être prises en considération si leur durée et leur fréquence d'occurrence peuvent influencer le cheminement.

Clearances of reinforced insulation shall be dimensioned as specified in table 2 corresponding to the rated impulse voltage but one step higher in the preferred series of values in 2.1.1.2 than that specified for basic insulation. If the impulse withstand voltage required for basic insulation according to 2.2.2.3.2, is other than a value taken from the preferred series, reinforced insulation shall be dimensioned to withstand 160 % of the impulse withstand voltage required for basic insulation.

NOTE In a coordinated system, clearances above the minimum required are unnecessary for a required impulse withstand voltage. However, it may be necessary, for reasons other than insulation coordination, to increase clearances (for example due to mechanical influences). In such instances, the test voltage is to remain based on the rated impulse voltage of the equipment, otherwise undue stress of associated solid insulation may occur.

For equipment provided with double insulation where basic insulation and supplementary insulation cannot be tested separately, the insulation system is considered as reinforced insulation.

NOTE When dimensioning clearances to accessible surfaces of insulating material, such surfaces are assumed to be covered by metal foil. Further details can be specified by Technical Committees.

3.1.6 Isolating distances

See IEC 60364-5-537.

3.2 Dimensioning of creepage distances

The values of table 4 are suitable for the majority of applications. If more precise dimensioning of creepage distances not greater than 2 mm is needed, IEC 60664-5 is relevant.

3.2.1 Influencing factors

Creepage distances shall be selected from table 4. The following influencing factors are taken into account:

- voltage according to 2.2.1 (see also 3.2.1.1);
- micro-environment (see 3.2.1.2);
- orientation and location of creepage distance (see 3.2.1.3);
- shape of insulating surface (see 2.5.2 and 3.2.1.4);
- insulating materials (see 2.7.1);
- time under voltage stress (see clause 2.4).

NOTE The values of table 4 are based upon existing empirical data and are suitable for the majority of applications. However, for functional insulation, other values of creepage distances than those of table 4 may be appropriate.

3.2.1.1 Voltage

The basis for the determination of a creepage distance is the long-term r.m.s. value of the voltage existing across it. This voltage is the working voltage (see 3.2.2), the rated insulation voltage (see 3.2.3) or the rated voltage (see 3.2.3).

Transient overvoltages are neglected since they will normally not influence the tracking phenomenon. However, temporary and functional overvoltages have to be taken into account if their duration and frequency of occurrence can influence tracking.

3.2.1.2 Pollution

L'influence des degrés de pollution dans le micro-environnement indiqués en 2.5.1 sur le dimensionnement des lignes de fuite est prise en considération dans le tableau 4.

NOTE Différentes conditions de micro-environnement peuvent exister dans un matériel.

3.2.1.3 Orientation et emplacement d'une ligne de fuite

Si nécessaire, le constructeur doit indiquer l'orientation prévue du matériel ou du composant afin que les lignes de fuite ne soient pas dangereusement affectées par une accumulation de pollution anormale pour laquelle elles ne sont pas conçues.

NOTE Le stockage de longue durée doit être pris en considération.

3.2.1.4 Forme de la surface isolante

Les lignes de fuite peuvent comprendre, de préférence, des nervures et des rainures transversales destinées à rompre la continuité du chemin de fuite dû aux couches conductrices superficielles. Les nervures et les rainures peuvent également être utilisées pour détourner l'écoulement d'eau de l'isolation qui est électriquement contrainte. Les joints ou les rainures reliant des parties conductrices devraient être évités car ils peuvent accumuler de la pollution ou retenir l'eau.

NOTE Le stockage de longue durée doit être pris en considération. L'évaluation de la longueur d'un chemin de fuite est donnée à l'article 4.2.

3.2.1.5 Relation avec la distance d'isolement

Une ligne de fuite ne peut pas être inférieure à la distance d'isolement associée, de sorte que la ligne de fuite la plus courte possible est égale à la distance d'isolement prescrite. Cependant, il n'existe aucune relation physique entre la distance minimale d'isolement dans l'air et la ligne de fuite minimale acceptable, sauf cette limitation dimensionnelle.

Des lignes de fuite inférieures aux distances d'isolement prescrites dans le cas A du tableau 2 ne peuvent être utilisées que dans des conditions de degrés de pollution 1 et 2 lorsque la ligne de fuite peut résister à la tension requise pour la distance d'isolement associée (tableau 2). L'essai pour démontrer que la ligne de fuite résistera à la tension pour la distance d'isolement associée doit tenir compte du facteur de correction d'altitude (voir 4.1.1.2).

La comparaison entre les distances minimales d'isolement et les lignes de fuite spécifiées dans cette norme est donnée à l'annexe E.

3.2.2 Dimensionnement des lignes de fuite de l'isolation fonctionnelle

Les lignes de fuite de l'isolation fonctionnelle doivent être dimensionnées comme indiqué au tableau 4 correspondant à la tension locale le long de la ligne de fuite considérée.

NOTE Lorsque la tension locale est utilisée pour le dimensionnement, il peut être approprié d'interpoler les valeurs des tensions intermédiaires.

3.2.3 Dimensionnement des lignes de fuite de l'isolation principale, supplémentaire et renforcée

Les lignes de fuite de l'isolation principale et supplémentaire doivent être choisies dans le tableau 4 pour:

- les tensions rationalisées (voir 2.2.1.1) données dans les colonnes 2 et 3 du tableau 3a et les colonnes 2, 3 et 4 du tableau 3b, correspondant à la tension nominale du réseau d'alimentation;

3.2.1.2 Pollution

The influence of the degrees of pollution in the micro-environment, specified in 2.5.1, on the dimensioning of creepage distances is taken into account in table 4.

NOTE In an equipment, different micro-environmental conditions can exist.

3.2.1.3 Orientation and location of a creepage distance

If necessary, the manufacturer shall indicate the intended orientation of the equipment or component in order that creepage distances be not adversely affected by the accumulation of pollution for which they were not designed.

NOTE Long-term storage has to be taken into account.

3.2.1.4 Shape of insulating surface

Preferably, the surface of solid insulation should include transverse ridges and grooves that break the continuity of the leakage path caused by pollution. Likewise, ridges and grooves may be used to divert any water away from insulation which is electrically stressed. Joints or grooves joining conductive parts should be avoided since they can collect pollution or retain water.

NOTE Long-term storage has to be taken into account. The evaluation of the length of a creepage path is given in clause 4.2.

3.2.1.5 Relationship to clearance

A creepage distance cannot be less than the associated clearance so that the shortest creepage distance possible is equal to the required clearance. However, there is no physical relationship, other than this dimensional limitation, between the minimum clearance in air and the minimum acceptable creepage distance.

Creepage distances less than the clearances required in case A of table 2 may only be used under conditions of pollution degrees 1 and 2 when the creepage distance can withstand the voltage required for the associated clearance (table 2). The test to demonstrate that the creepage distance will withstand the voltage for the associated clearance shall take into account the altitude correction factor (see 4.1.1.2).

Comparison of the minimum clearances and creepage distances specified in this standard is described in annex E.

3.2.2 Dimensioning of creepage distances of functional insulation

Creepage distances of functional insulation shall be dimensioned as specified in table 4 corresponding to the working voltage across the creepage distance considered.

NOTE When the working voltage is used for dimensioning, it may be appropriate to interpolate values for intermediate voltages.

3.2.3 Dimensioning of creepage distances of basic, supplementary and reinforced insulation

Creepage distances of basic and supplementary insulation shall be selected from table 4 for:

- the rationalized voltages (see 2.2.1.1) given in columns 2 and 3 of table 3a and columns 2, 3 and 4 of table 3b, corresponding to the nominal voltage of the supply low-voltage mains;

- la tension assignée d'isolement conformément à 2.2.1.1.1;
- la tension spécifiée en 2.2.1.1.2.

NOTE Pour l'isolation supplémentaire, le degré de pollution, le groupe de matériau, les contraintes mécaniques et les conditions d'environnement d'utilisation peuvent être différents de ceux de l'isolation principale.

Les lignes de fuite de la double isolation sont la somme des valeurs de l'isolation principale et supplémentaire qui composent le système de double isolation.

Les lignes de fuite pour l'isolation renforcée doivent être égales au double de celles déterminées pour l'isolation principale comme cela est indiqué au tableau 4.

NOTE Lors du dimensionnement des lignes de fuite par rapport à des surfaces accessibles d'un matériau isolant, de telles surfaces sont supposées être recouvertes d'une feuille métallique. De plus amples détails peuvent être spécifiés par les Comités d'Etudes.

Tableau 3a – Réseaux monophasés 3 ou 2 fils c.a. ou c.c.

| Tension nominale du réseau d'alimentation* | Tensions rationalisées pour le tableau 4 | |
|--|---|---|
| | Pour l'isolement entre phases ¹⁾ | Pour l'isolement phase-terre ¹⁾ |
| | Tous réseaux V | Réseaux à 3 fils point milieu à la terre V |
| V | V | |
| 12,5 | 12,5 | |
| 24 25 | 25 | |
| 30 | 32 | |
| 42 48 50** | 50 | |
| 60 | 63 | |
| 30-60 | 63 | 32 |
| 100** | 100 | |
| 110 120 | 125 | |
| 150** | 160 | |
| 220 | 250 | |
| 110-220 120-240 | 250 | 125 |
| 300** | 320 | |
| 220-440 | 500 | 250 |
| 600** | 630 | |
| 480-960 | 1 000 | 500 |
| 1 000** | 1 000 | |

¹⁾ Le niveau d'isolement phase-terre pour des réseaux non reliés à la terre ou reliés à la terre à travers une impédance est égal au niveau d'isolement entre phases, car la tension de service par rapport à la terre de toute phase peut, en pratique, tendre vers la pleine tension entre phases. Cela parce que la tension réelle par rapport à la terre est déterminée par la résistance d'isolement et la réactance capacitive de chaque phase par rapport à la terre; c'est ainsi qu'une valeur faible (mais acceptable) de la résistance d'isolement d'une phase peut effectivement la mettre au potentiel de la terre et élever les tensions des deux autres phases à la pleine tension entre phases par rapport à la terre.

* Pour la relation avec la tension assignée voir 2.2.1.

** Ces valeurs correspondent aux valeurs données au tableau 1.

- the rated insulation voltage according to 2.2.1.1.1;
- the voltage specified in 2.2.1.1.2.

NOTE For supplementary insulation, the pollution degree, insulating material, mechanical stresses and environmental conditions of use may be different from those for basic insulation.

Creepage distances of double insulation are the sum of the values of the basic and supplementary insulation which compose the double insulation system.

Creepage distances for reinforced insulation shall be twice those determined for basic insulation from table 4.

NOTE When dimensioning creepage distances to accessible surfaces of insulating material, such surfaces are assumed to be covered by metal foil. Further details can be specified by Technical Committees.

Table 3a – Single-phase three or two-wire a.c. or d.c. systems

| Nominal voltage of the supply system* | Voltages rationalized for table 4 | |
|---|--|---|
| | For insulation line-to-line ¹⁾ | For insulation line-to-earth ¹⁾ |
| | All systems V | Three-wire systems mid-point earthed V |
| V | V | V |
| 12,5 | 12,5 | |
| 24 25 | 25 | |
| 30 | 32 | |
| 42 48 50** | 50 | |
| 60 | 63 | |
| 30-60 | 63 | 32 |
| 100** | 100 | |
| 110 120 | 125 | |
| 150** | 160 | |
| 220 | 250 | |
| 110-220 120-240 | 250 | 125 |
| 300** | 320 | |
| 220-440 | 500 | 250 |
| 600** | 630 | |
| 480-960 | 1 000 | 500 |
| 1 000** | 1 000 | |
| ¹⁾ Line-to-earth insulation level for unearthed or impedance-earthed systems equals that for line-to-line because the operating voltage to earth of any line can, in practice, approach full line-to-line voltage. This is because the actual voltage to earth is determined by the insulation resistance and capacitive reactance of each line to earth; thus, low (but acceptable) insulation resistance of one line can in effect earth it and raise the other two to full line-to-line voltage to earth. * For relationship to rated voltage see 2.2.1. ** These values correspond to the values given in table 1. | | |

Tableau 3b – Réseaux c.a. triphasés 4 ou 3 fils

| Tension nominale du réseau d'alimentation* | Tensions rationalisées pour le tableau 4 | | |
|--|--|--|---|
| | Pour l'isolement entre phases | Pour l'isolement phase-terre | |
| | Tous réseaux | Réseaux triphasés 4 fils neutre à la terre ²⁾ | Réseaux triphasés 3 fils non reliés à la terre ¹⁾ ou une phase reliée à la terre |
| V | V | V | V |
| 60 | 63 | 32 | 63 |
| 110 120 127 | 125 | 80 | 125 |
| 150** | 160 | – | 160 |
| 208 | 200 | 125 | 200 |
| 220 230 240 | 250 | 160 | 250 |
| 300** | 320 | – | 320 |
| 380 400 415 | 400 | 250 | 400 |
| 440 | 500 | 250 | 500 |
| 480 500 | 500 | 320 | 500 |
| 575 | 630 | 400 | 630 |
| 600** | 630 | – | 630 |
| 660 690 | 630 | 400 | 630 |
| 720 830 | 800 | 500 | 800 |
| 960 | 1 000 | 630 | 1 000 |
| 1 000** | 1 000 | – | 1 000 |

1) Le niveau d'isolement phase-terre pour des réseaux non reliés à la terre ou reliés à la terre à travers une impédance est égal au niveau d'isolement entre phases, car la tension de service par rapport à la terre de toute phase peut, en pratique, tendre vers la pleine tension entre phases. Cela parce que la tension réelle par rapport à la terre est déterminée par la résistance d'isolement et la réactance capacitive de chaque phase par rapport à la terre; c'est ainsi qu'une valeur faible (mais acceptable) de la résistance d'isolement d'une phase peut effectivement la mettre au potentiel de la terre et élever les tensions des deux autres phases à la pleine tension entre phases par rapport à la terre.

2) Pour les matériels destinés à être utilisés à la fois en alimentations triphasées 4 fils et triphasées 3 fils, reliées ou non à la terre, il y a lieu d'utiliser uniquement les valeurs pour les réseaux 3 fils.

* Pour la relation avec la tension assignée voir 2.2.1.

** Ces valeurs correspondent aux valeurs données au tableau 1.

Table 3b – Three-phase four or three-wire a.c. systems

| Nominal voltage of the supply system* | Voltages rationalized for table 4 | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|--|---|
| | For insulation line-to-line | For insulation line-to-earth | |
| | All systems V | Three-phase four-wire systems neutral-earthed ²⁾ V | Three-phase three-wire systems unearthed ¹⁾ or corner-earthed V |
| 60 | 63 | 32 | 63 |
| 110 120 127 | 125 | 80 | 125 |
| 150** | 160 | – | 160 |
| 208 | 200 | 125 | 200 |
| 220 230 240 | 250 | 160 | 250 |
| 300** | 320 | – | 320 |
| 380 400 415 | 400 | 250 | 400 |
| 440 | 500 | 250 | 500 |
| 480 500 | 500 | 320 | 500 |
| 575 | 630 | 400 | 630 |
| 600** | 630 | – | 630 |
| 660 690 | 630 | 400 | 630 |
| 720 830 | 800 | 500 | 800 |
| 960 | 1 000 | 630 | 1 000 |
| 1 000** | 1 000 | – | 1 000 |

1) Line-to-earth insulation level for unearthed or impedance-earthed systems equals that for line-to-line because the operating voltage to earth of any line can, in practice, approach full line-to-line voltage. This is because the actual voltage to earth is determined by the insulation resistance and capacitive reactance of each line to earth; thus, low (but acceptable) insulation resistance of one line can in effect earth it and raise the other two to full line-to-line voltage to earth.

2) For equipment for use on both three-phase four-wire and three-phase three-wire supplies, earthed and unearthed, use the values for three-wire systems only.

* For relationship to rated voltage see 2.2.1.

** These values correspond to the values given in table 1.

Tableau 4 – Lignes de fuite pour éviter les défaillances dues au cheminement

| Tension efficace ¹⁾ V | Lignes de fuite minimales | | | | | | | | |
|---|---|--|-------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|---|
| | Matériau pour circuit imprimé Degré de pollution | | Degré de pollution 1 | Degré de pollution 2 | | | Degré de pollution 3 | | |
| | 1 | 2 | | Groupe de matériau I | Groupe de matériau II | Groupe de matériau III | Groupe de matériau I | Groupe de matériau II | Groupe de matériau III ²⁾ |
| | Tous les groupes de matériaux | Tous les groupes de matériaux, sauf IIIb | Tous les groupes de matériaux | | | | | | |
| 10 | 0,025 | 0,04 | 0,08 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 1 | 1 | 1 |
| 12,5 | 0,025 | 0,04 | 0,09 | 0,42 | 0,42 | 0,42 | 1,05 | 1,05 | 1,05 |
| 16 | 0,025 | 0,04 | 0,1 | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| 20 | 0,025 | 0,04 | 0,11 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| 25 | 0,025 | 0,04 | 0,125 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,25 | 1,25 | 1,25 |
| 32 | 0,025 | 0,04 | 0,14 | 0,53 | 0,53 | 0,53 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| 40 | 0,025 | 0,04 | 0,16 | 0,56 | 0,8 | 1,1 | 1,4 | 1,6 | 1,8 |
| 50 | 0,025 | 0,04 | 0,18 | 0,6 | 0,85 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 1,9 |
| 63 | 0,04 | 0,063 | 0,2 | 0,63 | 0,9 | 1,25 | 1,6 | 1,8 | 2 |
| 80 | 0,063 | 0,10 | 0,22 | 0,67 | 0,95 | 1,3 | 1,7 | 1,9 | 2,1 |
| 100 | 0,1 | 0,16 | 0,25 | 0,71 | 1 | 1,4 | 1,8 | 2 | 2,2 |
| 125 | 0,16 | 0,25 | 0,28 | 0,75 | 1,05 | 1,5 | 1,9 | 2,1 | 2,4 |
| 160 | 0,25 | 0,40 | 0,32 | 0,8 | 1,1 | 1,6 | 2,0 | 2,2 | 2,5 |
| 200 | 0,4 | 0,63 | 0,42 | 1 | 1,4 | 2,0 | 2,5 | 2,8 | 3,2 |
| 250 | 0,56 | 1,0 | 0,56 | 1,25 | 1,8 | 2,5 | 3,2 | 3,6 | 4,0 |
| 320 | 0,75 | 1,6 | 0,75 | 1,6 | 2,2 | 3,2 | 4,0 | 4,5 | 5,0 |
| 400 | 1 | 2,0 | 1 | 2,0 | 2,8 | 4,0 | 5,0 | 5,6 | 6,3 |
| 500 | 1,3 | 2,5 | 1,3 | 2,5 | 3,6 | 5 | 6,3 | 7,1 | 8 |
| 630 | 1,8 | 3,2 | 1,8 | 3,2 | 4,5 | 6,3 | 8 | 9 | 10 |
| 800 | 2,4 | 4,0 | 2,4 | 4,0 | 5,6 | 8 | 10 | 11 | 12,5 |
| 1 000 | 3,2 | 5,0 | 3,2 | 5,0 | 7,1 | 10 | 12,5 | 14 | 16 |
| 1 250 | | | 4,2 | 6,3 | 9 | 12,5 | 16 | 18 | 20 |
| 1 600 | | | 5,6 | 8 | 11 | 16 | 20 | 22 | 25 |
| 2 000 | | | 7,5 | 10 | 14 | 20 | 25 | 28 | 32 |
| 2 500 | | | 10 | 12,5 | 18 | 25 | 32 | 36 | 40 |
| 3 200 | | | 12,5 | 16 | 22 | 32 | 40 | 45 | 50 |
| 4 000 | | | 16 | 20 | 28 | 40 | 50 | 56 | 63 |
| 5 000 | | | 20 | 25 | 36 | 50 | 63 | 71 | 80 |
| 6 300 | | | 25 | 32 | 45 | 63 | 80 | 90 | 100 |
| 8 000 | | | 32 | 40 | 56 | 80 | 100 | 110 | 125 |
| 10 000 | | | 40 | 50 | 71 | 100 | 125 | 140 | 160 |
| 12 500 | | | 50 ³⁾ | 63 ³⁾ | 90 ³⁾ | 125 ³⁾ | | | |
| 16 000 | | | 63 ³⁾ | 80 ³⁾ | 110 ³⁾ | 160 ³⁾ | | | |
| 20 000 | | | 80 ³⁾ | 100 ³⁾ | 140 ³⁾ | 200 ³⁾ | | | |

Table 4 – Creepage distances to avoid failure due to tracking

| Voltage r.m.s. ¹⁾ V | Minimum creepage distances | | | | | | | | |
|--|--|--|---------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--|
| | Printed wiring material Pollution degree | | Pollution degree 1 | Pollution degree 2 | | | Pollution degree 3 | | |
| | 1 | 2 | | Material group I | Material group II | Material group III | Material group I | Material group II | Material group III ²⁾ |
| | All material groups | All material groups, except IIIb | All material groups | | | | | | |
| 10 | 0,025 | 0,04 | 0,08 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 1 | 1 | 1 |
| 12,5 | 0,025 | 0,04 | 0,09 | 0,42 | 0,42 | 0,42 | 1,05 | 1,05 | 1,05 |
| 16 | 0,025 | 0,04 | 0,1 | 0,45 | 0,45 | 0,45 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |
| 20 | 0,025 | 0,04 | 0,11 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| 25 | 0,025 | 0,04 | 0,125 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1,25 | 1,25 | 1,25 |
| 32 | 0,025 | 0,04 | 0,14 | 0,53 | 0,53 | 0,53 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |
| 40 | 0,025 | 0,04 | 0,16 | 0,56 | 0,8 | 1,1 | 1,4 | 1,6 | 1,8 |
| 50 | 0,025 | 0,04 | 0,18 | 0,6 | 0,85 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 1,9 |
| 63 | 0,04 | 0,063 | 0,2 | 0,63 | 0,9 | 1,25 | 1,6 | 1,8 | 2 |
| 80 | 0,063 | 0,10 | 0,22 | 0,67 | 0,95 | 1,3 | 1,7 | 1,9 | 2,1 |
| 100 | 0,1 | 0,16 | 0,25 | 0,71 | 1 | 1,4 | 1,8 | 2 | 2,2 |
| 125 | 0,16 | 0,25 | 0,28 | 0,75 | 1,05 | 1,5 | 1,9 | 2,1 | 2,4 |
| 160 | 0,25 | 0,40 | 0,32 | 0,8 | 1,1 | 1,6 | 2,0 | 2,2 | 2,5 |
| 200 | 0,4 | 0,63 | 0,42 | 1 | 1,4 | 2,0 | 2,5 | 2,8 | 3,2 |
| 250 | 0,56 | 1,0 | 0,56 | 1,25 | 1,8 | 2,5 | 3,2 | 3,6 | 4,0 |
| 320 | 0,75 | 1,6 | 0,75 | 1,6 | 2,2 | 3,2 | 4,0 | 4,5 | 5,0 |
| 400 | 1 | 2,0 | 1 | 2,0 | 2,8 | 4,0 | 5,0 | 5,6 | 6,3 |
| 500 | 1,3 | 2,5 | 1,3 | 2,5 | 3,6 | 5 | 6,3 | 7,1 | 8 |
| 630 | 1,8 | 3,2 | 1,8 | 3,2 | 4,5 | 6,3 | 8 | 9 | 10 |
| 800 | 2,4 | 4,0 | 2,4 | 4,0 | 5,6 | 8 | 10 | 11 | 12,5 |
| 1 000 | 3,2 | 5,0 | 3,2 | 5,0 | 7,1 | 10 | 12,5 | 14 | 16 |
| 1 250 | | | 4,2 | 6,3 | 9 | 12,5 | 16 | 18 | 20 |
| 1 600 | | | 5,6 | 8 | 11 | 16 | 20 | 22 | 25 |
| 2 000 | | | 7,5 | 10 | 14 | 20 | 25 | 28 | 32 |
| 2 500 | | | 10 | 12,5 | 18 | 25 | 32 | 36 | 40 |
| 3 200 | | | 12,5 | 16 | 22 | 32 | 40 | 45 | 50 |
| 4 000 | | | 16 | 20 | 28 | 40 | 50 | 56 | 63 |
| 5 000 | | | 20 | 25 | 36 | 50 | 63 | 71 | 80 |
| 6 300 | | | 25 | 32 | 45 | 63 | 80 | 90 | 100 |
| 8 000 | | | 32 | 40 | 56 | 80 | 100 | 110 | 125 |
| 10 000 | | | 40 | 50 | 71 | 100 | 125 | 140 | 160 |
| 12 500 | | | 50 ³⁾ | 63 ³⁾ | 90 ³⁾ | 125 ³⁾ | | | |
| 16 000 | | | 63 ³⁾ | 80 ³⁾ | 110 ³⁾ | 160 ³⁾ | | | |
| 20 000 | | | 80 ³⁾ | 100 ³⁾ | 140 ³⁾ | 200 ³⁾ | | | |

Tableau 4 (suite)

| Tension efficace ¹⁾ V | Lignes de fuite minimales | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|---|----------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| | Matériau pour circuit imprimé | | Degré de pollution 1 | Degré de pollution 2 | | | Degré de pollution 3 | | |
| | Degré de pollution | | | Tous les groupes de matériaux | Groupe de matériau I | Groupe de matériau II | Groupe de matériau III | Groupe de matériau I | Groupe de matériau II |
| | 1 | 2 | mm | | | | | | |
| 25 000 | | | 100 ³⁾ | 125 ³⁾ | 180 ³⁾ | 250 ³⁾ | | | |
| 32 000 | | | 125 ³⁾ | 160 ³⁾ | 220 ³⁾ | 320 ³⁾ | | | |
| 40 000 | | | 160 ³⁾ | 200 ³⁾ | 280 ³⁾ | 400 ³⁾ | | | |
| 50 000 | | | 200 ³⁾ | 250 ³⁾ | 360 ³⁾ | 500 ³⁾ | | | |
| 63 000 | | | 250 ³⁾ | 320 ³⁾ | 450 ³⁾ | 600 ³⁾ | | | |

¹⁾ Cette tension est

- pour l'isolation fonctionnelle, la tension locale, pour l'isolation principale et l'isolation supplémentaire de circuit alimenté directement par le réseau (voir 2.2.1.1.1), la tension rationalisée par l'intermédiaire des tableaux 3a et 3b, sur la base de la tension assignée du matériel, ou la tension assignée d'isolement;
- pour l'isolation principale et l'isolation supplémentaire de réseaux, de matériels ou de circuits internes non directement alimentés par le réseau (voir 2.2.1.1.2), la valeur efficace la plus élevée de la tension pouvant apparaître dans le réseau, le matériel ou le circuit interne lorsque ces derniers sont alimentés sous la tension assignée et dans la combinaison des conditions d'emploi les plus sévères prévues aux caractéristiques assignées du matériel.

²⁾ Le groupe de matériaux IIIb n'est pas recommandé pour les applications en degrés de pollution 3 au-dessus de 630 V.

³⁾ Données provisoires obtenues par extrapolation. Les comités d'études qui possèdent d'autres informations par expérience sont autorisés à utiliser leurs dimensions.

3.3 Prescriptions pour la conception de l'isolation solide

3.3.1 Généralités

Etant donné que la rigidité diélectrique d'une isolation solide est considérablement plus importante que celle de l'air, il est permis d'y prêter une moindre attention pendant la conception de systèmes d'isolation à basse tension. D'autre part, les distances d'isolement à travers la matière isolante solide sont, en règle générale, très inférieures aux distances d'isolement dans l'air, ce qui donne lieu à des contraintes électriques importantes. Il faut également considérer le fait que, dans la pratique, la rigidité diélectrique élevée d'un matériau est rarement utilisée. Dans les systèmes d'isolation, des entrefers peuvent se produire entre les électrodes et l'isolation d'une part, et entre les différentes couches d'isolation d'autre part, ou bien des soufflures peuvent être présentes dans le matériau isolant. Des décharges partielles peuvent se produire dans ces entrefers ou dans ces soufflures, à des tensions bien en dessous du niveau de perforation, ce qui risque d'affecter de façon décisive la longévité de l'isolation solide. Cependant, il est peu vraisemblable de voir des décharges partielles pour des tensions crêtes inférieures à 500 V.

Un autre point crucial réside dans le fait que, comparativement aux gaz, l'isolation solide n'est pas un support renouvelable, si bien que des crêtes de tensions élevées, susceptibles de se produire quelquefois, peuvent avoir un effet très néfaste sur l'isolation solide. Une telle situation peut se présenter pendant le fonctionnement ou lors des essais diélectriques individuels.

Un certain nombre d'influences néfastes s'accumule tout au long de la durée de fonctionnement d'une isolation solide. Ces influences suivent des étapes complexes avant d'aboutir au vieillissement. Par conséquent, les contraintes électriques et autres (par exemple thermiques, climatiques) superposent leurs effets et contribuent au vieillissement.

Table 4 (continued)

| Voltage r.m.s. ¹⁾ | Minimum creepage distances | | | | | | | | |
|---------------------------------|--|---------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| | Printed wiring material | | Pollution degree 1 | Pollution degree 2 | | | Pollution degree 3 | | |
| | Pollution degree 1 | 2 | | All material groups | Material group I | Material group II | Material group III | Material group I | Material group II |
| All material groups | All material groups, except IIIb | All material groups | mm | | | | | | |
| V | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 25 000 | | | 100 ³⁾ | 125 ³⁾ | 180 ³⁾ | 250 ³⁾ | | | |
| 32 000 | | | 125 ³⁾ | 160 ³⁾ | 220 ³⁾ | 320 ³⁾ | | | |
| 40 000 | | | 160 ³⁾ | 200 ³⁾ | 280 ³⁾ | 400 ³⁾ | | | |
| 50 000 | | | 200 ³⁾ | 250 ³⁾ | 360 ³⁾ | 500 ³⁾ | | | |
| 63 000 | | | 250 ³⁾ | 320 ³⁾ | 450 ³⁾ | 600 ³⁾ | | | |

¹⁾ This voltage is

- for functional insulation, the working voltage;
- for basic and supplementary insulation of the circuit energized directly from the supply mains (see 2.2.1.1.1), the voltage rationalized through table 3a or table 3b, based on the rated voltage of the equipment, or the rated insulation voltage;
- for basic and supplementary insulation of systems, equipment and internal circuits not energized directly from the mains (see 2.2.1.1.2), the highest r.m.s. voltage which can occur in the system, equipment or internal circuit when supplied at rated voltage and under the most onerous combination of conditions of operation within equipment rating.

²⁾ Material group IIIb is not recommended for application in pollution degree 3 above 630 V.

³⁾ Provisional data based on extrapolation. Technical committees who have other information based on experience may use their dimensions.

3.3 Requirements for design of solid insulation

3.3.1 General

As the electric strength of solid insulation is considerably greater than that of air, it may receive little attention during the design of low-voltage insulation systems. On the other hand, the insulating distances through solid insulating material are, as a rule, much smaller than the clearances so that high electric stresses result. Another point to be considered is that the high electric strength of material is seldom made use of in practice. In insulation systems gaps may occur between electrodes and insulation and between different layers of insulation, or voids may be present in the insulation. Partial discharges can occur in these gaps or voids at voltages far below the level of puncture and this may influence decisively the service life of the solid insulation. However, partial discharges are unlikely to occur below a peak voltage of 500 V.

Of equally fundamental importance is the fact that solid insulation, as compared with gases, is not a renewable insulating medium so that, for example, high voltage peaks which may occur infrequently can have a very damaging effect on solid insulation. This situation can occur while in service and during routine high-voltage testing.

A number of detrimental influences accumulate over the service life of solid insulation. These follow complex patterns and result in ageing. Therefore, electrical and other stresses (e.g. thermal, environmental) are superimposed and contribute to ageing.

Il convient de simuler les performances à long terme d'une isolation solide par un essai à court terme. Le but est d'y parvenir par un conditionnement adapté.

Si l'isolation solide est soumise à des fréquences élevées, les pertes diélectriques de l'isolation solide et les décharges partielles deviennent de plus en plus importantes. Cette situation a été observée dans des sources de puissance commutées où l'isolation est soumise à des crêtes de tensions répétitives, à des fréquences pouvant atteindre 500 kHz.

Il n'y a en général pas de relation entre l'épaisseur d'un matériau isolant solide et les mécanismes de défaillance mentionnés ci-dessus et, par conséquent, les qualités d'un matériau isolant solide ne peuvent être évaluées que par des essais. Il n'est pas approprié de spécifier l'épaisseur minimale de l'isolation solide pour obtenir la rigidité diélectrique à long terme.

3.3.2 Contraintes

On distingue deux types de contraintes appliquées à l'isolation solide:

- les contraintes à court terme;
- les contraintes à long terme.

D'autres contraintes (se reporter à 3.3.2.3), différentes de celles décrites en 3.3.2.1 et 3.3.2.2 ci-dessous, peuvent être appliquées à l'isolation solide en cours d'utilisation.

3.3.2.1 Les contraintes à court terme et leurs effets

3.3.2.1.1 Tension

La rigidité diélectrique est fortement influencée par la fréquence de la tension. L'échauffement diélectrique et la probabilité d'instabilité thermique augmentent de façon approximativement proportionnelle à la fréquence. La contrainte de champ de claquage d'une isolation classique, mesurée à fréquence industrielle conformément à la CEI 60243-1 pour un spécimen de 3 mm d'épaisseur, est comprise entre 10 kV/mm et 40 kV/mm. L'augmentation de la fréquence entraînera une réduction de la rigidité diélectrique de la plupart des matériaux isolants.

NOTE Des indications supplémentaires concernant l'influence des fréquences élevées sont à l'étude.

3.3.2.1.2 Echauffement

L'échauffement est capable de provoquer

- une déformation mécanique due à la relaxation d'une contrainte interne;
- un ramollissement des thermoplastiques pour des échauffements relativement peu élevés, par exemple températures au-dessus de 60 °C;
- fragilisation de certains matériaux due à une perte de plastifiant;
- ramollissement de certains matériaux réticulés, notamment si la température de transition vitreuse du matériau est dépassée;
- pertes diélectriques accrues entraînant instabilité thermique et défaillance.

Les variations rapides de température, par exemple pendant les court-circuits, sont susceptibles de provoquer une défaillance mécanique.

3.3.2.1.3 Choc mécanique

En cas de résistance insuffisante aux chocs, un choc mécanique est susceptible de provoquer une défaillance de l'isolation. Une défaillance, sous l'effet d'un choc mécanique, pourrait aussi se produire en raison de la diminution de la résistance aux chocs des matériaux:

- due au matériau devenu fragile si sa température est passée en dessous de sa température de transition vitreuse;
- après une exposition prolongée sous une température élevée ayant entraîné une perte de plastifiant ou une détérioration du polymère de base.

The long-term performance of solid insulation can be simulated by a short-term test in combination with suitable conditioning.

If solid insulation is subjected to high frequencies, the dielectric losses of solid insulation and partial discharges become increasingly important. This condition has been observed in switched-mode power supplies where the insulation is subjected to repetitive voltage peaks at frequencies up to 500 kHz.

There is no general relationship between the thickness of solid insulation to the aforesaid failure mechanisms, therefore the performance of solid insulation can only be assessed by testing. It is not appropriate to specify the minimum thickness of solid insulation to achieve long-term electric withstand capability.

3.3.2 Stresses

The stresses applied to solid insulation are divided into:

- short-term;
- long-term.

Other stresses, see 3.3.2.3, than those listed in 3.3.2.1 and 3.3.2.2 below may be applied to solid insulation in use.

3.3.2.1 Short-term stresses and their effects

3.3.2.1.1 Voltage

The electric strength is greatly influenced by the frequency of the applied voltage. Dielectric heating and the probability of thermal instability increase approximately in proportion to the frequency. The breakdown field strength of insulation having a thickness of 3 mm when measured at power frequency according to IEC 60243-1 is between 10 kV/mm and 40 kV/mm. Increasing the frequency will reduce the electric strength of most insulating materials.

NOTE Further guidance on the influence of higher frequencies is under consideration.

3.3.2.1.2 Heating

Heating can cause

- mechanical distortion due to the release of locked-in stress;
- softening of thermoplastics at comparatively low temperature-rise above ambient, for example temperatures above 60 °C;
- embrittlement of some materials due to loss of plasticiser;
- softening of some cross-linked materials particularly if the glass transition temperature of the material is exceeded;
- increased dielectric losses leading to thermal instability and failure.

High temperature gradients, for example during short-circuits, may cause mechanical failure.

3.3.2.1.3 Mechanical shock

In the case of inadequate impact strength, mechanical shock may cause insulation failure. Failure from mechanical shock could also occur due to reduced impact strength of materials:

- due to material becoming brittle when the temperature falls below its glass transition temperature;
- after prolonged exposure to high temperature that has caused loss of plasticiser or degradation of the base polymer.

Les Comités d'Etudes doivent tenir compte de tous ces points lors de la spécification des conditions ambiantes relatives au transport, au stockage, à l'installation et à l'utilisation.

3.3.2.2 Contraintes à long terme et leurs effets

3.3.2.2.1 Décharges partielles (DP)

Dans l'air, des décharges partielles peuvent se produire à des tensions de crête supérieures à 300 V (le minimum de Paschen). Dans la pratique, il est peu probable que cela puisse se produire en dessous de 500 V. La défaillance se produit par érosion progressive et/ou par arborescence, conduisant à une perforation ou à un contournement.

Les systèmes d'isolation peuvent avoir des propriétés différentes: certains sont capables de supporter des décharges tout au long de leur durée de vie prévue (par exemple isolateurs en céramique), alors que d'autres doivent être impérativement exempts de toute décharge (par exemple les condensateurs). La tension, la fréquence de répétition des décharges et l'amplitude des décharges constituent des paramètres importants.

On suppose que le comportement des DP est influencé par la fréquence de la tension appliquée. Des essais de vieillissement accéléré par augmentation de la fréquence ont permis d'établir que le temps nécessaire pour aboutir à une défaillance est approximativement inversement proportionnel à la fréquence de la tension appliquée. Cependant, les expériences pratiques relatives aux DP ne concernent que des fréquences maximales de 5 kHz car, à des fréquences plus élevées, d'autres mécanismes de défaillance sont également susceptibles d'apparaître, par exemple échauffement diélectrique.

NOTE L'influence de la fréquence sur le seuil de DP et sur la tension d'extinction de DP est à l'étude.

3.3.2.2.2 Echauffement

L'échauffement entraîne une détérioration de l'isolation, par exemple par évaporation, oxydation ou d'autres modifications chimiques à long terme. Cependant la défaillance finale est souvent mécanique (exemple fragilisation) et conduit à une fissuration et à une rupture diélectrique. Ce mécanisme est un processus continu qu'il n'est pas possible de simuler par un essai de courte durée, car plusieurs milliers d'heures d'essai seraient nécessaires (se reporter à la CEI 60216).

3.3.2.2.3 Contraintes mécaniques

Les contraintes mécaniques dues aux vibrations en cours de fonctionnement ou les contraintes produites durant le stockage ou le transport peuvent provoquer un délaminage, une fissuration ou la rupture du matériau isolant.

3.3.2.2.4 Humidité

La présence de vapeur d'eau peut influencer sur la résistance d'isolement et sur la tension d'extinction de décharge, accentuer l'effet de contamination superficielle, provoquer la corrosion et entraîner des variations dimensionnelles. Un taux d'humidité élevé entraînera une diminution significative de la rigidité diélectrique de certains matériaux. Un faible taux d'humidité peut, dans certains cas, être défavorable, par exemple en augmentant la capacité de conservation des charges électrostatiques et en diminuant la résistance mécanique de certains matériaux, tels que le polyamide.

3.3.2.3 Autres contraintes

Beaucoup d'autres contraintes sont en mesure de détériorer l'isolation et doivent être prises en compte par les Comités d'Etudes.

Technical Committees shall consider this when specifying environmental conditions for transportation, storage, installation and use.

3.3.2.2 Long-term stresses and their effects

3.3.2.2.1 Partial discharges (PD)

In air, partial discharges (PD) can occur at peak voltages in excess of 300 V (the Paschen minimum). In practice they are unlikely to occur below 500 V. Failure is by gradual erosion or treeing leading to puncture or surface flashover.

Insulation systems have different properties: some can tolerate discharges throughout their anticipated life (e.g. ceramic insulators), while others have to be discharge-free (e.g. capacitors). Voltage, repetition rate of discharges and discharge magnitude are important parameters.

It is assumed that the PD behaviour is influenced by the frequency of the applied voltage. It is established from accelerated life tests at increased frequency that the time to failure is approximately inversely proportional to the frequency of the applied voltage. However, practical experience only covers frequencies up to 5 kHz since, at higher frequencies, other failure mechanisms may also be present, for example dielectric heating.

NOTE The influence of frequency on the PD inception voltage and PD extinction voltage is under investigation.

3.3.2.2.2 Heating

Heating causes degradation of the insulation, for example, by volatilization, oxidation or other long-term chemical changes. However, failure is often due to mechanical reasons, for example embrittlement, leading to cracking and electric breakdown. This process is continuous and cannot be simulated by short-time testing since several thousand hours testing time would be required (see IEC 60216).

3.3.2.2.3 Mechanical stresses

Mechanical stresses caused by vibration or shock during operation, storage or transportation may cause delamination, cracking or breaking-up of the insulating material.

3.3.2.2.4 Humidity

The presence of water vapour can influence the insulation resistance and the discharge extinction voltage, aggravate the effect of surface contamination, produce corrosion and dimensional changes. For some materials, high humidity will significantly reduce the electric strength. Low humidity can be unfavourable in some circumstances, for example by increasing the retention of electrostatic charge and by decreasing the mechanical strength of some materials, such as polyamide.

3.3.2.3 Other stresses

Many other stresses can damage insulation and will have to be taken into account by Technical Committees.

Parmi ces contraintes, il est possible de citer:

- les radiations ultraviolettes et ionisantes;
- le craquèlement ou la fissuration provoqués par une exposition à des solvants ou à des agents chimiques actifs;
- l'effet lié à la migration des plastifiants;
- l'effet des bactéries, des moisissures ou des champignons;
- fluage mécanique.

L'effet de ces contraintes est de moindre importance ou elles s'appliquent moins souvent mais nécessitent d'être prises en compte dans des cas particuliers.

3.3.3 Prescriptions

3.3.3.1 Généralités

L'isolant solide de l'isolation principale, de l'isolation supplémentaire et de l'isolation renforcée doit être capable de supporter durablement les contraintes électriques et mécaniques ainsi que les effets thermiques et d'environnement susceptibles de se produire pendant la durée de vie escomptée des matériels.

NOTE 1 Lors de la prise en compte des contraintes électriques de surfaces accessibles en isolation solide, de telles surfaces sont supposées être recouvertes d'une feuille métallique. De plus amples détails peuvent être spécifiés par les Comités d'Etudes.

Dans les cas où les tensions locales ne sont pas sinusoïdales et qu'elles présentent des crêtes répétitives, une attention particulière doit être prêtée à l'apparition d'éventuelles décharges partielles. De la même manière, lorsque l'existence de couches d'isolation et la présence de soufflures dans le matériau isolant moulé ne sont pas exclues, une attention particulière doit être prêtée à l'apparition d'éventuelles décharges partielles susceptibles de détériorer l'isolation solide.

3.3.3.2 Tenue aux contraintes de tension

Les Comités d'Etudes doivent spécifier quelles caractéristiques assignées de tension sont appropriées à leurs matériels.

3.3.3.2.1 Surtensions transitoires

L'isolation principale et l'isolation supplémentaire doivent avoir:

- une prescription relative à la tension de tenue aux chocs correspondant à la tension d'alimentation nominale et à la catégorie de surtension appropriée, conformément au tableau 1 (voir 2.2.2.2), ou
- une tension de tenue aux chocs, relative à un circuit interne d'un matériel, qui a été spécifiée conformément aux surtensions transitoires prévisibles dans le circuit (voir 2.2.2.3).

L'isolation renforcée doit avoir une tension de tenue aux chocs correspondant à la tension assignée de tenue aux chocs mais un cran plus haut dans la série préférentielle de valeurs en 2.1.1.2 que celle spécifiée pour l'isolation principale. Si, conformément à 2.2.2.3.2, la tension de tenue aux chocs prescrite pour l'isolation principale n'est pas une valeur de la série préférentielle, l'isolation renforcée doit être dimensionnée pour supporter 160 % de la valeur prescrite pour l'isolation principale.

Pour ce qui concerne la vérification par des essais, se reporter à 4.1.2.2.