

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**61173**

Première édition  
First edition  
1992-08

---

---

**Protection contre les surtensions  
des systèmes photovoltaïques (PV)  
de production d'énergie – Guide**

**Overvoltage protection for photovoltaic (PV)  
power generating systems – Guide**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 61173: 1992

## Numéros des publications

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

## Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

## Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI\*
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement  
(Catalogue en ligne)\*
- **Bulletin de la CEI**  
Disponible à la fois au «site web» de la CEI\* et comme périodique imprimé

## Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

\* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

## Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

## Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

## Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site\***
- **Catalogue of IEC publications**  
Published yearly with regular updates  
(On-line catalogue)\*
- **IEC Bulletin**  
Available both at the IEC web site\* and as a printed periodical

## Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

\* See web site address on title page.

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**61173**

Première édition  
First edition  
1992-08

---

---

**Protection contre les surtensions  
des systèmes photovoltaïques (PV)  
de production d'énergie – Guide**

**Overvoltage protection for photovoltaic (PV)  
power generating systems – Guide**

© IEC 1992 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland  
e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch) IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**K**

*Pour prix, voir catalogue en vigueur  
For price, see current catalogue*

## SOMMAIRE

|                                               | Pages |
|-----------------------------------------------|-------|
| AVANT-PROPOS .....                            | 4     |
| INTRODUCTION .....                            | 6     |
| Articles                                      |       |
| 1 Domaine d'application et objet .....        | 8     |
| 2 Référence normative .....                   | 8     |
| 3 Sources de surtensions .....                | 8     |
| 3.1 Surtensions d'origine externe .....       | 8     |
| 3.2 Surtensions d'origine interne .....       | 8     |
| 4 Méthodes pour réduire les surtensions ..... | 10    |
| 4.1 Méthodes équipotentielles (câblage) ..... | 10    |
| 4.2 Mise à la terre .....                     | 10    |
| 4.3 Blindage .....                            | 12    |
| 4.4 Interception des ondes de choc .....      | 12    |
| 4.5 Dispositifs de protection .....           | 14    |
| 4.6 Principe de fonctionnement .....          | 14    |
| Figures .....                                 | 16    |

## CONTENTS

|                                           | Page |
|-------------------------------------------|------|
| FOREWORD .....                            | 5    |
| INTRODUCTION .....                        | 7    |
| Clause                                    |      |
| 1 Scope and object .....                  | 9    |
| 2 Normative reference .....               | 9    |
| 3 Sources of overvoltages .....           | 9    |
| 3.1 External origin of overvoltages ..... | 9    |
| 3.2 Internal origin of overvoltages ..... | 9    |
| 4 Methods to reduce overvoltages .....    | 11   |
| 4.1 Equi-potentialization (bonding) ..... | 11   |
| 4.2 Grounding .....                       | 11   |
| 4.3 Shielding .....                       | 13   |
| 4.4 Stroke interception .....             | 13   |
| 4.5 Protective devices .....              | 15   |
| 4.6 Principle of operation .....          | 15   |
| Figures .....                             | 17   |

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) DE PRODUCTION D'ÉNERGIE – GUIDE

### AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La présente Norme internationale a été établie par le Comité d'Etudes n° 82 de la CEI: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| DIS      | Rapport de vote |
|----------|-----------------|
| 82(BC)34 | 82(BC)59        |

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

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**OVERVOLTAGE PROTECTION FOR PHOTOVOLTAIC (PV)  
POWER GENERATING SYSTEMS – GUIDE**

## FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This International Standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 82: Solar photovoltaic energy systems.

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

| DIS      | Report on Voting |
|----------|------------------|
| 82(CO)34 | 82(CO)59         |

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

## INTRODUCTION

La protection contre les conséquences de surtensions peut être nécessaire pour assurer la sécurité des personnes et des équipements.

La conception des systèmes appropriés requiert la connaissance des possibilités de manutention de tous les composants de protection.

Les surtensions infligent des contraintes à l'isolement des composants des différents systèmes comme par exemple les isolations entre phases ou entre phase et structure. En conséquence, les équipements devraient être choisis et construits pour répondre à la CEI 364.

Il convient que la conception des systèmes fournisse une protection des structures contre la foudre, lorsque cela s'applique.

Withdrawing  
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61173:1999

## INTRODUCTION

Protection against the consequences of overvoltages may be needed to assure safety for personnel and equipment.

Proper system design requires knowledge of all components overvoltage handling capabilities.

Overvoltages stress the insulation of different system components such as phase-to-phase or phase-structure insulations. Therefore, equipment should be selected and erected so as to comply with IEC 364.

The system should be designed, if applicable, to provide for protection of structures against lightning.

Withdrawing  
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61173:1999

# **PROTECTION CONTRE LES SURTENSIONS DES SYSTÈMES PHOTOVOLTAÏQUES (PV) DE PRODUCTION D'ÉNERGIE – GUIDE**

## **1 Domaine d'application et objet**

La présente Norme internationale est destinée à servir de guide pour la protection contre les surtensions des systèmes photovoltaïques de production d'énergie, aussi bien les systèmes isolés que ceux raccordés à un réseau de distribution. Elle a pour objet d'identifier les sources des surtensions (y compris la foudre), de définir les types de protection tels que mise à la terre, blindage, interception des ondes de chocs et les dispositifs de protection.

NOTE - Dans cette norme on utilise l'abréviation PVPGS pour désigner les systèmes photovoltaïques de production d'énergie.

## **2 Référence normative**

Le document normatif suivant contient des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente du document normatif indiqué ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 364: *Installations électriques des bâtiments.*

## **3 Sources de surtensions**

Les tensions plus élevées que la tension maximale admissible sont considérées comme des risques majeurs pour les PVPGS. De telles surtensions peuvent être induites par des événements d'origine externe ou produites par des dysfonctionnements internes.

### **3.1 Surtensions d'origine externe**

Aussi bien pour les systèmes raccordés au réseau que pour les systèmes isolés, les décharges atmosphériques dues à la foudre sont les principales causes des surtensions d'origine externe.

Dans les systèmes raccordés au réseau, les fluctuations de tension (transitoires) dans les lignes du réseau auxquelles les PVPGS sont connectés peuvent produire des surtensions à l'intérieur des PVPGS.

Dans les systèmes isolés, les fluctuations de tension dans la charge peuvent aussi produire des surtensions à l'intérieur des PVPGS.

### **3.2 Surtensions d'origine interne**

Aussi bien dans les systèmes raccordés au réseau que dans les systèmes isolés, les défauts des composants, les erreurs de fonctionnement et les transitoires de commutation peuvent entraîner des surtensions à l'intérieur des PVPGS.

## OVERVOLTAGE PROTECTION FOR PHOTOVOLTAIC (PV) POWER GENERATING SYSTEMS – GUIDE

### 1 Scope and object

This International Standard gives guidance on the protection of overvoltage issues for both stand-alone and grid-connected photovoltaic power generating systems. It is intended to identify sources of overvoltage hazards (including lightning) to define the types of protection such as grounding, shielding, stroke interception and protective devices.

NOTE - The abbreviation PVPGS is used throughout this standard for photovoltaic power generating system(s).

### 2 Normative reference

The following normative document contains provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the edition indicated was valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the normative document indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 364: *Electrical installations of buildings.*

### 3 Sources of overvoltages

Voltages greater than the maximum design voltage are considered the major hazards for PVPGS. Such overvoltages can be induced by events of external origin or caused by internal malfunctions.

#### 3.1 External origin of overvoltages

In both grid-connected and stand-alone systems, the main causes of external induced overvoltages are atmospheric lightning discharges.

In grid-connected systems, voltage fluctuations (transients) in the utility line to which the PVPGS is connected can produce overvoltages within the PVPGS.

In stand-alone systems, voltage fluctuations in the load can also produce overvoltages within the PVPGS.

#### 3.2 Internal origin of overvoltages

In both grid-connected and stand-alone systems, component failure, operational errors and switching transients may generate overvoltages within the PVPGS.

## 4 Méthodes pour réduire les surtensions

Les méthodes pour aboutir à une réduction effective des surtensions dépendent de l'origine de ces surtensions.

### 4.1 Méthodes équipotentielles (câblage)

Le câblage est utilisé pour réduire les surtensions à l'intérieur des PVPGS par interconnexion avec une liaison basse impédance. Si une prise de terre existe, elle devrait être connectée à la prise de terre de référence.

### 4.2 Mise à la terre

Les paragraphes suivants décrivent les méthodes de mise à la terre des systèmes PV et les options de conception disponibles pour assurer une sécurité maximale des systèmes en regard de la protection des personnes et des biens. La figure 1 illustre la mise à la terre de PVPGS.

La figure 2 illustre trois méthodes classiques utilisées pour la mise à la terre des PVPGS.

La figure 3 illustre un PVPGS n'ayant pas de mise à la terre.

#### 4.2.1 Mise à la terre des équipements

La mise à la terre des équipements consiste en des enceintes métalliques, des boîtes, des supports et des enveloppes d'équipement qui sont connectés à un point de terre de référence de sorte que le courant s'écoule à la terre si l'enceinte est mise sous tension (vient en contact avec un circuit électrique).

#### 4.2.2 Mise à la terre du système

Un PVPGS est un système mis à la terre si un conducteur électrique sous tension est connecté à la terre de l'équipement.

La mise à la terre du système peut être importante puisqu'elle peut servir à stabiliser la tension du système par rapport à la terre pendant l'utilisation normale du système. Elle peut aussi améliorer le fonctionnement des dispositifs de surintensité en cas de défaut.

Dans la mesure où ces objectifs peuvent être obtenus par d'autres méthodes, les systèmes de mise à la terre peuvent ne pas être utilisés.

Quand un système de mise à la terre est utilisé, l'un des conducteurs d'une paire de conducteurs ou le neutre d'un système triphasé devrait être lié à la terre de façon rigide, en accord avec ce qui suit:

- a) La connexion du circuit continu de terre peut être faite en un point unique quelconque du circuit du champ PV. Cependant, un point de connexion à la terre aussi proche que possible des modules PV placé avant tout autre élément, tels qu'interrupteurs, fusibles et diodes de protection protégera mieux le système contre les chocs de tension induits par la foudre.
- b) La terre des systèmes ou des équipements ne devrait pas être coupée lors du remplacement d'un module du champ.

## 4 Methods to reduce overvoltages

The methods used for providing an effective reduction of overvoltages are dependent on the origin of these overvoltages.

### 4.1 *Equi-potentialisation (bonding)*

Bonding is used to reduce overvoltages within the PVPGS by interconnection with low impedance paths. If an earth electrode is present, it should be connected to the ground reference point.

### 4.2 *Grounding*

The following paragraphs describe the appropriate grounding procedures for a PV system and the design options available to ensure maximum system safety regarding the protection of personnel and property. Figure 1 illustrates the terminology of PVPGS grounding.

Figure 2 illustrates three common methods used for PVPGS grounding.

Figure 3 illustrates a PVPGS without grounding.

#### 4.2.1 *Equipment grounding*

Equipment grounding refers to metallic cabinets, boxes, supports and equipment enclosures which are connected to the ground reference point in order to shunt current flow to earth ground if the cabinet should become energized (come in contact with a live electrical circuit).

#### 4.2.2 *System grounding*

A PVPGS is system grounded if a live electrical conductor is connected to the equipment ground.

System grounding may be important since it can serve to stabilize the electrical system voltage with respect to earth ground during normal system operation. It may also facilitate the operation of over-current devices in the event of a fault.

Since these objectives can be obtained by other methods, system grounding may or may not be applied.

When system grounding is applied, one conductor of a two-wire system, or the neutral wire (center tap) of a three-wire system, should be solidly grounded in accordance with the following:

- a) The d.c. circuit ground connection may be made at any single point of the PV array output circuit. However, a grounding connection point placed as close to the PV modules as possible and before any other elements such as switches, fuses and protective diodes, will better protect the system from lightning-induced voltage surges.
- b) System and/or equipment grounding should not be interrupted when removing any module from the array.

c) Il convient d'utiliser la même électrode de terre pour l'établissement de la terre du circuit c.c. et de la terre de l'équipement. Ainsi, deux ou plusieurs électrodes connectées ensemble sont considérées comme une même électrode. De plus, il convient que cette terre soit connectée au neutre du réseau principal s'il existe. Il convient que toutes les terres des systèmes c.c. et c.a. soient communes.

#### 4.3 Blindage

Les blindages protègent la terre contre la foudre dans le voisinage des systèmes en réduisant les champs électromagnétiques réagissant avec les conducteurs du système.

Les blindages peuvent être sous forme d'enveloppe conductrice délimitant un volume, de gaine ou de conduit coaxial dans lesquels les câbles sont insérés, ou des fils de gardes enterrés au-dessus des câbles dans une tranchée. Les dispositifs de blindage doivent être connectés à la terre de l'équipement.

Les volumes blindés peuvent être utilisés dans les systèmes photovoltaïques de puissance lorsque le coût d'une telle protection est faible, par exemple un caisson métallique mis à la terre contenant des batteries de stockage ou un équipement sensible.

Les câbles blindés peuvent aussi avoir des applications dans les systèmes photovoltaïques pour les longues galeries de câbles de contrôle et d'instrumentation.

Sans précautions particulières, les blindages de câbles peuvent perdre leur efficacité par des craquelures ou des cassures du blindage ou des défauts dans le blindage aux extrémités du câble là où ils sont connectés au système de terre. Ces connexions à la terre sont particulièrement sujettes à la corrosion et aux effets résultant des déplacements et des contraintes mécaniques.

Une variante pour blinder les câbles c.c. de puissance qui ne sont pas insérés dans des conduits métalliques consiste à utiliser les fils de protection ou d'écran au-dessus des tranchées de câbles.

#### 4.4 Interception des ondes de choc

Les interceptions se font à travers l'utilisation de mâts verticaux de terre (parafoudre ou mât) et/ou des fils de masse en hauteur. Il y a lieu de prendre en considération les points suivants pour déterminer le besoin en matériel d'interception:

- sécurité des personnes (site occupé ou sans surveillance);
- les effets sur le fonctionnement des chocs directs sur le système (comme par exemple la probabilité d'une décharge complète de la batterie de stockage);
- le coût du matériel d'interception en regard de la probabilité d'un choc direct et le coût du remplacement des éléments endommagés;
- la perte de performance du système due au masquage.

c) The same grounding electrode should be used for establishing the d.c. circuit ground and the equipment ground. Two or more electrodes that are bonded together are considered to be one electrode for this purpose. Further, this ground should be bonded to the main utility service neutral ground if present. All grounds, d.c. system and a.c. system, should be common.

#### 4.3 *Shielding*

Shielding provides protection from lightning striking the earth in the vicinity of the system by reducing the electromagnetic fields which interact with the system conductors.

Shielding may be in the form of a conducting shell enclosing a volume, coaxial jackets or conduits through which cables are routed, or buried bare guard wires above cables in a trench. Shielding devices shall be connected to equipment ground.

Shielded volumes may be used in photovoltaic power systems when the cost of such protection is small, e.g. a grounded metal enclosure containing storage batteries or sensitive equipment.

Cable shields may also be used in photovoltaic systems for long runs of control and instrumentation cables.

Without proper attention, cable shields can lose their effectiveness through cracks or breaks in the shield or by failures of the shield at the cable ends where they are connected to the ground system. These shield-to-ground connections are especially susceptible to corrosion and the effects of mechanical motion and stress.

An alternative method for shielding d.c. power cables which are not contained in metal conduits is the use of guard or screen wires above the cable trenches.

#### 4.4 *Stroke interception*

Interception can be achieved through the use of grounded vertical masts (lightning rods or air terminals) and/or elevated ground wires. The following topics should be addressed in determining the necessity of stroke interception hardware:

- personnel safety (manned or unattended site);
- the operational effects of a direct hit on the system (e.g. probability of complete loss of battery storage);
- the cost of the interception hardware versus the probability of a direct hit and the replacement cost of damaged elements;
- loss of system performance due to shadowing.

#### 4.5 Dispositifs de protection

Il convient d'utiliser les dispositifs de protection pour servir de protection aux équipements sensibles aux surtensions, équipements tels que convertisseurs et autres composants. Pour la protection effective des systèmes, ces dispositifs devraient satisfaire aux critères suivants:

- ne doivent pas être dégradés au-delà de leurs caractéristiques minimales au cours de leur durée de vie et cela même dans des conditions extrêmes d'utilisation;
- doivent limiter la tension aux extrémités protégées à un niveau sûr;
- ne devraient pas tomber en panne sous des transitoires prévus; dans certains cas, ils devraient conduire les surintensités de manière sûre jusqu'à ce que les protections amont (par exemple contacteurs ou fusibles) deviennent effectives;
- ne devraient pas se dégrader au-delà de leur durée de vie prévue même sous des conditions extrêmes de fonctionnement du système;
- ne devraient pas dégrader les performances normales du système sur toute la durée de vie prévue du système;
- devraient avoir un effet minimal sur l'efficacité du système.

Les principaux types de dispositifs de protection utilisés pour la protection des équipements électroniques sont:

- diodes;
- varistances;
- dispositifs à décharges et fusibles à décharges;
- transformateurs d'isolement;
- filtres;
- optocoupleurs.

#### 4.6 Principe de fonctionnement

Les concepts fondamentaux de réduction des surtensions au moyen de dispositifs de protection consistent à court-circuiter les bornes devant être protégées par un élément non linéaire qui passe à un état faiblement résistif si les limites de sécurité de la tension sont dépassées. La surtension résiduelle présente sur la partie protégée est dans ces conditions seulement une petite fraction de la surtension d'origine: la valeur de cette fraction est obtenue par le rapport de la résistance résiduelle du dispositif de protection à l'impédance caractéristique de la ligne aux fréquences formant le transitoire.

#### 4.5 *Protective devices*

Protective devices PDS should be used to provide overvoltage protection for sensitive equipment such as power conditioners or other components. For effective system protection, these devices should satisfy the following criteria:

- PDs shall not degrade beyond their minimal characteristics over their design life, even under extreme operating conditions;
- they shall limit the voltage at the protected terminals to a safe level;
- they should not fail under the expected transients; in some cases, they should safely conduct overcurrents until upline protection (e.g. contactors or fuses) becomes effective;
- they should not degrade beyond their design life even under extreme operating conditions of the system;
- they should not degrade normal system performance over the system design life;
- they should have minimal impact on system efficiency.

The main types of protective devices used for protection of electronic equipment are:

- diodes;
- varistors;
- spark gap devices and gas discharge fuses;
- isolation transformers;
- filters;
- optocouplers.

#### 4.6 *Principle of operation*

The basic concept of overvoltage reduction by means of a protective device consists of shunting the terminals to be protected by a nonlinear circuit element which changes to a low resistance state if the safety limits of the voltage are exceeded. As a result, the residual overvoltage present on the protected part is a small fraction of the original overvoltage. The value of this fraction is given by the ratio of the residual resistance of the protective device to the characteristic impedance of the line at the frequencies which form the transient.