

**Rotating electrical machines -
Part 27: Off-line partial discharge measurements on the stator winding
insulation of rotating electrical machines
(IEC/TS 60034-27:2006)**

Machines électriques tournantes -
Partie 27: Mesures à l'arrêt des décharges
partielles effectuées sur le système
d'isolation des enroulements statoriques
des machines électriques tournantes
(CEI/TS 60034-27:2006)

Drehende elektrische Maschinen -
Teil 27: Off-line-Teilentladungsmessungen
an der Statorwicklungsisololation drehender
Maschinen
(IEC/TS 60034-27:2006)

This Technical Specification was approved by CENELEC on 2011-01-25.

CENELEC members are required to announce the existence of this TS in the same way as for an EN and to make the TS available promptly at national level in an appropriate form. It is permissible to keep conflicting national standards in force.

CENELEC members are the national electrotechnical committees of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, the Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, the Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.

CENELEC

European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung

Management Centre: Avenue Marnix 17, B - 1000 Brussels

Foreword

The text of the Technical Specification IEC/TS 60034-27:2007, prepared by IEC TC 2, Rotating machinery, was submitted to the formal vote and was approved by CENELEC as CLC/TS 60034-27 on 2011-01-25.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. CEN and CENELEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The following date was fixed:

- latest date by which the existence of the CLC/TS
has to be announced at national level (doa) 2011-07-25

Annex ZA has been added by CENELEC.

Endorsement notice

The text of the Technical Specification IEC/TS 60034-27:2006 was approved by CENELEC as a Technical Specification without any modification.

Annex ZA
(normative)

**Normative references to international publications
with their corresponding European publications**

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

NOTE When an international publication has been modified by common modifications, indicated by (mod), the relevant EN/HD applies.

<u>Publication</u>	<u>Year</u>	<u>Title</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Year</u>
IEC 60060-1	-	High-voltage test techniques - Part 1: General definitions and test requirements	EN 60060-1	-
IEC 60060-2	-	High-voltage test techniques - Part 2: Measuring systems	EN 60060-2	-
IEC 60270	2000	High-voltage test techniques - Partial discharge measurements	EN 60270	2001

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	6
INTRODUCTION.....	10
1 Domaine d'application	14
2 Références normatives.....	14
3 Termes et définitions	14
4 Nature des DP dans les machines tournantes.....	18
4.1 Notions élémentaires sur les DP.....	18
4.2 Types de DP dans les machines tournantes	20
4.3 Propagation des impulsions dans les enroulements.....	22
5 Techniques et appareils de mesure	24
5.1 Généralités.....	24
5.2 Influence de la réponse en fréquence du système de mesure.....	24
5.3 Effets des ensembles de couplage des DP	26
5.4 Systèmes de mesure à large bande et à bande étroite	28
6 Visualisation des mesures	32
6.1 Généralités.....	32
6.2 Etendue minimale de la présentation des données relatives aux DP.....	32
6.3 Moyens supplémentaires de représentation des données relatives aux DP.....	34
7 Circuits d'essai	38
7.1 Généralités.....	38
7.2 Composants individuels d'enroulement.....	38
7.3 Enroulement complet.....	42
8 Normalisation des mesures	46
8.1 Généralités.....	46
8.2 Composants individuels d'enroulement.....	48
8.3 Enroulements complets	48
9 Modes opératoires d'essai.....	52
9.1 Réalisation de mesures de DP au niveau des enroulements et des composants d'enroulements	52
9.2 Identification et localisation de la source de décharges partielles	60
10 Interprétation des résultats d'essai	62
10.1 Généralités.....	62
10.2 Interprétation relative à la TADP, à la TEDP et à Q_m	64
10.3 Identification des patrons de DP.....	68
11 Rapport d'essai	72
Annexe A (informative) Mesures en fonctionnement des décharges partielles.....	78
Annexe B (informative) Méthodes non électriques de détection des DP et méthodes de localisation de celles-ci	82
Annexe C (informative) Bruit d'origine externe, perturbations et sensibilité	84
Annexe D (informative) Méthodes de suppression des perturbations.....	90
Annexe E (informative) Interprétation des données d'amplitude des DP et des patrons de DP résolus en phase.....	102

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
1 Scope.....	15
2 Normative references	15
3 Terms and definitions	15
4 Nature of PD in rotating machines	19
4.1 Basics of PD	19
4.2 Types of PD in rotating machines	21
4.3 Pulse propagation in windings	23
5 Measuring techniques and instruments.....	25
5.1 General.....	25
5.2 Influence of frequency response of measurement system	25
5.3 Effects of PD coupling units.....	27
5.4 Wide-band and narrow band measuring systems	29
6 Visualization of measurements	33
6.1 General.....	33
6.2 Minimum scope of PD data presentation.....	33
6.3 Additional means of PD data representation	35
7 Test circuits.....	39
7.1 General.....	39
7.2 Individual winding components	39
7.3 Complete winding.....	43
8 Normalization of measurements	47
8.1 General.....	47
8.2 Individual winding components	49
8.3 Complete windings	49
9 Test procedures	53
9.1 Acquiring PD measurements on windings and winding components.....	53
9.2 Identifying and locating the source of partial discharges.....	61
10 Interpretation of test results.....	63
10.1 General.....	63
10.2 Interpretation of PDIV, PDEV and Q_m	65
10.3 PD pattern recognition.....	69
11 Test report.....	73
Annex A (informative) On-line partial discharge measurements.....	79
Annex B (informative) Non-electrical methods of PD detection and methods for localization	83
Annex C (informative) External noise, disturbance and sensitivity.....	85
Annex D (informative) Methods of disturbance suppression	91
Annex E (informative) Interpretation of PD magnitude data and phase resolved PD patterns	103

Bibliographie.....	110
Figure 1 – Réponse en fréquence d'une impulsion de DP et dispositifs de couplage de différentes constantes de temps	26
Figure 2 – Réponses impulsionnelles types de systèmes de mesure de DP à large bande et à bande étroite	30
Figure 3 – Amplitude des DP en fonction de la tension d'essai normalisée $Q_m = f(U/U_{\max})$	34
Figure 4 – Exemple d'un patron $\phi-q-n$ de décharges partielles où les DP ont été mesurées à l'aide d'un dispositif de couplage monté en série et relié à l'objet soumis à essai, conformément à la Figure 5b, en adoptant un code de couleurs pour le nombre d'impulsions $H(n)$	36
Figure 5 – Circuits d'essai conformes à la CEI 60270	40
Figure 6 – Circuit d'essai destiné à la mesure des DP (S1.1) au niveau d'un enroulement complet	42
Figure 7 – Normalisation du circuit d'essai pour la mesure S1.1	50
Figure 8 – Tension appliquée à l'objet d'essai durant la mesure des DP	56
Figure 9 – Exemple pour l'identification et la localisation de sources de DP	70
Figure C.1 – Mise en charge de l'objet soumis à essai par diverses composantes de courant	86
Figure D.1 – Sans masquage des fenêtres	90
Figure D.2 – Avec masquage des fenêtres	90
Figure D.3 – Courants d'impulsion à travers le circuit de mesure	92
Figure D.4 – Exemple d'élimination de bruit	98
Figure D.5 – Exemple d'élimination de la diaphonie	100
Figure E.1 – Exemple de patrons de DP	104
Tableau 1 – Schéma de connexion S1 pour montage en étoile ouvert.....	44
Tableau 2 – Schéma de connexion S2 pour montage en étoile fermé.....	44
Tableau 3 – Schéma de connexion E1 pour montage en étoile ouvert.....	46
Tableau 4 – Schéma de connexion E2 pour montage en étoile fermé.....	46
Tableau E.1 – Risques associés aux sources principales de DP dans les machines tournantes	106

Bibliography.....	111
Figure 1 – Frequency response of a PD pulse and coupling units of various time constants	27
Figure 2 – Typical pulse responses of wide band and narrow band PD systems.....	31
Figure 3 – PD magnitude as a function of the normalized test voltage $Q_m=f(U/U_{max})$	35
Figure 4 – Example of a ϕ - q - n partial discharge pattern where the PD was measured in series with the test object in accordance with Figure 5b, with colour code for the pulse number $H(n)$	37
Figure 5 – Basic test circuits in accordance with IEC 60270.....	41
Figure 6 – Test circuit for PD measurement (S1.1) on complete winding	43
Figure 7 – Normalization of the test circuit for measurement S1.1	51
Figure 8 – Test voltage applied to the test object during PD measurement	57
Figure 9 – Example for identification and localization of PD sources	71
Figure C.1 – Recharging of the test object by various current components.....	87
Figure D.1 – Without window masking.....	91
Figure D.2 – With window masking	91
Figure D.3 – Pulse currents through the measuring circuit	93
Figure D.4 – Example of noise rejection.....	99
Figure D.5 – Example of cross-talk rejection.....	101
Figure E.1 – Example PD patterns	105
Table 1 – Connection diagram S1 for open star point.....	45
Table 2 – Connection diagram S2 for closed star point	45
Table 3 – Connection diagram E1 for open star point.....	47
Table 4 – Connection diagram E2 for closed star point	47
Table E.1 – Risks associated with the main PD sources in rotating machines	107

INTRODUCTION

Depuis bien des années, la mesure des décharges partielles (DP) a servi comme un moyen précis permettant l'évaluation de la qualité d'un nouveau système d'isolation et comme moyen de détection de sources localisées de DP dans les anciens systèmes d'isolation électrique des enroulements dues aux contraintes opérationnelles en cours de fonctionnement. Comparées à d'autres essais diélectriques (c'est-à-dire la mesure de la tangente de l'angle de pertes ou de la résistance d'isolement), les mesures des décharges partielles offrent une caractéristique distinctive dans la mesure où elles permettent d'identifier les insuffisances localisées du système d'isolation.

Les essais de DP réalisés dans les machines tournantes servent également au contrôle de la qualité de l'assemblage et de la finition de nouveaux enroulements statoriques, de nouveaux composants d'enroulements (par exemple bobines et barres préformées, traversées H.T., etc.) et de stators à imprégnation globale.

En matière d'entretien courant, de dépannage et de révision des machines tournantes, la mesure des décharges partielles peut fournir également des informations sur:

- les faiblesses et insuffisances du système d'isolation;
- les processus de vieillissement;
- les mesures supplémentaires à prendre et les intervalles entre les opérations de révision périodiques.

Bien que les essais réalisés sur les DP dans les machines tournantes soient largement admis et acceptés, plusieurs études ont montré que non seulement il existe de multiples et diverses méthodes de mesure, mais également que les critères et méthodes d'analyse et d'évaluation finale des données mesurées sont souvent très différents et qu'ils ne sont pas réellement comparables. Par conséquent, il existe une nécessité impérieuse qui requiert la mise à disposition de certaines recommandations à l'attention des utilisateurs qui envisagent le recours aux mesures des DP pour les besoins d'évaluation de l'état de leurs systèmes d'isolation.

Les essais relatifs aux décharges partielles dans les enroulements statoriques peuvent être divisés en deux grands groupes:

- a) les mesures à l'arrêt effectuées avec l'enroulement statorique désaccouplé du réseau, une source d'alimentation séparée étant alors utilisée pour la mise sous tension de l'enroulement;
- b) les mesures en fonctionnement effectuées sur le système au cours desquelles la machine tournante est en condition normale de fonctionnement et reliée au réseau.

Ces deux méthodes présentent des avantages et des inconvénients lorsqu'elles sont comparées à une autre. A cet effet, l'Annexe A traite brièvement des mérites des essais en fonctionnement réalisés sur le système ainsi que de leurs inconvénients. Cependant, dans la mesure où l'utilisation des méthodes de mesure en fonctionnement est largement répandue à travers le monde et considérant leur utilité éprouvée pour l'industrie, la présente spécification technique traite exclusivement des techniques de mesure à l'arrêt. Cette approche est jugée nécessaire et elle vise à faire de la présente étude un document condensé et concis qui s'adresse aux non-spécialistes dans le domaine des essais portant sur les DP.

INTRODUCTION

For many years, the measurement of partial discharges (PD) has been employed as a sensitive means of assessing the quality of new insulation as well as a means of detecting localized sources of PD in used electrical winding insulation arising from operational stresses in service. Compared with other dielectric tests (i.e. the measurement of dissipation factor or insulation resistance) the differentiating character of partial discharge measurements allows localized weak points of the insulation system to be identified.

The PD testing of rotating machines is also used when inspecting the quality of new assembled and finished stator windings, new winding components (e.g. form-wound coils and bars, HV bushings, etc.) and fully impregnated stators.

In connection with the servicing and overhaul of rotating machines, the measurement of partial discharges can also provide information on:

- points of weakness in the insulation system;
- ageing processes;
- further measures and intervals between overhauls.

Although the PD testing of rotating machines has gained widespread acceptance, it has emerged from several studies that not only are there many different methods of measurement in existence but also the criteria and methods of analysing and finally assessing the measured data are often very different and not really comparable. Consequently, there is an urgent need to give some guidance to those users who are considering the use of PD measurements to assess the condition of their insulation systems.

Partial discharge testing of stator windings can be divided into two broad groups:

- a) off-line measurements, in which the stator winding is isolated from the power system and a separate power supply is employed to energize the winding;
- b) on-line measurements, in which the rotating machine is operating normally and connected to the power system.

Both of these approaches have advantages and disadvantages with respect to one another. A brief discussion of the merits of on-line testing, as well as the drawbacks, is provided in Annex A. However, while acknowledging the extensive world-wide use of on-line methods and their proven value to industry, this technical specification is confined to off-line techniques. This approach is considered necessary to render this specification sufficiently concise to be of use by non-specialists in the field of PD testing.

Réserves:

Lors des essais réalisés sur les enroulements statoriques, divers types d'appareils de mesure des DP donneront inévitablement des résultats différents; par conséquent, les mesures des DP ne seront alors comparables que dans certaines conditions. De ce fait, les limites absolues en matière d'enroulements de machines tournantes, telles que par exemple les critères d'acceptation de la production ou d'exploitation, sont difficiles à déterminer. Cela s'explique essentiellement par le phénomène de propagation impulsionnelle, par les difficultés d'étalonnage, par les caractéristiques spécifiques de réponse en fréquence des enroulements statoriques et par les systèmes de mesure des DP.

En outre, la gravité des détériorations, et par conséquent le risque de défaillance du système d'isolation dépendent du type spécifique de source de DP et de son emplacement à l'intérieur du système d'isolation des enroulements statoriques qui peuvent influencer dans une large mesure les résultats des essais.

Les limites empiriques vérifiées dans la pratique peuvent être utilisées comme base d'évaluation des résultats des essais. De plus, il est recommandé de procéder à l'évaluation de l'évolution des DP et à des comparaisons avec d'autres machines de conception similaire et disposant d'un système d'isolation semblable ayant fait l'objet de mesures effectuées dans des conditions similaires en mettant en œuvre les mêmes appareils de mesure, et ce afin d'apprécier de manière fiable l'état du système d'isolation des enroulements statoriques.

Il convient que les utilisateurs des données de mesure des DP soient conscients du fait que compte tenu des principes méthodologiques, la mesure des décharges partielles ne permet pas d'identifier tous les problèmes liés au système d'isolation des enroulements statoriques (par exemple défauts d'isolation impliquant des courants de fuite permanents dus aux interconnexions entre différents éléments du système d'isolation ou à des phénomènes de décharges non impulsionnelles).

Pour les essais portant sur les composants individuels des enroulements, les réserves formulées concernant les phénomènes de propagation des impulsions ne sont pas à prendre en considération lors de l'interprétation des résultats de mesure.

Limitations:

When stator windings are being tested different types of PD measuring instruments will inevitably produce different results and consequently PD measurements will only be comparable under certain conditions. Therefore, absolute limits for the windings of rotating machines, for example as acceptance criteria for production or operation, are difficult to define. This is mainly due to pulse propagation phenomena, specific difficulties with calibration and the individual frequency response characteristics of stator windings and PD measuring systems.

In addition, the degree of deterioration, and hence the risk of insulation system failure, depends on the specific type of PD source and its location within the stator winding insulation, both of which can influence the test results very significantly.

Empirical limits verified in practice can be used as a basis for evaluating test results. Furthermore, PD trend evaluation and comparisons with machines of similar design and similar insulation system measured under similar conditions, using the same measurement equipment, are recommended to ensure reliable assessment of the condition of the stator winding insulation.

Users of PD measurement should be aware that, due to the principles of the method, not all insulation-related problems in stator windings can be detected by measuring partial discharges (e.g. insulation failures involving continuous leakage currents due to conductive paths between different elements of the insulation or pulseless discharge phenomena).

For testing individual winding components, the limitations due to pulse propagation phenomena need not be considered when interpreting the results of measurements.

MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES –

Partie 27: Mesures à l'arrêt des décharges partielles effectuées sur le système d'isolation des enroulements statoriques des machines électriques tournantes

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60034 présente des modalités communes concernant

- les techniques de mesure et les appareils de mesure,
- la mise en place des circuits d'essai,
- les procédures de normalisation et les modes opératoires d'essai,
- la réduction du bruit,
- la documentation des résultats des essais,
- l'interprétation des résultats des essais

pour les besoins des mesures à l'arrêt des décharges partielles dans les systèmes d'isolation des enroulements statoriques des machines électriques tournantes soumises à l'essai pour des tensions alternatives à fréquence inférieure ou égale à 400 Hz. Cette spécification technique s'applique aux machines tournantes disposant de barres ou de bobines préformées avec à revêtement conducteur en encoche. Cela est généralement valable pour les machines dont la tension assignée est supérieure ou égale à 6 kV. Les méthodes de mesure décrites dans cette spécification peuvent s'appliquer également aux machines sans revêtement conducteur appliqué aux encoches. Toutefois, les résultats peuvent être différents et ce cas n'est pas traité dans cette spécification.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60060-1, *Techniques des essais à haute tension – Première partie: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

CEI 60060-2, *Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure*

CEI 60270:2000, *Techniques des essais à haute tension – Mesures des décharges partielles*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions d'ordre général et relatifs aux mesures des décharges partielles donnés dans la CEI 60270 s'appliquent ainsi que les suivants.

3.1

mesure à l'arrêt

mesure effectuée alors que la machine tournante est à l'arrêt, la machine étant alors hors circuit et non reliée au réseau

NOTE La tension d'essai nécessaire est appliquée à l'enroulement à partir d'une source de tension distincte.

ROTATING ELECTRICAL MACHINES –

Part 27: Off-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines

1 Scope

This part of IEC 60034 which is a technical specification provides a common basis for

- measuring techniques and instruments,
- the arrangement of test circuits,
- normalization and testing procedures,
- noise reduction,
- the documentation of test results,
- the interpretation of test results

with respect to partial discharge off-line measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines when tested with alternating voltages up to 400 Hz. This technical specification applies to rotating machines having bars or form wound coils with conductive slot coating. This is usually valid for machines with voltage rating of 6 kV and higher. The measurement methods described in this specification may also be applied to machines without conductive slot coating. However, results may be different and are not covered by this specification.

2 Normative references

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

IEC 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60060-2, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*

IEC 60270:2000, *High-voltage test techniques – Partial discharge measurements*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the general terms and definitions for partial discharge measurements given in IEC 60270 apply, together with the following.

3.1

off-line measurement

measurement taken with the rotating machine at standstill, the machine being disconnected from the power system

NOTE The necessary test voltage is applied to the winding from a separate voltage source.