



IEC 60143-4

Edition 1.0 2010-11

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Series capacitors for power systems –
Part 4: Thyristor controlled series capacitors**

**Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux –
Partie 4: Condensateurs série commandés par thyristors**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE **XA**
CODE PRIX

ICS 29.240.99; 31.060.70

ISBN 978-2-88912-242-4

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references.....	6
3 Terms, definitions and abbreviations.....	7
3.1 Abbreviations.....	7
3.2 Definitions.....	7
4 Operating and rating considerations.....	11
4.1 General.....	11
4.2 TCSC characteristics.....	14
4.3 Operating range.....	15
4.4 Reactive power rating.....	16
4.5 Power oscillation damping (POD).....	16
4.6 SSR mitigation.....	16
4.7 Harmonics.....	17
4.8 Control interactions between TCSCs in parallel lines.....	17
4.9 Operating range, overvoltages and duty cycles.....	17
4.9.1 Operating range.....	17
4.9.2 Transient overvoltages.....	17
4.9.3 Duty cycles.....	17
5 Valve control.....	18
5.1 Triggering system.....	18
5.2 System aspects.....	19
5.3 Normal operating conditions.....	19
5.4 Valve firing during system faults.....	20
5.5 Actions at low line current.....	20
5.6 Monitoring.....	20
6 Ratings.....	20
6.1 Capacitor rating.....	20
6.2 Reactor rating.....	21
6.3 Thyristor valve rating.....	21
6.3.1 Current capability.....	21
6.3.2 Voltage capability.....	22
6.4 Varistor rating.....	24
6.5 Insulation level and creepage distance.....	24
7 Tests.....	24
7.1 Test of the capacitor.....	25
7.1.1 Routine tests.....	25
7.1.2 Type tests.....	25
7.1.3 Special test (endurance test).....	26
7.2 Tests of the TCSC reactor.....	26
7.2.1 Routine tests.....	26
7.2.2 Type tests.....	26
7.2.3 Special tests.....	26
7.3 Tests of thyristor valves.....	27
7.3.1 Guidelines for the performance of type tests.....	27
7.3.2 Routine tests.....	29

7.3.3	Type tests	29
7.4	Tests of protection and control system	38
7.4.1	Routine tests	38
7.4.2	Type tests	39
7.4.3	Special tests.....	39
8	Guide for selection of rating and operation	40
8.1	General.....	40
8.2	Thyristor controlled series capacitor.....	41
8.2.1	AC transmission system.....	41
8.2.2	TCSC Operational objectives.....	42
8.2.3	TCSC ratings.....	42
8.3	Thyristor valves	44
8.4	Capacitors and reactors.....	44
8.4.1	Capacitor considerations.....	44
8.4.2	Reactor considerations	45
8.5	Fault duty cycles for varistor rating	45
8.6	Valve cooling system.....	46
8.7	TCSC control and protection	46
8.7.1	Control.....	47
8.7.2	Protection.....	49
8.7.3	Monitoring and recording	50
8.8	Precommissioning and Commissioning Tests	50
8.8.1	Introduction	50
8.8.2	Precommissioning Tests	51
8.8.3	Station tests	51
8.8.4	Commissioning (field) tests	51
	Bibliography.....	53
	Figure 1 – Typical nomenclature of a TCSC installation.....	12
	Figure 2 – TCSC subsegment.....	13
	Figure 3 – TCSC steady state waveforms for control angle α and conduction interval σ	14
	Figure 4 – TCSC power frequency steady state reactance characteristics according to Equation (1) with $\lambda = 2,5$	15
	Figure 5 – Example of TCSC operating range for POD (left) and SSR mitigation (right).....	15
	Figure 6 – Valve base electronics (VBE).....	18
	Figure 7 – Valve electronics (VE).....	19
	Figure 8 – Thyristor valve voltage in a TCSC.....	23
	Figure 9 – Typical block diagram of a real time TCSC protection- and control system simulation environment	40
	Figure 10 – Example of operating range diagram for TCSC.....	43
	Table 1 – Peak and RMS voltage relationships	13
	Table 2 – Typical external fault duty cycle with unsuccessful high speed auto-reclosing	45
	Table 3 – Typical duty cycle for internal fault with successful high speed auto-reclosing	45
	Table 4 – Typical duty cycle for internal fault with unsuccessful high speed auto-reclosing	46

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SERIES CAPACITORS FOR POWER SYSTEMS –**Part 4: Thyristor controlled series capacitors**

FOREWORD

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

International Standard IEC 60143-4 has been prepared by IEC technical committee 33: Power capacitors and their applications.

This part of IEC 60143 is to be used in conjunction with the following standards:

- IEC 60143-1:2004, *Series capacitors for power systems – Part 1: General*
- IEC 60143-2:1994, *Series capacitors for power systems – Part 2: Protective equipment for series capacitor banks*
- IEC 60143-3:1998, *Series capacitors for power systems – Part 3: Internal fuses*

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

FDIS	Report on voting
33/472/FDIS	33/478/RVD

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

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

A list of all parts of IEC 60143 series, under the general title *Series capacitors for power systems* can be found on the iec website.

NOTE This standard contains excerpts reproduced from IEEE Std 1534-2002. IEEE Std 1534-2002 IEEE Recommended Practice for Specifying Thyristor-Controlled Series Capacitors. Reprinted with permission from IEEE, 3 Park Avenue, New York, NY 10016-5997 USA, Copyright 2002 IEEE.

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

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

SERIES CAPACITORS FOR POWER SYSTEMS –

Part 4: Thyristor controlled series capacitors

1 Scope

This part of IEC 60143 specifies testing of thyristor controlled series capacitor (TCSC) installations used in series with transmission lines. This standard also addresses issues that consider ratings for TCSC thyristor valve assemblies, capacitors, and reactors as well as TCSC control characteristics, protective features, cooling system and system operation.

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.

NOTE If there is a conflict between this part of IEC 60143 and a standard listed below in Clause 2, this standard prevails.

IEC 60050-436, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 436: Power capacitors*

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

IEC 60068-1, *Environmental Testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2-2, *Basic environmental testing procedures – Part 2-2: Tests – Tests B: Dry heat*

IEC 60068-2-78, *Basic environmental testing procedures – Part 2-78: Tests – Tests C: Damp heat, steady state*

IEC 60071-1, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*

IEC 60071-2, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide*

IEC 60076-1:1993, *Power transformers – Part 1: General*

IEC 60076-6:2007, *Power transformers – Part 6: Reactors*

IEC 60143-1:2004, *Series capacitors for power systems – Part 1: General*

IEC 60143-2:1994, *Series capacitors for power systems – Part 2: Protective equipment for series capacitor banks*

IEC 60143-3:1998, *Series capacitors for power systems – Part 3: Internal fuses*

IEC 60255-5, *Electrical relays – Part 5: Insulation coordination for measuring relays and protection equipment – Requirements and tests*

IEC 60255-21 (all parts), *Electrical relays – Vibration, shock, bump and seismic tests on measuring relays and protection equipment*

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

IEC 61000-4-29, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-29: Testing and measurement techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage variations on d.c. input port immunity tests*

IEC 61954:1999, *Power electronics for electrical transmission and distribution systems – Testing of thyristor valves for static VAR compensators*

NOTE Additional useful references, not explicitly referenced in the text, are listed in the Bibliography .

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	57
1 Domaine d'application.....	59
2 Références normatives.....	59
3 Termes, définitions et abréviations	60
3.1 Abréviations	60
3.2 Définitions	61
4 Considérations relatives au fonctionnement et aux caractéristiques assignées.....	64
4.1 Généralités.....	64
4.2 Caractéristiques du CSCT.....	67
4.3 Plage de fonctionnement	68
4.4 Caractéristique assignée de la puissance réactive.....	69
4.5 Amortissement des oscillations de puissance (AOP).....	69
4.6 Réduction de la SSR (résonance hyposynchrone)	69
4.7 Harmoniques	70
4.8 Interactions de contrôle entre des CSCT sur des lignes en parallèle.....	70
4.9 Plage de fonctionnement, surtensions et cycles de service.....	71
4.9.1 Plage de fonctionnement.....	71
4.9.2 Surtensions transitoires	71
4.9.3 Cycles de service.....	71
5 Commande de la valve.....	71
5.1 Système de déclenchement.....	71
5.2 Aspects du système	72
5.3 Conditions de fonctionnement normales	73
5.4 Allumage de la valve lors de défauts du réseau.....	73
5.5 Actions à faible courant de ligne	73
5.6 Surveillance	74
6 Caractéristiques assignées.....	74
6.1 Caractéristique assignée du condensateur.....	74
6.2 Caractéristique assignée de la bobine d'inductance.....	74
6.3 Caractéristique assignée de la valve à thyristors	74
6.3.1 Courant admissible.....	74
6.3.2 Tension admissible.....	75
6.4 Caractéristique assignée de la varistance.....	77
6.5 Niveau d'isolement et ligne de fuite.....	78
7 Essais	78
7.1 Essai du condensateur	78
7.1.1 Essais individuels.....	78
7.1.2 Essais de type	79
7.1.3 Essai spécial (essai d'endurance).....	79
7.2 Essais de la bobine d'inductance du CSCT	79
7.2.1 Essais individuels.....	79
7.2.2 Essais de type	80
7.2.3 Essais spéciaux	80
7.3 Essais des valves à thyristors.....	80
7.3.1 Lignes directrices relatives à la réalisation des essais de type.....	80
7.3.2 Essais individuels.....	82

7.3.3	Essais de type	83
7.4	Essais du système de protection et de commande.....	92
7.4.1	Essais individuels.....	92
7.4.2	Essais de type	93
7.4.3	Essais spéciaux	93
8	Lignes directrices pour la sélection des caractéristiques assignées et pour l'exploitation	94
8.1	Généralités.....	94
8.2	Condensateur série commandé par thyristors.....	96
8.2.1	Système de transmission d'énergie en courant alternatif	96
8.2.2	Objectifs opérationnels du CSCT	96
8.2.3	Caractéristiques assignées du CSCT	97
8.3	Valves à thyristors.....	98
8.4	Condensateurs et bobines d'inductance	99
8.4.1	Considérations relatives au condensateur.....	99
8.4.2	Considérations relatives à la bobine d'inductance.....	99
8.5	Cycles de service de défaut pour les caractéristiques assignées de la varistance	99
8.6	Système de refroidissement de la valve.....	101
8.7	Commande et protection du CSCT.....	101
8.7.1	Commande.....	101
8.7.2	Protection.....	104
8.7.3	Surveillance et enregistrement	105
8.8	Essais préalables à la mise en service et essais de mise en service.....	105
8.8.1	Introduction	105
8.8.2	Essais préalables à la mise en service	106
8.8.3	Essais de station.....	106
8.8.4	Essais (sur site) de mise en service	107
	Bibliographie.....	109
	Figure 1 – Nomenclature classique d'une installation CSCT.....	65
	Figure 2 – Sous-segment CSCT	66
	Figure 3 – Formes d'ondes du CSCT en régime stabilisé pour l'angle de contrôle α et l'intervalle de conduction σ	67
	Figure 4 – Caractéristiques de la réactance en régime stabilisé à fréquence industrielle du CSCT conformément à l'Equation 4, avec $\lambda = 2,5$	68
	Figure 5 – Exemple de plage de fonctionnement du CSCT pour le AOP (gauche) et la réduction de la SSR (droite)	68
	Figure 6 – Système de commande électronique de base des valves (VBE).....	72
	Figure 7 – Système de commande électronique des valves (VE)	72
	Figure 8 – Tension de la valve à thyristors dans un CSCT	76
	Figure 9 – Schéma fonctionnel classique de l'environnement de simulation du système de protection et de commande en temps réel du CSCT	94
	Figure 10 – Exemple de diagramme de plage de fonctionnement du CSCT.....	97
	Tableau 1 – Relations entre la tension de crête et la tension efficace	66
	Tableau 2 – Cycle de service de défaut externe classique avec échec de la refermeture automatique à grande vitesse	100

Tableau 3 – Cycle de service classique pour le défaut interne avec succès de la refermeture automatique à grande vitesse	100
Tableau 4 – Cycle de service classique pour le défaut interne avec échec de la refermeture automatique à grande vitesse	100

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CONDENSATEURS SÉRIE DESTINÉS
À ÊTRE INSTALLÉS SUR DES RÉSEAUX –****Partie 4: Condensateurs série commandés par thyristors**

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60143-4 a été établie par le comité d'études 33 de la CEI: Condensateurs de puissance et leurs applications.

La présente partie de la CEI 60143 doit être utilisée conjointement avec les normes suivantes:

- CEI 60143-1:2004, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 1: Généralités*
- CEI 60143-2:1994, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 2: Matériel de protection pour les batteries de condensateurs série*
- CEI 60143-3:1998, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 3: Fusibles internes*

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
33/472/FDIS	33/478/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60143, présentées sous le titre général *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux* peut être consultée sur le site web de la CEI.

NOTE La présente norme contient des extraits tirés de l'IEEE Std 1534-2002. IEEE Std 1534-2002 IEEE Recommended Practice for Specifying Thyristor-Controlled Series Capacitors (disponible en anglais seulement). Ces extraits ont été réimprimés avec la permission de l'IEEE, 3 Park Avenue, New York, NY 10016-5997 USA, Copyright IEEE 2002.

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

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

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

CONDENSATEURS SÉRIE DESTINÉS À ÊTRE INSTALLÉS SUR DES RÉSEAUX –

Partie 4: Condensateurs série commandés par thyristors

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60143 spécifie la méthode d'essai des installations de condensateurs série commandés par thyristors (CSCT) utilisés avec les lignes de transmission. Cette norme aborde également les questions liées aux caractéristiques assignées des assemblages de valve à thyristors du CSCT, des condensateurs et des bobines d'inductance ainsi que les caractéristiques de commande du CSCT, les fonctions de protection, le système de refroidissement et l'exploitation du système.

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).

NOTE En cas de conflit entre la présente partie de la CEI 60143 et une autre norme figurant dans l'Article 2 ci-dessous, la présente norme l'emporte.

CEI 60050-436, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 436: Condensateurs de puissance*

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

CEI 60068-1, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et guide*

CEI 60068-2-2, *Essais d'environnement – Partie 2-2: Essais – Essai B: Chaleur sèche*

CEI 60068-2-78, *Essais d'environnement, Partie 2-78: Essais – Essai C: Essai continu de chaleur humide*

CEI 60071-1, *Coordination de l'isolement – Partie 1: Définitions, principes et règles*

CEI 60071-2, *Coordination de l'isolement – Partie 2: Guide d'application*

CEI 60076-6:2007, *Transformateurs de puissance – Partie 6: Bobines d'inductance*

CEI 60143-1:2004, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 1: Généralités*

CEI 60143-2:1994, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 2: Matériel de protection pour les batteries de condensateur série*

CEI 60143-3:1998, *Condensateurs série destinés à être installés sur des réseaux – Partie 3: Fusibles internes*

CEI 60255-5, *Relais électriques – Partie 5: Coordination de l'isolement des relais de mesure et des dispositifs de protection – Prescriptions et essais*

CEI 60255-21, (toutes les parties): *Relais électriques – Essais de vibration, de chocs, de secousses et de tenue aux séismes applicables aux relais de mesure et aux dispositifs de protection*

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

CEI 61000-4-11, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-11: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension*

CEI 61000-4-29, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-29: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension sur les accès d'alimentation en courant continu*

CEI 61954:1999, *Electronique de puissance pour les réseaux électriques de transport et de distribution – Essais des valves à thyristor pour les compensateurs statiques d'énergie réactive*

NOTE Des références utiles supplémentaires qui ne sont pas explicitement référencées dans le texte figurent dans la Bibliographie.