

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
792-2**

Première édition
First edition
1993-03

**Essais fonctionnels à plusieurs facteurs
de systèmes d'isolation électrique**

**Partie 2:
Bibliographie**

**The multi-factor functional testing
of electrical insulation systems**

**Part 2:
Bibliography**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 792-2: 1993

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60792-2:1993

Withdrawn

RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

**CEI
IEC
792-2**

Première édition
First edition
1993-03

Essais fonctionnels à plusieurs facteurs de systèmes d'isolation électrique

Partie 2: Bibliographie

The multi-factor functional testing of electrical insulation systems

Part 2: Bibliography

© CEI 1993 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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS FONCTIONNELS À PLUSIEURS FACTEURS DE SYSTÈMES D'ISOLATION ÉLECTRIQUE

Partie 2: Bibliographie

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques de types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

La CEI 792-2, rapport technique de type 3, a été établie par le comité d'études 63 de la CEI: Systèmes d'isolation.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

THE MULTI-FACTOR FUNCTIONAL TESTING
OF ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS

Part 2: Bibliography

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 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.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

IEC 792-2 which is a technical report of type 3, has been prepared by IEC technical committee 63: Insulation systems.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet de comité	Rapport de vote
63(SEC)72	63(SEC)82

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

Ce rapport illustre l'état de l'art de l'évaluation multifactorielle des systèmes d'isolation électrique.

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60792-2:1993

Withdrawn

The text of this technical report is based on the following documents:

Committee draft	Report on Voting
63(SEC)72	63(SEC)82

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

This report illustrates the state of the art of multi-factor evaluation of electrical insulation systems.

Annex A is for information only.

Withdrawing
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60792-2:1993

INTRODUCTION

Durant les premières étapes de la préparation de la CEI 792-1: 1985, Essais fonctionnels à plusieurs facteurs de systèmes d'isolation électrique – Première partie: Procédures d'essai, une courte bibliographie avait été incluse. Son principal objectif était de démontrer que, contrairement à l'opinion commune à ce moment-là, il existait un état de l'art de l'évaluation multifactorielle des systèmes d'isolation. Cette bibliographie a été supprimée par la suite. Plus tard, il a été décidé de développer une nouvelle bibliographie sélective, avec des mises à jour périodiques, afin de fournir une information technique appropriée à ceux qui sont intéressés par l'évolution de leurs systèmes d'isolation au moyen d'essais fonctionnels multifactoriels.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60792-2:1993

Withdrawn

INTRODUCTION

During the early stages of the preparation of IEC 792-1: 1985, The multi-factor functional testing of electrical insulation systems – Part 1: Test procedures, a short bibliography was included. Its main purpose was to demonstrate that – contrary to common belief at that time – there existed a state-of-the art of multi-factor evaluation of insulation systems. That bibliography was subsequently deleted. Later, it was decided to develop a new selective bibliography, with periodic updatings, to provide relevant technical information to those interested in evaluating their insulation systems by multi-factor functional testing.

Withdrawing
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60792-2:1993

ESSAIS FONCTIONNELS À PLUSIEURS FACTEURS DE SYSTÈMES D'ISOLATION ÉLECTRIQUE

Partie 2: Bibliographie

1 Domaine d'application

Le présent Rapport technique est une bibliographie couvrant des publications choisies, considérées comme particulièrement utiles pour ceux qui sont engagés dans l'évaluation fonctionnelle multifactorielle de leurs systèmes d'isolation.

2 Références normatives

Ce rapport tout entier est informatif et ne contient aucune référence normative.

3 Sources

La littérature sur le vieillissement multifactoriel et l'évaluation de systèmes d'isolation électrique s'est développée rapidement durant la dernière décennie. Cela montre l'intérêt propre du sujet pour l'industrie et la recherche. Une autre raison de ce développement est donnée par les efforts organisés pour promouvoir le progrès. Le sujet a, par exemple, été cité comme thème préférentiel lors de nombreuses conférences internationales, régionales et nationales. De même, des comités d'études spéciaux ont été établis par les branches «isolation électrique» de sociétés transnationales et nationales telles que, par exemple, l'IEEE et l'IEEJ. Des organisations parrainant la recherche appliquée, telles que l'EPRI aux États-Unis, ont favorisé des projets dans ce domaine. Des travaux universitaires post-doctoraux dans ce domaine ont été engagés dans divers lieux, des résultats de recherche ont été publiés dans des rapports. Certaines des activités mentionnées ci-dessus ont consisté en bibliographies ou ont inclus des bibliographies. Certaines d'entre elles ont été utilisées dans la compilation du présent texte.

Cette situation dynamique a produit un ensemble croissant d'informations, qui se développe encore rapidement. La majeure partie de ces informations est de grande utilité pour celui qui travaille dans ce domaine, bien qu'une partie soit préliminaire ou répétitive. L'information appropriée comprend, entre autres choses, des études de base sur les mécanismes de vieillissement, des études sur les interactions multifactorielles, des conceptions d'expérience, des techniques d'essai, des rapports d'étude de vieillissement en laboratoire et en service, des études de modélisation d'objets d'essai et de conditions d'essai incluant le problème de l'accélération contrôlée, des modèles mathématiques, déterministes et statistiques, pour planifier et évaluer les essais et les résultats.

4 Disposition

La trame de cette bibliographie est une série de références à des publications, qui permet de s'y retrouver de la manière habituelle. Chaque article est présenté dans l'ordre: Titre, Auteur(s), Origine de la publication, Numéro ou Date. Si la langue de la publication n'est pas l'anglais, elle est indiquée entre parenthèses, par exemple (DE).

Les articles sont numérotés. Pour permettre au lecteur de se former un jugement préliminaire de son intérêt dans un article particulier, on en donne un bref résumé.

THE MULTI-FACTOR FUNCTIONAL TESTING OF ELECTRICAL INSULATION SYSTEMS

Part 2: Bibliography

1 Scope

This technical report is a bibliography covering selected publications, which are considered to be of particular relevance to those involved in the multi-factor functional evaluation of their insulation systems.

2 Normative references

This entire technical report is informative and does not contain any normative references.

3 Sources

The literature on the multi-factor ageing and evaluation of electrical insulation systems has expanded rapidly during the last decade. This demonstrates the inherent interest of the subject to industry and research. Another reason for this expansion are organized efforts to promote progress. The subject has, for example, been listed as a preferential topic at several international, regional and national conferences. Also, special study committees have been established by the Electrical Insulation branches of transnational and national engineering societies like, for example, the IEEE and the IEEJ. Organizations sponsoring applied research, like EPRI in the USA, have promoted projects in the subject field. Academic post-graduate work in the field has been initiated in various places, findings are reported in dissertations. Some of the above-mentioned activities have resulted in, or included, bibliographies. Certain ones of these have been used in the compilation of the present text.

This dynamic situation has produced an increasing body of information which is still rapidly expanding. Much of this information is of great value to the worker in the field, although a part is preliminary or repetitive. The relevant information comprises, among other things, basic studies of ageing mechanisms, studies of multi-factor interactions, experiment design, testing techniques, records of ageing histories in the laboratory and in service, studies of the modelling of test objects and of test conditions including the problem of controlled acceleration, mathematical models – deterministic and statistical ones – to plan and to evaluate tests and data.

4 Disposition

The backbone of this bibliography is a series of references to publications, which enables retrieval in the usual way. Each entry is given in the order: Title, Author(s), Source of publication, Issue or Date. If the language of a publication is not English, it is indicated in brackets, e.g., (DE).

The entries are numbered. To enable the reader to form a preliminary judgement of his/her interest in a particular entry, brief abstracts are given.

Les articles sont d'abord disposés par année de publication en remontant dans le temps. Ensuite, les articles publiés dans la même revue ou le même recueil des actes de la conférence, de l'année en question, sont groupés ensemble.

Pour faciliter une vue d'ensemble, les références sont suivies d'un tableau indiquant quelques-uns des traits saillants de chaque article.

4.1 *Notation*

Les abréviations suivantes sont utilisées:

En général

IE	isolation (isolant) électrique
MIE	matériau(x)
SIE	système(s)
GIS	systèmes isolés au gaz
EU	Europe
AN	Amérique du Nord (US + CA)
NOR - DK + FI + IS + NO + SE	

Pour les autres pays (et langues) les codes littéraux ISO sont utilisés (ils sont donnés, par exemple, dans les brochures des réunions de la CIGRÉ).

Revues

EEJ	Electrical Engineering in Japan
IEM	IEEE DEIS Electrical Insulation Magazine (US)
PAS	IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems (US)
TEI	IEEE Transactions on Electrical Insulation (US)

Conférences

BEAMA	Conférence internationale IE Brighton (GB)
CEIDP	Conférence sur IE et phénomènes diélectriques (AN)
DMMA	Matériaux diélectriques, mesures et applications (GB)
E-EIC	Conférence sur l'électronique et l'isolation électrique (US)
ICSD	Conférence internationale sur la conduction et le claquage des diélectriques solides (EU)
ISEI	Symposium international IEEE DEIS sur l'IE (AN)
ISH	Symposium international sur l'ingénierie à haute tension
Nord-IS	Symposium nordique sur l'isolation (NOR)

Organisations

CIGRÉ	Conférence internationale des grands réseaux électriques à haute tension.
CIREN	Congrès International des réseaux électriques de distribution

The entries are, first, arranged by year of publication, going backward in time. Next, entries published in the same journal or conference proceedings of the year in question are grouped together.

To facilitate an overview, the references are followed by a table indicating some of the prominent features of each entry.

4.1 Notation

The following abbreviations are used:

General:

EI	Electrical insulation (-ing)
EIM	Material(s)
EIS	System(s)
GIS	Gas insulated system(s)
EU	Europe
NA	North America (US + CA)
NOR – DK + FI + IS + NO + SE	

For other countries (and languages) the ISO letter codes are used (they are, for example, listed in CIGRÉ meeting brochures).

Journals

EEJ	Electrical Engineering in Japan
EIM	IEEE DEIS Electrical Insulation Magazine (US)
PAS	IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems (US)
TEI	IEEE Transactions on Electrical Insulation (US)

Conferences

BEAMA	International EI Conference Brighton (GB)
CEIDP	Conference on EI and Dielectric Phenomena (NA)
DMMA	Dielectric Materials, Measurements and Applications (GB)
E - EIC	Electronics/ Electrical Insulation Conference (US)
ICSD	International Conference on Conduction and Breakdown of Solid Dielectrics (EU)
ISEI	IEEE DEIS International Symposium on EI (NA)
ISH	International Symposium on High Voltage Engineering
Nord-IS	Nordic Insulation Symposium (NOR)

Organizations

CIGRÉ	International Conference on Large HV Electric Systems
CIREN	International Conference on Electrical Distribution

CEI	Commission Electrotechnique Internationale
ISO	Organisation Internationale pour la Normalisation
IEEE/DEIS	IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society
EPRI	Electric Power Research Institute (US)
IEE	Institute of Electrical Engineers (GB)
IEEJ	Institute of Electrical Engineers of Japan

Les matériaux polymériques et les méthodes ou instruments analytiques de laboratoire sont désignés par leurs abréviations usuelles: «PE», «MS».

Il faut souligner que cette bibliographie a été développée pour celui qui travaille dans ce domaine, et non pour les bibliothécaires ou les historiens. Par conséquent, on a pensé qu'il était important de n'inclure qu'une sélection restreinte de références. Le principe essentiel pour la sélection d'une référence à inclure dans cette section est sa pertinence technique. Beaucoup d'auteurs, de groupes ou de laboratoires ont produit des suites de rapports sur un sujet particulier (souvent au cours d'un projet spécifique). Dans ces cas, on s'est efforcé d'inclure seulement un ou deux articles avec la dernière et la plus complète présentation.

5 Recherche de bases de données de littérature

Les recherches de bases de données peuvent également être très utiles dans ce domaine. Le problème est double, comme d'habitude: limiter le nombre total de références en éliminant les moins pertinentes, sans perdre toutefois aucune des références réellement pertinentes.

L'approche habituelle est l'utilisation d'une combinaison appropriée de mots clés. Pour une revue de la littérature, le *Science Citation Index* présente un intérêt particulier puisque, en incluant toutes les références données dans une publication, il permet la poursuite de la recherche. De cette façon, une référence d'actualité peut être utilisée pour former une liste complète de références à jour. Cependant le *Science Citation Index* ne donne pas les résumés des références répertoriées, et par conséquent il est très profitable de l'utiliser de concert avec une ou plusieurs autres bases de données.

Pour faciliter l'utilisation de cette bibliographie dans ces applications, une liste de mots clés et une liste alphabétique des auteurs sont dressées dans l'annexe A pour les références données ici.

6 Liste de références

Bibliographies

B-01 *Aging of multistressed polymeric insulators*, par V. K. Agarwal. TEI vol. 24 (1989) pp. 741...764.

Cette bibliographie, avec 435 références, fait partie du résumé CEIDP 1989 de la littérature sur les diélectriques.

IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
IEEE/ DEIS	IEEE Dielectrics and Electrical Insulation Society
EPRI	Electric Power Research Institute (US)
IEE	Institute of Electrical Engineers (GB)
IEEJ	Institute of Electrical Engineers of Japan

Polymer materials and analytical laboratory methods/instruments are abbreviated as usual: "PE"; "MS".

It should be stressed that this bibliography has been developed for the concerned worker in the field, not for librarians or historians. A restrictive selection of references to be included has, therefore, been considered to be important. The main principle for selection of a reference to be included in this part is its technical relevance. Many authors, groups or laboratories have produced sequences of reports on a particular subject (often in the course of a specific project). In such cases it is attempted to include one or two papers only with the latest and most complete presentation.

5 Searching literature data bases

Data base searches may be very useful in this field as well. The problem is, as usual, a dual one: to limit the total number of references by discriminating against the less relevant ones without, however, losing any of the really relevant references.

The usual approach is the use of a suitable combination of keywords. Of particular interest for a literature survey is the *Science Citation Index*, which, through its inclusion of all references given in a publication, allows for a forward search. In this way, one topical reference can be used to generate an up-to-date, comprehensive reference list. The *Science Citation Index*, however, does not include the abstracts of the indexed references, and it is therefore most profitably used in conjunction with one or several other databases.

To facilitate the use of this bibliography for such purposes, a list of keywords, and an alphabetic list of the authors of the references given here are both listed in annex A.

6 List of references

Bibliographies

- B-01 *Aging of multi-stressed polymeric insulators*, by V. K. Agarwal. TEI Vol. 24 (1989), pp. 741...764.

This bibliography, with 435 entries, forms a part of the 1989 CEIDP Digest on Literature on Dielectrics.

- B-02 *Water treeing in solid dielectrics*, par M. T. Shaw, S. H. Shaw. TEI vol. 19 (1984), pp. 419...452.

C'est une revue classique sur l'arborisation aqueuse, avec 222 références. Elle fait partie du résumé CEIDP 1984 de la littérature sur les diélectriques.

Bibliographies récentes (après 1989)

- 91-01 *Life of winding insulations at combined thermal and electrical, impulse voltage stressing*, par G. Börner, M. Eberhardt. *Elektrie* vol. 45 (1991), pp. 52...56 (DE).
- 90-01 *Models for insulation ageing under electrical and thermal multi-stress*, par P. Cygan, J. R. Laghari. TEI vol. 25 (1990), pp. 923...934.

1989

- 89-01 *Influence of wet ageing on the electrical breakdown strength of XLPE cable slices*, par C. Chauvet, C. Laurent, C. Mayoux. *Proc. CEIDP*, pp. 230...234.

Pour rechercher les effets nuisibles de l'arborisation aqueuse sur la fiabilité des câbles de puissance isolés PE, les auteurs ont effectué des déterminations statistiques de la tension de claquage sur des portions de câbles préalablement vieillies en présence d'eau. Une analyse de Weibull est effectuée sur au moins 40 résultats de tension de claquage pour chaque population, menant à une détermination de la contrainte nominale de claquage E_0 . Des comparaisons sont faites en fonction du temps de vieillissement et des conditions d'essai. On en conclut que le vieillissement humide dans les conditions de formation d'arborescences aqueuses affecte la tension de claquage des portions de câbles PE-X. La présence d'arborescences aqueuses dans l'isolation doit, par conséquent, être considérée comme potentiellement nuisible.

- 89-02 *The compensation law and polymer aging and relaxations*, par J.-P. Crine. *Proc. 3d ICSD*, pp. 321...325.

Basé sur la théorie de Eyring sur la vitesse des réactions chimiques, un modèle plus avancé que le modèle conventionnel d'Arrhénius est discuté. La représentation des données comme changements d'entropie en fonction de l'enthalpie peut révéler des relations intéressantes. Lorsque l'on observe une «loi de compensation», ΔS et ΔH d'un processus donné ont une relation linéaire.

- 89-03 *A model of aging of dielectric extruded cables*, par J.-P. Crine, J.L. Parpal, G. Lessard. *Proc. 3d ICSD*, pp. 347...351.

On propose un modèle de vieillissement électrique partiellement sur la base de la théorie de la vitesse chimique. Les paramètres physiques dans les équations de base semblent être liés à la morphologie du polymère. On a présumé que le vieillissement sévère et irréversible des diélectriques était précédé par la formation de microcavités de 50 à 100 Å.

- B-02 *Water treeing in solid dielectrics*, by M. T. Shaw, S. H. Shaw. TEI Vol. 19 (1984), pp. 419...452.

This is a classic review paper on water treeing, with 222 references. It forms a part of the 1984 CEIDP Digest of Literature on Dielectrics.

Recent bibliography (after 1989)

- 91-01 *Life of winding insulations at combined thermal and electrical, impulse voltage stressing*, by G. Börner, M. Eberhardt. *Elektrie* Vol. 45 (1991), pp. 52...56 (DE).
- 90-01 *Models for insulation ageing under electrical and thermal multi-stress*, by P. Cygan, J. R. Laghari. TEI Vol. 25 (1990), pp. 923...934.

1989

- 89-01 *Influence of wet ageing on the electrical breakdown strength of XLPE cable slices*, by C. Chauvet, C. Laurent, C. Mayoux. *Proc. CEIDP*, pp. 230...234.

To investigate deleterious effects of water treeing on the reliability of PE insulated power cables, the authors have performed statistical electrical breakdown strength determinations on cable slices previously aged in the presence of water. A Weibull analysis is performed on at least 40 breakdown voltage data for each population, leading to a determination of the nominal breakdown stress E_0 . Comparisons are made as a function of ageing time and test conditions. It is concluded that wet ageing in the conditions of water tree formation affects the breakdown strength of XLPE cable slices. The presence in insulation of water trees, thus, must be considered as potentially harmful.

- 89-02 *The compensation law and polymer aging and relaxations*, by J.-P. Crine. *Proc. 3d ICSD*, pp. 321...325.

Based on Eyring's rate theory of chemical reactions a more advanced model than the conventional Arrhenius one is discussed. Representing the data as changes of entropy versus enthalpy may reveal interesting relationships. When a "Compensation law" is observed ΔS and ΔH of the given process have a linear relationship.

- 89-03 *A model of aging of dielectric extruded cables*, by J.-P. Crine, J. L. Parpal, G. Lessard. *Proc. 3d ICSD*, pp. 347...351.

A model for electrical ageing partly on the basis of chemical rate theory is proposed. The physical parameters in the basic equations appear to be related to the polymer morphology. It has been speculated that severe and irreversible electrical ageing of dielectrics is preceded by the formation of microcavities in the 50-100 Å range.

- 89-04 *Studies of epoxy spacers subjected to internal and external PD and SF₆ by-products*, par J.M. Braun, F.Y. Chu, A. Tyman. Proc. 3d ICSD, pp. 342...346.

Une caractérisation des premières phases du processus de dégradation de la surface interne et externe des entretoises a été effectuée par des techniques électriques et chimiques avancées pour obtenir une meilleure compréhension des mécanismes de vieillissement à long terme. On discute l'application de ces techniques pour définir des critères de conception.

- 89-05 *Degradation and electrical behavior of aged XLPE cable models*, par A. Motori, F. Sandrolini, G. C. Montanari. Proc. 3d ICSD, pp. 352...358.

On discute de résultats de mesures de conductivité en courant continu sur des modèles vieilliss thermiquement et électriquement + thermiquement. On a trouvé que les variations observées de conductivité avec le temps de vieillissement correspondaient aux variations d'autres propriétés (densité, cristallinité, rigidité diélectrique, microstructure). On en conclut que la conductivité électrique peut être précieuse pour juger le degré de vieillissement du volume d'une isolation, même si le développement du claquage est un phénomène localisé.

1988

- 88-01 *Hydrolytic deterioration of polyimide insulation on Naval aircraft wiring*, par F. J. Campbell, F. J. Brewer et al., A. M. Bruning. CEIDP pp. 180...188.

Des retours d'expériences montrent une durée de vie d'isolation plus courte que celle attendue en utilisant la courbe d'Arrhénius pour l'hydrolyse. Cela peut être la conséquence de contraintes mécaniques causées par l'installation de faisceaux de câbles et d'agents chimiques de l'environnement, en service et pendant la maintenance. Un programme basé sur une évaluation multifactorielle est en cours; il se propose de fournir un modèle théorique dans lequel on peut entrer les données concrètes en service pour fournir une prévision de la durée de vie fonctionnelle.

- 88-02 *Microvoid formation and growth in epoxy resins under mechanical and electrical stress par laser light scattering*, par G. C. Stevens, E. Perkins, J. V. Champion. 5th DMMA, pp. 234...237.

Les résines époxydes peuvent contenir des réseaux inhomogènes et défectueux qui influencent la déformation et le fléchissement mécaniques. Lorsqu'un fléchissement localisé se produit, des microvides sont formés. Même dans les matériaux très bien préparés, il n'est pas possible d'éviter des concentrations très faibles de vides sub-microniques. Ceux-ci croîtront sous contrainte mécanique et finalement causeront une défaillance. Les contraintes en champ électrique divergent sous tension continue et alternative ont un faible effet sur la distribution des microvides loin de la tête d'épingle. Dans une résine époxyde très propre il est très difficile d'amorcer une arborisation électrique. Le calcul des forces de Maxwell à partir de charges d'espace injectées suggère qu'elles peuvent être assez grandes pour causer une défaillance interfaciale aux sommets d'aiguilles enrobées.

- 88-03 *Erosion resistance of different housing materials to UV irradiation and surface discharges action*, par S. M. Gubanski. 5th DMMA, pp. 37...40.

Il propose un essai d'exposition extérieure simulée de matériaux avec des cycles de rayonnement UV suivie d'une exposition à des décharges en surface sous tension alternative.

- 89-04 *Studies of epoxy spacers subjected to internal and external PD and SF₆ by-products*, by J. M. Braun, F. Y. Chu, A. Tyman. Proc. 3d ICSD, pp. 342...346.

Characterization of the early phases of the internal and external spacer surface degradation process was carried out by electrical and advanced chemical techniques to develop a better understanding of the long-term ageing mechanisms. The application of these techniques to define design criteria is discussed.

- 89-05 *Degradation and electrical behavior of aged XLPE cable models*, by A. Motori, F. Sandrolini, G. C. Montanari. Proc. 3d ICSD, pp. 352...358.

Results are discussed of d.c. conductivity measurements on thermally and electrically + thermally aged models. Observed variations of conductivity with ageing time were found to correlate with variations of other properties (density, crystallinity, electric strength, micro-structure). It is concluded that electrical conductivity may be valuable to judge the degree of ageing of the volume of an insulation, even if the development of breakdown is a localized phenomenon.

1988

- 88-01 *Hydrolytic deterioration of polyimide insulation on naval aircraft wiring*, by F. J. Campbell, F. J. Brewer et al., A. M. Bruning. CEIDP, pp. 180...188.

Service records showed shorter insulation life than expected using the Arrhenius slope for hydrolysis. This may be the consequence of mechanical strain caused by the installation of wire bundles, and of chemical environmental agents in service and during maintenance. A programme based on multi-factor evaluation is in progress, which is planned to yield a theoretical model into which actual service data can be entered to yield a functional life forecast.

- 88-02 *Microvoid formation and growth in epoxy resins under mechanical and electrical stress by laser light scattering*, by G. C. Stevens, E. Perkins, J. V. Champion. 5th DMMA, pp. 234...237.

Epoxy resins may contain inhomogeneous and defective networks which influence mechanical deformation and yield. When localized yield occurs microvoids are formed. Even in very well prepared materials it is not possible to avoid very low concentrations of submicron voids. These will grow under mechanical stress and ultimately cause failure. Divergent electric field stressing in pin-plane geometries under d.c. and a.c. conditions does have a small effect on the microvoid distribution remote from the pin-tip. In very clean epoxy resin it is very difficult to initiate electrical treeing. Calculation of the Maxwell forces from injected space charges suggests that they may be large enough to cause interfacial failure at embedded pin tips.

- 88-03 *Erosion resistance of different housing materials to UV irradiation and surface discharges action*, by S. M. Gubanski. 5th DMMA, pp. 37...40.

Proposes a simulated outdoor exposure test of materials with cycles of UV irradiation followed by exposure to a.c. surface discharges. The loss of mass, contact angle and

La perte de masse, l'angle de contact et la rugosité de la surface sont déterminés. Les résultats sur de nombreux matériaux (divers EP, EPDM, caoutchouc silicone) sont relatés et discutés. L'essai est présenté comme une alternative aux essais étudiés, par exemple, au CIGRE 15-06 (le traitement de vieillissement présente des ressemblances avec un essai EDF).

- 88-04 *Sensitive analytical methods for early diagnosis of aging in solid insulation under voltage stress*, par J. F. Johnson, J. H. Groeger, M. S. Mashikian, B. S. Bernstein, A. R. Cooper. CIGRE 1988, Report 15.-01, 7 pp.

Quatre techniques sensibles d'analyse sont décrites pour l'évaluation des propriétés de diélectriques solides extrudés vieillis. La microspectrophotométrie IR a été utilisée pour caractériser des zones locales d'isolation de câble par la présence de composés organiques. De même des arborescences aqueuses et des halos ont été examinés dans des câbles vieillis. La spectroscopie aux rayons X dispersifs a été utilisée pour caractériser des constituants inorganiques présents aux sites de formation d'arborescence. Une chimiluminescence (causée par oxydation) a été observée dans l'isolation de câbles vieillis sur site, et elle était en général plus grande que dans des matériaux neufs identiques. Finalement, une nouvelle combinaison de ATG, CPG, spectroscopie IR à transformée de Fourier et de SM a été utilisée pour caractériser les composés volatils totaux et pour identifier les composés volatils individuels. On discute les avantages de ces méthodes sensibles dans la caractérisation de l'isolation de câbles non vieillis, vieillis sur site et vieillis en laboratoire.

- 88-05 *Comportement des câbles extrudés pour le transport d'énergie sous haute tension à courant continu: Essais sur matériaux et câbles*, par P. Pays, M. Louis, J. Perret, C. Alquié, J. Lewiner, CIGRE 1988, Rapport 21-07, 11 pp.

Ce rapport décrit les recherches effectuées sur les problèmes spéciaux du transport par câble sous HTCC, comparés à ceux sous HTCA: augmentation du champ dû à des charges d'espace et influence des hautes pressions et de l'eau de mer. Des techniques de propagation d'onde de pression ont été utilisées pour mesurer directement les charges d'espace dans une isolation sous champ électrique. Des courbes V-t ont été déterminées sous diverses conditions pour des câbles (de conception en courant alternatif) avec différents diélectriques. Des essais de choc ont été effectués. Le rapport se termine par des conclusions optimistes.

- 88-06 *Cast resin transformers for low ambient temperatures*, par L. Centurioni, G. Coletti, D. Tommasini, M. Naldi. Nord-IS88, Paper No. 17, 11 pp.

C'est un rapport sur le progrès des méthodes pour évaluer la performance à basse température de l'isolation dans ce type de produit au moyen de calculs simplifiés des contraintes mécaniques et au moyen d'essais. La philosophie de la conception et le choix des matériaux sont discutés. Une procédure appropriée pour un essai de type est suggérée.

- 88-07 *Influence of moisture on permittivity and dielectric losses in cast epoxy systems*, par J. Sletbak, N. G. Gjølsted, E. E. Henriksen, T. L. Lanoue. Nord-IS, Paper No. 19, 10 pp.

On décrit des études de l'influence de l'eau dissoute et de la température sur des échantillons d'époxyde chargée et non chargée. Les effets des flexibilisateurs et du traitement de surface de la charge ont aussi été étudiés. Les pertes diélectriques aux points chauds

surface roughness are determined. Results obtained on a number of materials (various Ep, EPDM, silicone rubber) are reported and discussed. The test is presented as an alternative to tests studied in, e.g., CIGRE 15-06 (the ageing treatment has similarities with an EDF test).

- 88-04 *Sensitive analytical methods for early diagnosis of aging in solid insulation under voltage stress*, by J. F. Johnson, J. H. Groeger, M. S. Mashikian, B. S. Bernstein, A. R. Cooper. CIGRE 1988, Report 15-01, 7 pp.

Four sensitive analytical techniques are described for evaluation of the properties of aged extruded solid dielectrics. IR microspectrophotometry was used to characterize local regions of cable insulation for the presence of organic compounds. Water trees and halos in aged cables were similarly examined. Wave length dispersive X-ray spectroscopy was used to characterize inorganic constituents present at tree initiation sites. Chemiluminescence (caused by oxidation) was observed in field aged cable insulation, where it generally was greater than in identical new materials. Finally, a novel combination of TGA, GC, Fourier transform IR spectroscopy and MS was used to characterize the total volatiles and to identify individual volatile components. The value of these sensitive methods in characterizing unaged, field aged and laboratory aged cable insulation is discussed.

- 88-05 *Behaviour of extruded HVDC power transmission cables: Tests on materials and cables*, by P. Pays, M. Louis, J. Perret, C. Alquié, J. Lewiner. CIGRE 1988, Report 21-07, 11 pp.

Reports investigations aimed at the special problems of HVDC, as compared to HVAC, cable transmission: field enhancement due to space charges, and the influence of high pressure and sea water. Pressure wave propagation techniques were used to directly assess space charges in stressed insulation. V-t-curves were determined under various conditions for cables (a.c. designs) with different dielectrics. Impulse tests were performed. Optimistic conclusions are reported.

- 88-06 *Cast resin transformers for low ambient temperatures*, by L. Centurioni, G. Coletti, D. Tommasini, M. Naldi. Nord-IS88, Paper No. 17, 11 pp.

A progress report on methods to evaluate the low temperature performance of insulation in this type of product by simplified mechanical stress calculations and by tests. The design philosophy and selection of materials are discussed. A procedure suitable for a type test is suggested.

- 88-07 *Influence of moisture on permittivity and dielectric losses in cast epoxy systems*, by J. Sletbak, N. G. Gjelsted, E. E. Henriksen, T. L. Lanoue. Nord-IS, Paper No. 19, 10 pp.

Reports studies of the influence of dissolved water and temperature on filled and non-filled epoxy samples. The effect of flexibilizers and of surface treatment of the filler were also studied. Dielectric losses at hot spot sites may be high enough to cause thermal break-

peuvent être suffisamment élevées pour causer un claquage thermique même à de faibles valeurs de contrainte électrique. La température critique décroît avec une concentration croissante d'eau dissoute et la flexibilisation. Des mécanismes pertinents de polarisation et de conduction sont discutés.

- 88-08 *AC breakdown characteristics of in-service aged XLPE distribution cables*, par R. Bartnikas, S. Pellissou, H. Saint-Onge. IEEE Trans. Power Delivery vol. 3, pp. 454...462.

Cet article complète 85-12 et comprend des données sur des arborescences aqueuses dans des câbles vieilliss en service. On montre que la tension de claquage en courant alternatif ne peut pas être liée à la présence d'arborescences ou à leurs caractéristiques physiques.

1987

- 87-01 *A method to determine the lifetime of solid electrical insulation*, par H. Hirose. TEI vol. 22, pp. 745...753.

L'auteur décrit une méthode statistique d'évaluation de résultats d'essais de vieillissement accéléré. Une estimation de la probabilité maximale et la méthode Newton-Raphson sont utilisées simultanément. Un seuil peut être estimé avec un intervalle de confiance. Le tronçage des essais d'endurance sous tension est conseillé.

- 87-02 *Contribution to the specification of an ageing test for the insulation of enclosed air-insulated switchgear*, par D. Koenig, P. Roesch, B. Mueller. TEI vol. 22, pp. 769...774.

Dans une recherche destinée à préparer des essais d'endurance de matériel, des éprouvettes en forme de barre ont été exposées à une combinaison d'humidité, de pollution et de contrainte électrique. La détérioration a été suivie en utilisant des diagnostics électriques, chimiques et optiques. Les résultats appartiennent à une nouvelle norme d'essai de la CEI, qui est décrite et discutée en ce qui concerne l'accélération d'essai et les paramètres d'essai appropriés ou moins appropriés.

- 87-03 *A study of the behavior of a uniaxially oriented PE tape/oil insulating system subjected to electrical and thermal stresses*, par A. J. Pearmain and M. G. Danikas. TEI vol. 22, pp. 373...382.

L'apparition de décharges et de bulles, et leur dynamique, ont été étudiées dans ce système d'isolation destiné à la conception de câbles. On a trouvé que la détérioration était liée à l'énergie dissipée par les décharges.

- 87-04 *A study of the dielectric and mechanic property interactions of glass-cloth/epoxy composites*, par C. H. Park. TEI vol. 22, pp. 389...395.

En raison des vides et des délaminages, la rigidité diélectrique des composites est notablement affectée par les contraintes mécaniques appliquées. L'orientation des fibres de verre par rapport à l'axe des forces appliquées influence la rigidité diélectrique résultante.

down even at low values of electric stress. The critical temperature decreases with increasing concentration of dissolved water and of flexibilization. Pertinent polarization and conduction mechanisms are discussed.

- 88-08 *AC breakdown characteristics of in-service aged XLPE distribution cables*, by R. Bartnikas, S. Pellissou, H. Saint-Onge. IEEE Trans. Power Delivery Vol. 3, pp. 454...462.

Supplements 85-12 and includes data on water trees in service aged cables. It is shown that a.c. breakdown strength could not be correlated with the presence of trees, or their physical characteristics.

1987

- 87-01 *A method to determine the lifetime of solid electrical insulation*, by H. Hirose. TEI Vol. 22, pp. 745...753.

Describes a statistical method of evaluation of accelerated ageing test data. Maximum-likelihood estimation and the Newton-Raphson method are simultaneously used. A threshold level can be estimated with a confidence interval. Censoring of voltage endurance tests is advised.

- 87-02 *Contribution to the specification of an ageing test for the insulation of enclosed air-insulated switchgear*, by D. Koenig, P. Roesch, B. Mueller. TEI Vol. 22, pp. 769...774.

In research aimed at preparing equipment endurance tests, rod shaped specimens were exposed to a combination of moisture, pollution and voltage stress. Deterioration was followed using electrical, chemical and optical diagnostics. The results pertain to a new IEC testing standard, which is described and discussed with regard to test acceleration and suitable or less suitable test parameters.

- 87-03 *A study of the behavior of a uniaxially oriented PE tape/oil insulating system subjected to electrical and thermal stresses*, by A. J. Pearmain and M. G. Danikas. TEI Vol. 22, pp. 373...382.

The occurrence of discharges and of bubbles, and their dynamics, in this insulation system aimed at cable design were studied. Deterioration was found to correlate with dissipated discharge energy.

- 87-04 *A study of the dielectric and mechanic property interactions of glass-cloth/epoxy composites*, by C. H. Park. TEI Vol. 22, pp. 389...395.

Because of voids and delaminations, the electric strength of the composites is noticeably affected by applied mechanical stress. The orientation of the glass reinforcement relative to the axis of the applied forces influences the resulting electric strength.

- 87-05 *Breakdown and prebreakdown phenomena in solid dielectrics*, par H. R. Zeller. TEI vol. 22, pp. 115...122.

Cet article est une revue des modèles physiques phénoménologiques. Le modèle bien connu du courant limité par charge d'espace est généralisé en plusieurs étapes à la mobilité dépendant du champ, la résistance différentielle négative et l'ionisation d'impact. Un modèle fractal pour le claquage est présenté. Le modèle contient un petit nombre de paramètres transparents physiquement.

- 87-06 *The influence of exploitation and environmental factors in cement plant on service life of induction motors*, par W. Gawu^c. MEE Int. Conf. Reliability and Lifetime of EI Machines, Budapest, pp. 21...24.

Décrit des essais sur plus de 1 000 moteurs. Les temps moyens jusqu'à première défaillance (MTFF) sont analysés par rapport à divers facteurs d'influence pendant le fonctionnement, aux types de machines commandées par les moteurs dans la cimenterie et aux causes de défaillance. Des protections de surcharge qui ne fonctionnent pas correctement sont reconnues comme cause majeure des défaillances. Un examen et une maintenance améliorés sont recommandés pour augmenter la fiabilité.

- 87-07 *The resistance of a polymer concrete to weathering and tracking*, par A. Ling Tan, J. H. Mason. CIGRÉ Symp., Vienna, May 1987, Paper 620-03, 6 pp.

Les résines chargées de silice sont ici appelées «béton polymérique». Des «bétons acryliques» ont été évalués pour l'emploi dans les isolateurs suspendus à courant continu. Leurs propriétés mécaniques et diélectriques critiques sont présentées comme comparables à celles d'isolateurs inorganiques. L'addition d'un plastifiant augmente la résistance aux chocs sans affecter sérieusement les autres propriétés mécaniques et diélectriques aux températures de service. Ils sont résistants au rayonnement UV et au cheminement lors d'essais en courant alternatif (essai au plan incliné), mais sont sujets au cheminement et à l'érosion à des contraintes en courant continu supérieures à 30 V/mm - tout comme les isolateurs en verre ou en porcelaine.

- 87-08 *A model of moisture ingress and distribution in gas insulated switchgear*, par J. M. Braun, L. A. Gonzalez, F. Y. Chu. CIGRE Symp., Vienna, May 1987, Paper No. 400-04, 6 pp.

Les entretoises en époxyde sont les pièges d'humidité les plus importants dans les GIS. Le GIS subit de grandes variations du point de rosée par suite des changements saisonniers de température et de la redistribution consécutive de l'humidité entre les phases gazeuse et solide, en bon accord avec les observations sur le terrain. Le plus gros de l'humidité est incorporé durant l'installation initiale plutôt que par les échanges avec l'atmosphère humide extérieure. L'inventaire total et le point de rosée du gaz sont déterminés en premier lieu par le conditionnement des entretoises en époxyde. En raison de la diffusion lente de l'humidité dans l'époxyde, le séchage des compartiments de GIS ne peut pas être effectué par l'application prolongée d'un vide. En pratique, l'humidité est le plus efficacement contrôlée par une manutention soignée des entretoises avant l'installation.

- 87-09 *Residual electric strength measurements as a method to evaluate materials endurance*, par L. Somoni, G. Pattini, G. C. Montanari. 5th ISH, Paper 22.09, 4 pp.

On suggère d'évaluer l'endurance électrique, et en particulier celle aux DP, en interrompant le vieillissement en tension avant le claquage, et de déterminer la rigidité

- 87-05 *Breakdown and prebreakdown phenomena in solid dielectrics*, by H. R. Zeller. TEI Vol. 22, pp. 115...122.

A review paper based on phenomenological physical models. The well-known space-charge-limited-current model is generalized in several steps to field-dependent mobility, negative differential resistance and impact ionization. A fractal model for breakdown is introduced. The model contains a small number of physically transparent parameters.

- 87-06 *The influence of exploitation and environmental factors in cement plant on service life of induction motors*, by W. Gawuł. MEE Int. Conf. Reliability and Lifetime of EI Machines, Budapest, pp. 21...24.

Relates tests on more than 1 000 motors. Medium times to first failure (MTFF) are analyzed with regard to various factors of influence during operation, the kinds of machines in the cement plant which are driven by the motors, and failure causes. Overload protections which do not operate properly are recognized as a major cause of the failures. Improved inspection and maintenance is recommended to enhance reliability.

- 87-07 *The resistance of a polymer concrete to weathering and tracking*, by A. Ling Tan, J. H. Mason. CIGRÉ Symp., Vienna, May 1987, Paper 620-03, 6 pp.

Silica filled resins are here called "polymer concrete". Acrylic "concretes" have been evaluated for use in d.c. suspension insulators. Their critical dielectric and mechanical properties are reported to be comparable with those of inorganic insulators. Addition of plasticizer increases the impact strength without seriously affecting other mechanical or dielectric properties at service temperatures. They are resistant to UV radiation and to tracking when assessed with a.c. (inclined plane test), but they suffer tracking and erosion at d.c. stresses exceeding 30 V/mm – as do glass and porcelain insulators.

- 87-08 *A model of moisture ingress and distribution in gas insulated switchgear*, by J. M. Braun, L. A. Gonzalez, F. Y. Chu. CIGRÉ Symp., Vienna, May 1987, Paper No. 400-04, 6 pp.

Epoxy spacers represent the most significant moisture sink in GIS. The GIS is found to experience wide swings in dew-point as a result of seasonal changes of temperature and the resultant redistribution of moisture between the gas and solid phases, in good agreement with field observations. The bulk of the moisture is incorporated during the initial installation rather than by exchanges with the outer moist atmosphere. The total inventory and gas dew-point are determined primarily by the conditioning of the epoxy spacers. Because of slow moisture diffusion in the epoxy, drying of GIS compartments cannot be achieved by prolonged vacuum application. In practice, moisture is most effectively controlled by careful handling of the spacers before installation.

- 87-09 *Residual electric strength measurements as a method to evaluate materials endurance*, by L. Simoni, G. Pattini, G. C. Montanari. 5th ISH, Paper 22.09, 4 pp.

Suggests evaluating electrical, and in particular PD, endurance by interrupting the voltage ageing prior to breakdown and determining the residual short-term electric strength.

électrique résiduelle à court terme. Un formalisme est proposé pour évaluer les résultats obtenus à différentes durées et différents niveaux de tension de vieillissement.

- 87-10 *A planned testing programme for the evaluation of polymer surface properties*, par Y. Tvarůžková 8th Enviroeffect, CS, pp. 162...166 (Russ.)

On discute des essais de matériaux d'IE appropriés pour des postes de distribution BT, en tenant compte du fait que le microclimat à l'intérieur d'une cabine peut être différent du climat extérieur. Ainsi, on peut s'attendre à de la condensation. Des essais avec des éprouvettes planes sont relatés, avec l'application de 4,4 kV entre électrodes à la surface. Les pertes de masse et les courants de surface sont enregistrés.

- 87-11 *Polymer HV suspension insulators under arctic conditions*, par Yu P. Dordin et al. 8th Enviroeffect, pp. 34...42 (Russ.)

Sous les climats arctiques, les isolateurs en verre et en céramique souffrent de taux de défaillance importants durant le transport et l'exploitation. Des isolateurs polymériques renforcés recouverts de composés silicones élastomériques ont été essayés en laboratoire et sur le terrain. Ils montrent un comportement très prometteur.

- 87-12 *Operation and modelled stress of insulation systems of low voltage electric rotating machines*, par E. Pribulla. 8th Enviroeffect, pp. 145...150.

La conception des machines modernes comprend l'incorporation de matériaux IE avec des caractéristiques thermiques croissantes. L'auteur relate une revue des conditions opératoires d'un échantillon de moteurs installés (100 moteurs de 1,1 kW à 18 kW). La majorité des moteurs fonctionnent en dessous de 60 % de la puissance assignée et seulement 3,5 % entre 80 % et 100 %. D'autres résultats étayent la conclusion que la capacité thermique de l'isolation des moteurs de ce type est loin d'être utilisée en service dans la plupart des cas. Cela est confirmé par une étude de l'isolation de moteurs qui ont subi une défaillance: il n'y avait pas de signe de vieillissement thermique. L'auteur met en doute la pertinence d'essais du type motorette, pour évaluer la performance attendue des systèmes d'isolation BT des moteurs, comme répondant aux mauvaises questions. Au lieu de cela, il recommande un essai d'inversion dynamique à la température de service.

- 87-13 *Accelerated environmental testing of composites*, par R. Ciricioli et al. J. Composite Materials vol. 21, pp. 225...242.

On présente une méthode qui fournit les conditions d'essai requises pour obtenir le degré d'humidité souhaité dans le délai le plus court. Cela est obtenu par une méthode en deux étapes: un certain temps à 100 % d'HR suivi d'une exposition à une atmosphère à l'HR visée, jusqu'à ce que les éprouvettes atteignent une masse constante. On présente des diagrammes à partir desquels les conditions d'essai appropriées peuvent être déterminées. Une illustration est donnée. Des essais pour évaluer la validité et la précision de la méthode fournissent des résultats montrant que le degré d'humidité et les propriétés mécaniques d'un certain tissu Fiberite sont à peu près les mêmes après un conditionnement environnemental ordinaire ou accéléré, qui requiert 60 à 70 jours ou 30 à 35 jours, respectivement.

- 87-14 *Study of the dielectric properties of cables for downhole pumps*, par N. M. Levy. IEEE Proc. Pt. C vol. 134 No. 1, p. 4997C.

On décrit un programme d'essai accéléré de durée de vie, pour comparer les propriétés d'isolation de câbles électriques pour pompes des puits de pétrole dans les installations

A formalism is proposed to evaluate data obtained at different times and levels of ageing voltage.

- 87-10 *A planned testing programme for the evaluation of polymer surface properties*, by Y. Tvarůžková 8th Enviroeffect, CS, pp. 162...166 (Russ.)

Discusses tests of EI materials appropriate for LV distribution substations, taking into account that the micro-climate inside a cubicle may differ from the external one. Condensation, thus, has to be anticipated. Tests with plane specimens are reported, with 4,4 kV applied between electrodes on the surface. Loss of mass and surface currents are monitored.

- 87-11 *Polymer HV suspension insulators under arctic conditions*, by Yu P. Dordin *et al.* 8th Enviroeffect, pp. 34...42 (Russ.)

Under arctic conditions glass and ceramic insulators suffer high failure rates during transportation and operation. Reinforced polymer insulators coated with elastomeric silicone compounds have been tested in the laboratory and in the field. They show very promising behaviour.

- 87-12 *Operation and modelled stress of insulation systems of low voltage electric rotating machines*, by E. Pribulla. 8th Enviroeffect, pp. 145...150.

Modern machine design comprises the incorporation of EI materials with increased thermal ratings. Author reports a survey of operating conditions of a sample of installed motors (100 motors of 1,1 kW to 18 kW). The majority of the motors operate below 60 %, and only 3,5 % between 80 % and 100 %, of the rated power. Other data support the conclusion that the thermal capability of the insulation of motors of this type is in most cases far from being utilized in service. This is corroborated by an investigation of the insulation of motors which had suffered failure: there were no signs of thermal ageing. The author questions the relevance, for evaluating the intended performance of motor LV insulation systems, of tests of the Motorette type, as answering the wrong questions. Instead, he recommends a dynamic reversal test at service temperature.

- 87-13 *Accelerated environmental testing of composites*, by P. R. Ciricioli *et al.* J. Composite Materials Vol. 21, pp. 225...242.

Presents a procedure which yields the test conditions required to achieve a desired moisture content in the shortest time. This is achieved by a two-step procedure: a certain time at 100 % RH followed by exposure to an atmosphere with the aimed-at RH, until the specimens attain constant mass. Charts are presented from which the appropriate test conditions can be determined. An illustrating example is given. Tests to assess the validity and accuracy of the method produce data demonstrating that the moisture contents and the mechanical properties of a certain Fiberite fabric are nearly the same after regular and accelerated environmental conditioning, which require 60 to 70 and 30 to 35 days, respectively.

- 87-14 *Study of the dielectric properties of cables for downhole pumps*, by N. M. Levy. IEEE Proc. Pt.C Vol. 134 No. 1, p. 4997C.

An accelerated life test programme to compare the insulation properties of electric cables for downhole oil pumps in offshore installations is described. The insulations tested were

en mer. Les isolations essayées sont en EPR, PTFE, EPDM et PVDF. Des échantillons de câble ont été immergés dans de l'eau salée à 95 °C et soumis à des cycles d'enclenchement à 6 kV en courant alternatif ($5 \times U_n$) de 20 s et de déclenchement de 5 s. On a déterminé le courant de fuite continu et alternatif par rapport à la tension, les pertes diélectriques par rapport à la tension et la tension de claquage. Différents critères fournissent différents classements des matériaux, mais l'isolation EPR s'est montrée la meilleure sur l'ensemble des essais.

- 87-15 *Long-term behavior of XLPE insulated cable models*, par G. C. Montanari, G. Pattini, L. Simoni. IEEE Trans. Power Delivery vol. PWRD-2, pp. 596...602.

Un essai avec des cycles de contraintes électriques, thermiques et combinées a été effectué sur des modèles de câbles isolés PE-X en utilisant une méthode d'analyse combinée de résultats expérimentaux développée en laboratoire. Des résultats, on tire des valeurs de contrainte admissible.

1986

- 86-01 *A contribution to the investigation of aging mechanisms in XLPE cables*, par A. Motori, F. Sandrolini, G.C. Montanari, L. Gherardi. ISEI Paper 86CH2196-4, 5 pp.

Des modèles de câbles exposés au vieillissement thermique et électrique pour différentes durées ont été examinés en ce qui concerne les propriétés physiques, électriques, chimiques et structurelles. On a noté des changements dans la densité et la structure polymérique menant au développement de microfractures. La rigidité diélectrique résiduelle dépend de la densité et de la morphologie.

- 86-02 *Latest developments and experience with composite longrod insulators*, par H. J. Voss et al. CIGRÉ 1986, Report 15-09, 12 pp.

On relate les nouveaux développements, essais et expérience depuis un précédent rapport en 1980. Le problème de rupture fragile qui avait alors été relaté est maintenant essentiellement résolu. Des méthodes d'essai sont proposées. On discute des résultats récents sur le comportement en surface des revêtements polymériques. Les applications futures pour les lignes à HT continue ou à THT alternative sont prometteuses.

- 86-03 *Ageing of composite insulators caused par service and simulated service conditions*, par C. de Turreil, P. Bourdon, J. Lantaigne. CIGRE 1986, Report 15-01, 11 pp.

Des éprouvettes de quatre matériaux polymériques avec charges minérales utilisés pour la fabrication des ailettes du revêtement d'isolateurs composites à HT ont été vieilles à l'extérieur et en laboratoire. Des mesures physiques, électriques et mécaniques ont été utilisées pour diagnostiquer les changements dans les caractéristiques des matériaux provoqués par le vieillissement. Les résultats montrent que le vieillissement en laboratoire simule bien le vieillissement à l'extérieur et qu'il est possible de déterminer les facteurs d'accélération relatifs aux deux méthodes de vieillissement. Par ailleurs, des isolateurs composites ont été soumis à des essais de traction. Les résultats montrent que leurs caractéristiques initiales et leurs caractéristiques dépendant du temps sont bonnes. Les performances mécaniques des isolateurs composites sont fonction de leur conception et sont influencées par la température.

EPR, PTFE, EPDM and PVDF. Cable samples were immersed in 95 °C salt water and subjected to cyclic switching of 6 kV a.c. ($5 \times U_n$) - 20 s on, 5 s off. A.C. and d.c. leakage current versus voltage, dielectric loss versus voltage, and BD voltage were determined. Different criteria produced different rankings of the materials, but EPR insulation was singled out to be best over the tests as a whole.

- 87-15 *Long-term behavior of XLPE insulated cable models*, by G. C. Montanari, G. Pattini, L. Simoni. IEEE Trans. Power Delivery Vol. PWRD-2, pp. 596...602.

A test with cycles of electrical, thermal and combined stresses has been performed on models of XLPE insulated cables applying a method of combined analysis of experimental data developed in the laboratory. From the results, values of safe design stresses are derived.

1986

- 86-01 *A contribution to the investigation of aging mechanisms in XLPE cables*, by A. Motori, F. Sandrolini, G. C. Montanari, L. Gherardi. ISEI Paper 86CH2196-4, 5 pp.

Cable models exposed to thermal and electrical ageing for different times were examined with regard to physical, electrical, chemical and structural properties. Changes of density and polymer structure resulting in the growth of microcracks were noted. The residual electric strength shows dependence on density and morphology.

- 86-02 *Latest developments and experience with composite longrod insulators*, by H. J. Voss et al. CIGRÉ 1986, Report 15-09, 12 pp.

Reports further development, tests and experience since a previous report in 1980. The problem of brittle fracture which was then reported is now essentially solved. Test methods are proposed. Recent results regarding the surface behaviour of polymer sheds are discussed. Future applications in HVDC and HVAC transmission are promising.

- 86-03 *Ageing of composite insulators caused by service and simulated service conditions*, by C. de Turreil, P. Bourdon, J. Lanteigne. CIGRE 1986, Report 15-01, 11 pp.

Specimens of four mineral filled polymeric materials used to make the weathersheds of HV composite insulators were aged outdoors and in the laboratory. Physical, electrical and mechanical measurements were used as diagnostic tests to evaluate the changes in the materials' characteristics caused by ageing. Results show that the laboratory ageing simulates well the outdoor ageing and that it is possible to determine the acceleration factors relating to the two ageing procedures. Composite insulators were also subjected to tensile mechanical loads. Results show that their initial and time-dependent characteristics are good. The mechanical performance of composite insulators is specific to their design and is influenced by temperature.

- 86-04 *Factors affecting the electric strength of XLPE cable insulation*, par M. A. Simmons, P. S. Gale. 5th BEAMA, pp. 38...42.

C'est une étude sur la possibilité d'obtenir des paramètres de Weibull à partir d'essais de laboratoire à petite échelle pour estimer la rigidité de câbles HT en grandeur naturelle. La dynamique de la diffusion de traces de produits chimiques provenant du processus de réticulation en fonction des dimensions de l'éprouvette est également prise en compte. La méthode proposée est encore expérimentale.

- 86-05 *The influence of moisture on the dielectric strength and ageing of oil-paper insulation*, par V. Jaakkola et al. 5th BEAMA, Report No. 8, 10 pp.

Le but de cette étude expérimentale était de trouver des critères mieux définis sur le degré d'humidité de l'isolation de transformateur aux fins d'AQ et de diagnostic à la fois. La rigidité de choc n'a pas été affectée notablement par l'humidité, par contraste avec la rigidité en tension alternative industrielle. Les contraintes maximales admissibles peuvent tolérer environ 5 % d'humidité. La formation de bulles est à court terme l'effet le plus critique de l'humidité. En plus des effets sur la rigidité diélectrique, l'humidité affecte également la vitesse de vieillissement de l'isolation papier. Une réduction de 1 % correspond à un abaissement de température de 78 K.

- 86-06 *Effects of ice coating on the AC performance of medium voltage insulators*, par K. Kannus, E. Lakervi, V. Verkkonen. Nord-ES 86 Report No. 1, 11 pp.

La performance des isolateurs dans des conditions de pluie verglaçante dépend de la forme de l'isolateur et des paramètres de la pluie, en particulier de la résistivité de l'eau. Plus élevé est le rapport de la distance d'arc sec au rayon de l'isolateur, meilleure est la performance de l'isolateur.

- 86-07 *The effects of frequency and temperature on water tree degradation of miniature XLPE cables*, par A. T. Bulinski, S. S. Bamji, R. J. Densley. TEI vol. EI-21, pp. 645...650.

Des modèles de câbles immergés dans l'eau ont été exposés à HT à 60 Hz, 400 Hz et 1 000 Hz. On a déterminé les temps jusqu'au claquage et les tensions de claquage résiduelles alternatives par rampes après les temps de vieillissement prédéterminés. Les effets des cycles de température ont été étudiés. On a constaté que l'essai de tension alternative par rampes était un bon indicateur de la sévérité de la dégradation par arborescences aqueuses à la température ambiante, sauf dans le cas de cycles thermiques. Les cycles thermiques sur les câbles produisent un nombre croissant et une longueur croissante des arborescences en noeud papillon et réduisent le nombre des arborescences ouvertes, par comparaison au vieillissement à la température ambiante. Les causes possibles des différents mécanismes sont discutées sur la base d'études morphologiques d'échantillons vieillis.

- 86-08 *Multi-factor aging of insulation systems - infinite sequential stressing method*, par Y. Kako. TEI vol. EI-21, pp. 913...917.

En substituant un vieillissement à contraintes séquentielles au vieillissement multifactoriel simultané, les interactions entre les facteurs d'influence peuvent être exprimées dans chaque équation expérimentale pour un vieillissement à un seul facteur comme un changement des coefficients avec le temps de vieillissement. Ainsi, lorsque toutes les

- 86-04 *Factors affecting the electric strength of XLPE cable insulation*, by M. A. Simmons, P. S. Gale. 5th BEAMA, pp. 38...42.

A study of the possibility of obtaining Weibull parameters from small-scale laboratory tests for estimating the strength of full-size HV cables. The dynamics of the diffusion of trace quantities of chemicals from the cross-linking process as a function of sample dimensions is also taken into account. The proposed method is still tentative.

- 86-05 *The influence of moisture on the dielectric strength and ageing of oil-paper insulation*, by V. Jaakkola *et al.* 5th BEAMA, Report No. 8, 10 pp.

The aim of this experimental study was to find better defined criteria for the moisture level of transformer insulation for both QA and diagnostic purposes. The impulse strength was not noticeably affected by moisture, in contrast to the a.c. power voltage strength. Maximum design stresses would tolerate ca 5 % of moisture. Bubble formation is the most critical short-term effect of moisture. In addition to the effects on dielectric strength, moisture also affects the ageing rate of the paper insulation. A 1% reduction corresponds to the temperature being lowered by 78 K.

- 86-06 *Effects of ice coating on the a.c. performance of medium voltage insulators*, by K. Kannus, E. Lakervi, V. Verkkonen. Nord-IS 86 Report No. 1, 11 pp.

The performance of insulators in freezing rain conditions depends on the shape of the insulator and the rain parameters, particularly the resistivity of the water. The higher the ratio of the dry arcing distance to the insulator radius, the better the insulator tends to perform.

- 86-07 *The effects of frequency and temperature on water tree degradation of miniature XLPE cables*, by A. T. Bulinski, S. S. Bamji, R. J. Densley. TEI Vol. EI-21, pp. 645...650.

Water immersed cable models were exposed to HV at 60 Hz, 400 Hz and 1 000 Hz. Times to breakdown, and a.c. ramp residual breakdown voltages after preset times of ageing, were determined. The effects of temperature cycling were investigated. The a.c. ramp voltage test was found to be a good indicator of the severity of water-tree degradation at room temperature but not in the case of thermal cycling. Temperature cycling of the cables resulted in increased number and length of bow-tie trees but reduced the number of vented trees, as compared to room-temperature ageing. Possible causes of the different mechanisms are discussed on the evidence of morphology studies on aged samples.

- 86-08 *Multi-factor aging of insulation systems - infinite sequential stressing method*, by Y. Kako. TEI Vol. EI-21, pp. 913...917.

In substituting sequential stress ageing for simultaneous multi-factor ageing, the interactions between the factors of influence should be expressed in each experimental equation for single-factor ageing as a change of the coefficients with the time of ageing. Then, if all single-factor ageing characteristics can be confirmed experimentally, the

caractéristiques de vieillissement à un seul facteur peuvent être confirmées expérimentalement, l'équation caractéristique pour un vieillissement multifactoriel peut être déduite comme celle pour un vieillissement à contraintes séquentielles infinies. Pour des systèmes d'isolation mica-époxyde, puisque l'exposant de la loi en puissance inverse et la vitesse de vieillissement thermique restent habituellement constants, on peut déduire une équation caractéristique sous forme analytique. - Le vieillissement mécanique de systèmes mica-époxyde dû à des fléchissements répétés peut être considéré comme une combinaison d'un vieillissement thermique uniforme et d'un vieillissement local sous tension. Le vieillissement combiné thermique, mécanique et sous tension peut être simulé par un vieillissement séquentiel infini thermique, sous tension, mécanique uniforme et mécanique local.

86-09 *Radiation effects on polymers*, par Y. Ohki. TEI vol. EI-21, pp. 919...922.

Revue des études du vieillissement par rayonnement dans plusieurs universités japonaises et instituts nationaux de recherche. Les projets, les résultats et les activités d'un Comité d'études IEEJ sont mentionnés.

1985

85-01 *Assessment of HV-stator winding insulation par endurance tests*, par H. Meyer, F. J. Pollmeier, J. Risse. ETG Fachberichte No. 16 Paper 2.02, pp. 49...53 (DE).

Un système d'isolation modifié pour stator HT a été évalué par des essais fonctionnels comparatifs avec le système original comme référence. Des contraintes séquentielles mécaniques et électriques ont été appliquées. Les courbes temps-tension d'éprouvettes vieillies thermiquement étaient passablement plus faibles que pour des éprouvettes non vieillies.

85-02 *Influence of service stresses on the life of HV turbine generator insulation*, par A. Wichmann, P. Grünewald, J. Weidner. ETG Fachberichte No. 16 Paper No. 2.01, pp. 44...48 (DE).

Des systèmes d'isolation micacés imprégnés de résine pour enroulements statoriques de grands turbo-alternateurs ont été évalués grâce à des essais fonctionnels où des éprouvettes étaient soumises à un vieillissement dû à des contraintes thermiques, électriques et mécaniques et à une atmosphère d'hydrogène. On a prouvé que la contrainte mécanique était le facteur dominant mais même les conditions les plus extrêmes donnaient encore des durées de vie qui, aux contraintes de fonctionnement, fournissaient une marge de sécurité.

85-03 *On the estimation of life of power apparatus insulation under combined electrical and thermal stress*, par T. S. Ramu. TEI Vol. EI-20, pp. 70...78.

On relate des essais fonctionnels de modèles d'enroulement de machines HT, avec accélération et censure modèle II. On postule un modèle de vieillissement en loi de puissance, avec des paramètres dépendant de la température. Ces paramètres et leur variabilité statistique ont été évalués.

85-04 *Life prediction for cable insulation material based on Weibull accelerated testing without failures*, par R. E. Thomas, TEI Vol. EI-20 pp. 79...82.

On décrit une méthode statistique d'essai pour la conception d'essais accélérés de durée de vie, lors desquels peu ou pas de claquages sont permis. En postulant que la loi de

characteristic equation for multi-factor ageing can be derived as that for infinite sequential stress ageing. For mica-epoxy insulation systems, since the exponent of the inverse-power law and the thermal ageing rate usually remain constant, a characteristic equation in analytic form may be derived. Mechanical ageing of mica-epoxy systems due to repeated bending can be considered as a combination of uniform thermal ageing and local voltage ageing. Combined thermal, voltage and mechanical ageing can be simulated by infinite sequential thermal, voltage, uniform mechanical and local mechanical ageing.

86-09 *Radiation effects on polymers*, by Y. Ohki. TEI Vol. EI-21, pp. 919...922.

Reviews radiation ageing studies at several Japanese universities and by national research institutes. Projects, results, and activities of an IEEJ Investigation Committee are mentioned.

1985

85-01 *Assessment of HV-stator winding insulation by endurance tests*, by H. Meyer, F. J. Pollmeier, J. Risse. ETG Fachberichte No.16 Paper 2.02, pp. 49...53 (DE).

A modified HV stator insulation system was evaluated by comparative functional tests with the original system as the reference. Sequential thermal and electrical stresses were applied. Voltage/time curves of thermally aged specimens were somewhat lower than for unaged specimens.

85-02 *Influence of service stresses on the life of HV turbine generator insulation*, by A. Wichmann, P. Grünwald, J. Weidner. ETG Fachberichte No.16 Paper No. 2.01, pp. 44...48 (DE).

Resin-impregnated micaceous insulation systems for the stator windings of large turbine generators have been evaluated through functional tests where specimens were subjected to ageing due to thermal, electrical and mechanical stresses and hydrogen atmosphere. Mechanical stress was demonstrated to be the dominant factor, but even the most extreme conditions still resulted in lives which, at operating stresses, provide for a safe margin.

85-03 *On the estimation of life of power apparatus insulation under combined electrical and thermal stress*, by T. S. Ramu. TEI Vol. EI-20, pp. 70...78.

Functional tests of model HV machine coils, with acceleration and Model II censoring, are reported. A power-law model for ageing, with temperature dependent parameters, was assumed. These parameters and their statistical variability have been evaluated.

85-04 *Life prediction for cable insulation material based on Weibull accelerated testing without failures*, by R. E. Thomas. TEI Vol. EI-20, pp. 79...82.

Describes a statistical testing method of designing accelerated life tests in which few, if any, breakdowns are allowed. Assuming that the Weibull distribution applies, the approach

Weibull s'applique, cette approche fournit un rapport numérique du nombre d'essais requis pour déduire la véracité d'extrapolations des conditions accélérées aux conditions normales, fournissant ainsi une mesure du coût sur le bénéfice pour des scénarios spécifiques d'essai.

- 85-05 *Behavior of HV machine insulation system in the presence of thermal and electrical stresses*, par S. Rengarajan, M. D. Agarwal, R. S. Nema. TEI Vol. EI-20, pp. 104...110.

Les résultats d'un programme approfondi d'essais montrent l'existence de synergies au-dessus d'une certaine température. La vitesse de dégradation et le temps jusqu'à défaillance dépendent des valeurs relatives des contraintes de température et de tension. En dessous du niveau critique de température, les caractéristiques du matériau sont dominantes. Au-dessus de ce niveau, d'autres mécanismes complexes entrent en jeu. La température prédominante de bobine a alors un rôle significatif dans la dégradation et la défaillance ultime.

- 85-06 *An analysis of multistress degradation of mica-epoxy insulating systems by sequential stress application method*, par Y. Kako, K. Kadotani, Y. Higashimura. EEJ vol. 105, pp. 37...44.

Des résultats publiés précédemment sur des essais de vieillissement multifactoriels de systèmes d'isolation de machine HT sont réexaminés à la lumière de la CEI 792-1, le Guide multifacteur. Les résultats expérimentaux ainsi qu'un nouveau développement d'approches théoriques sont présentés.

- 85-07 *Voltage life characteristics of epoxy micaceous insulation systems under flexural stress*, par H. Mitsui, K. Yoshida, H. Yoshida, EEJ vol. 105, pp. 49...57.

On relate la durée de vie sous tension de modèles de bobines avec différents systèmes d'isolation sous fléchissement mécanique. Des systèmes avec des clivures de mica ou du mat, respectivement, montrent un comportement différent. Le développement de la dégradation est décrit et discuté. Les essais non destructifs conventionnels (basculé du facteur de dissipation, etc.) ne correspondent pas au progrès de cette forme de vieillissement, contrairement au diagnostic proposé par les auteurs. Une expression analytique pour la durée de vie sous tension sous contrainte de fléchissement est proposée.

- 85-08 *Degradation characteristics due to mechanical fatigue of epoxy micaceous insulations*, par H. Mitsui, K. Yoshida, T. Ishizaka, H. Yoshida. EEJ vol. 105, pp. 1...8.

Les auteurs ont étudié la dégradation due à la fatigue mécanique d'une isolation mica-époxyde de machine HT. Des essais de fatigue en tension et compression ont été effectués sur des éprouvettes découpées dans l'isolation d'encoche de bobines d'alternateur. Des essais de fléchissement répétés ont été effectués sur des modèles de bobine, ainsi que des cycles thermiques sur des bobines réelles. On a trouvé que la fatigue en compression dépassait la fatigue en tension. La fatigue atteint un maximum dans la gamme de températures où le module élastique change rapidement. En pratique, un recuit peut améliorer la résistance à la fatigue. On conclut que des essais de fatigue relativement simples sur des petites parties sont précieux pour évaluer l'endurance mécanique de l'isolation de machines H T.

provides a numerical relationship for the number of tests required to infer the reliability of extrapolations from accelerated to normal conditions, thus providing a cost/benefit measure for specific test scenarios.

- 85-05 *Behavior of HV machine insulation system in the presence of thermal and electrical stresses*, by S. Rengarajan, M. D. Agarwal, R. S. Nema. TEI Vol. EI-20, pp. 104...110.

The findings from an extensive test programme show the existence of synergisms above a certain temperature. The degradation rate and time to failure depend on the relative values of temperature and voltage stress. Below the critical temperature level, material characteristics dominate. Above this level, other, complex mechanisms come into play. The prevailing coil temperature then has a significant role for the degradation and ultimate failure.

- 85-06 *An analysis of multistress degradation of mica-epoxy insulating systems by sequential stress application method*, by Y. Kako, K. Kadotani, Y. Higashimura. EEJ Vol. 105, pp. 37...44.

Previously published results of the multi-factor ageing testing of HV machine insulation systems are re-examined in the light of IEC 792-1, the Multi-factor Guide. Both experimental findings and a further development of theoretical approaches are presented.

- 85-07 *Voltage life characteristics of epoxy micaceous insulation systems under flexural stress*, by H. Mitsui, K. Yoshida, H. Yoshida. EEJ Vol. 105, pp. 49...57.

Reports the voltage life of model coils with several insulation systems under mechanical bending. Systems with mica splittings or mat, respectively, showed different behaviour. The development of the degradation is described and discussed. The conventional non-destructive tests (dissipation factor tip-up, etc.) do not correlate with the progress of this form of ageing, but a diagnostic proposed by the author does. An analytical expression for the voltage life under bending stress is proposed.

- 85-08 *Degradation characteristics due to mechanical fatigue of epoxy micaceous insulations*, by H. Mitsui, K. Yoshida, T. Ishizaka, H. Yoshida. EEJ Vol. 105, pp. 1...8.

Degradation due to mechanical fatigue of epoxy-mica HV machine insulation has been investigated. Tensile and compressive fatigue tests using specimens cut from the slot insulation of generator coils have been performed. Repeated bending tests were performed on coil models, and thermal cycling on actual coils. Compressive fatigue was found to exceed tension fatigue. The fatigue reaches a maximum in the temperature range where the elastic modulus changes rapidly. In practice, post-curing may improve fatigue resistance. It is concluded that relatively simple fatigue tests on small test pieces are valuable to evaluate the mechanical endurance of HV machine insulation.

- 85-09 *Analysis of residual breakdown voltage versus aging time with cyclic bending stress for windings*, par T. Hakamada, Y. Kashiwamura, M. Takamura. EEJ vol. 105, pp. 17...24.

On présente une analyse de l'influence du vieillissement dû au fléchissement cyclique sur la tension de claquage de l'isolation de l'enroulement de moteurs d'induction et une méthode de prévision de la tension de claquage et de la durée de vie résiduelles. Le vieillissement mécanique et le vieillissement thermique sont pris en compte. On a trouvé que des essais fonctionnels séquentiels produisaient une interaction.

- 85-10 *Atmospheric deterioration of technological materials. A techno-climatic atlas. Part. A: Africa*, par Miroslav Rychtera, D.Sc., Elsevier Science Publishing Co., Amsterdam, and Academia, Prague, 1985. 225 pp.

C'est une synthèse sur plus de 30 ans de travail approfondi par l'auteur et son équipe de scientifiques, dans leur laboratoire et dans des stations d'essais climatiques dans de nombreuses parties du monde. Elle suit et complète la synthèse précédente bien connue *Détérioration du matériel électrique* (1970).

Les nombreuses données rassemblées sur le terrain et dans le laboratoire sont organisées pour fournir un support pour l'application de la méthode de calcul de l'auteur pour déduire des prédictions de durée de vie de service pour un matériel et ses parties, à partir de données d'exposition en contrainte dynamique sur le site de l'installation, particulièrement de statistiques météorologiques.

En général, l'essentiel de la méthode consiste à établir la dynamique de la dégradation en fonction de la contrainte, pour chacun des facteurs d'influence. De tous les facteurs agissant en service, le facteur critique est alors identifié. La variation de cette contrainte avec le temps sur le site de l'installation est alors établie et la dynamique de l'exposition réelle est simulée par une représentation simplifiée (certaines données représentatives ou extrêmes au lieu des données complètes). Avec ces entrées – le modèle d'exposition et le modèle de dégradation – la détérioration de l'objet à l'étude est alors calculée. La méthode fait un usage approfondi de la normalisation des caractéristiques dimensionnelles, et de l'expression des résultats en termes de temps d'exposition à des essais normalisés de vieillissement en laboratoire à contrainte(s) constante(s).

Cette revue détaillée est motivée par les nombreuses publications de l'école Rychtera. Elles présentent souvent des résultats obtenus par leur «méthode chronologique» sans plus grande explication. La première partie de ce livre comble ce vide. Après cela, on donne une classification des matériaux en termes de la dynamique de leur dégradation sous l'action de contraintes particulières, pour chacun des mécanismes d'absorption, de désorption, de dégradation microbiologique et de corrosion de divers métaux. Pour le vieillissement thermique, on admet le modèle d'Arrhénius. On catalogue la classification, en ces termes, d'un grand nombre de polymères et d'autres matériaux. La principale partie du livre, finalement, présente des cartes de l'Afrique avec des courbes de sévérité égale de dégradation pour diverses contraintes et diverses classes de matériaux. Ces cartes sont très précieuses pour la conception et la sélection de matériels électriques à installer en différents sites en Afrique, mais en plus, pense-t-on, elles fournissent une excellente illustration des possibilités de l'approche Rychtera pour la conception climatique et environnementale de l'isolation et du matériel électriques dans d'autres parties du monde, à la fois industriel et en développement. D'autres parties de l'atlas doivent suivre.

- 85-09 *Analysis of residual breakdown voltage versus aging time with cyclic bending stress for windings*, by T. Hakamada, Y. Kashiwamura, M. Takamura. EEJ Vol. 105, pp. 17...24.

Presents an analysis of influence of ageing due to cyclic bending on BDV of induction motor winding insulation and a forecasting method for residual BDV or life. Mechanical and thermal ageing are taken into account. Sequential functional tests have been found to produce interaction.

- 85-10 *Atmospheric deterioration of technological materials. A techno-climatic atlas. Part A: Africa*, by Miroslav Rychtera, D.Sc., Elsevier Science Publishing Co., Amsterdam, and Academia, Prague, 1985, 225 pp.

A synthesis of over 30 years of extensive work by the author and his team of scientists, in their laboratory and at climatic testing stations in many parts of the world. It follows up and supplements his earlier, well-known *Deterioration of electrical equipment* (1970).

The vast body of data collected in the field and in the laboratory is organized to provide material for the application of the author's computational method for the purpose of deriving service life predictions for equipment or parts thereof, from dynamical stress exposure data at the installation site, notably meteorological statistics.

Very roughly speaking, the essence of the method consists in establishing the dynamics of degradation as a function of stress, for each of several factors of influence. Of all factors acting in service, the critical one is then identified. The variation of this stress with time at the installation site is then established, and the real exposure dynamics is simulated by a simplified representation (certain representative or extreme data instead of the complete data). With these inputs – the exposure model and the degradation model – the deterioration of the object under investigation is then calculated. The method makes extensive use of normalization to dimensionless characteristics, and to the expression of results in terms of exposure time to standardized laboratory ageing tests at constant stress(-es).

This detailed review is motivated because of the many publications by the Rychtera school. They often present results obtained by their "chronological method" without closer explanation. The first part of the book fills this gap. After this, a classification of materials in terms of the dynamics of their degradation under the action of particular stresses is given, for each of the mechanisms of sorption, desorption, microbiological degradation, and corrosion of various metals. For thermal ageing the Arrhenius model is accepted. The classification, in these terms, of a large number of polymers and other EI materials is tabulated. The main body of the book, finally, presents maps of Africa with curves of equal degradation severity for various stresses and classes of materials. In addition to being of high value to the design or selection of electrical equipment to be installed at various sites in Africa, these maps, it is believed, also provide an excellent illustration of the potentialities of Rychtera's approach for the climatic and environmental design of electrical insulation and equipment in other parts of the world, both developing and industrial. Other parts of the Atlas are to follow.

- 85-11 *Long-term mechanical properties of HV composite insulators*, par C. de Turreil, R. Roberge, P. Bourdon. IEEE PES Winter Power Mtg., Paper No. 192, 4 pp.

On présente les résultats de trois ans d'évaluation à long terme de trois conceptions d'isolateurs de suspension sous charge d'extension uniaxiale et à des températures allant de -25 °C à +100 °C. L'extrapolation des temps jusqu'à rupture indique que les trois conceptions supporteraient les charges journalières prévues, mais la pente du temps jusqu'à rupture en fonction de la charge en coordonnées semilog varie de 12 kN à 25 kN par décade de temps, selon la conception de l'isolateur.

- 85-12 *Specific performance of solid EI materials under different stresses (thermal, electric, radiation). Summary of present knowledge and standardization*, par B. Fallou. Bull. RGE 1985 No 10, pp. 756...768 (FR).

Cet article général traite de l'endurance des MIE et de leurs essais, ainsi que de leur inflammabilité et de leur résistance au feu. Les développements modernes dans ce domaine sont passés en revue en insistant sur les applications de l'instrumentation analytique pour l'estimation rapide de la dégradation du matériau et les problèmes et les techniques d'essais de vieillissement multifactoriels.

- 85-13 *Service aged XLPE cables: Insulation characteristics and breakdown strength*, par M. M. Epstein, L. H. Stember, R. Barnikas, S. Pellissou. Proc. 1986 ISEI 86CH21, 96-4 DEI, pp. 23...27.

On décrit les résultats d'une évaluation approfondie de câbles isolés PE-X vieillis en service en provenance de services de distribution. L'article comprend les propriétés de claquage en tension alternative, l'analyse des caractéristiques thermiques, la morphologie et les produits volatils. On déduit une relation en loi de puissance entre la rigidité de claquage et le contenu en produits volatils.

1984

- 84-01 *The environmental resistance of epoxy resins*, par R. J. Martin. DMMA, pp. 80...83.

L'article présente une revue de l'influence de divers environnements chimiques et du rayonnement sur les époxydes.

- 84-02 *The evaluation of solid dielectric systems for use in high voltage switchgear*, par D. Milne, H. M. Ryan. DMMA, pp. 76...79.

C'est une large revue, dans l'esprit de la CEI 505, des facteurs d'influence, des mécanismes de dégradation et des matériaux pour la gamme appropriée de produits, incluant les GIS. La méthode séquentielle d'évaluation des matériaux et des systèmes est expliquée et illustrée par des exemples, en insistant sur les normes CEI appropriées.

- 84-03 *A preliminary examination of electromechanical failure of insulation in the presence of discharges*, par R. M. Scarisbrick. DMMA, pp. 115...117.

Pendant de nombreuses années, il a été communément admis que les contraintes mécaniques réduisaient la durée de vie sous tension de l'isolation, particulièrement en présence de DP. L'auteur retourne l'argument: se peut-il que la contrainte électrique

- 85-11 *Long-term mechanical properties of HV composite insulators*, by C. de Tourreil, R. Roberge, P. Bourdon. IEEE PES Winter Power Mtg. Paper No. 192, 4 pp.

Results of three years of long-term evaluation of three designs of suspension insulators under uniaxial extension load and temperatures in the range -25°C to $+100^{\circ}\text{C}$ are presented. Extrapolation of the times to rupture indicates that all three designs would withstand the expected daily loadings, but the slope of the time-to-rupture versus load-line on semi-log plot varies from 12 kN to 25 kN per decade of time, depending on the insulator design.

- 85-12 *Specific performance of solid EI materials under different stresses (thermal, electric, radiation). Summary of present knowledge and standardization*, by B. Fallou. Bull. RGE 1985 No. 10, pp. 756...768 (FR).

This tutorial paper deals with EIM endurance and its testing, and with flammability and fire resistance. Modern developments in these fields are reviewed with emphasis on the application of analytical instrumentation for the rapid assessment of material degradation and the problems and techniques of multi-factor ageing testing.

- 85-13 *Service aged XLPE cables: Insulation characteristics and breakdown strength*, by M. M. Epstein, L. H. Stember, R. Bartnikas, S. Pellissou. Proc.1986 ISEI 86CH21, 96-4 DEI, pp. 23...27.

Describes the results of a comprehensive evaluation of service-aged XLPE insulated cables recovered from utility service. Includes a.c. breakdown properties, analysis of thermal characteristics, morphology, and volatiles. A power law relationship between breakdown strength and volatile content is derived.

1984

- 84-01 *The environmental resistance of epoxy resins*, by R. J. Martin. DMMA, pp. 80...83.

The influence of various chemical environments and of radiation on epoxies is reviewed.

- 84-02 *The evaluation of solid dielectric systems for use in high voltage switchgear*, by D. Milne, H. M. Ryan. DMMA, pp. 76...79.

A broad review, in the spirit of IEC 505, of factors of influence, degradation mechanisms and materials for the relevant range of products, including GIS. The sequential procedure of materials and systems evaluation is explained and exemplified, with emphasis on applicable IEC standards.

- 84-03 *A preliminary examination of electromechanical failure of insulation in the presence of discharges*, by R. M. Scarisbrick. DMMA, pp. 115...117

It has been commonly believed for many years that mechanical stress reduces the voltage life of insulation, particularly in the presence of PD. The author reverses the argument: could it be that electrical stress increases the rate of propagation of the cracks which are

accroisse la vitesse de propagation des craquelures qui sont responsables de la défaillance mécanique finale? Des expériences pour fournir des résultats de mécanisme de fracture en donnent une preuve à l'appui.

- 84-04 *Electrofracture mechanics of dielectric aging*, par H. R. Zeller, W. R. Schneider. J. App. Phys. vol. 56, pp. 455...459.

Un concept de vieillissement par fracture mécanique dans les diélectriques solides est présenté. L'élément clé est que la croissance d'une structure endommagée n'est possible que si le dégagement d'énergie électrostatique dû à la croissance dépasse l'énergie de formation de la structure endommagée. Le dégagement d'énergie électrostatique ainsi que l'énergie de formation sont calculés dans des exemples simples.

- 84-05 *General equation for the decline in the electrical strength for combined thermal and electrical stresses*, par L. Simoni. TEI vol. 19, pp. 45...52.

En traitant le vieillissement total comme une quantité cumulative, l'auteur déduit une relation basée sur des hypothèses précédentes incluant un modèle de durée de vie en loi de puissance inverse pour le vieillissement électrique et la relation d'Arrhénius pour le vieillissement thermique, ainsi qu'une nouvelle hypothèse de dépendance linéaire du coefficient d'endurance en tension par rapport à la contrainte thermique. La théorie fournit des résultats en bon accord avec les données expérimentales.

- 84-06 *Mechanisms of deterioration of EI surfaces*, par K. Stimper, W. H. Middelndorf. TEI vol. 19, pp. 314...320.

L'article traite des surfaces d'isolation en contact avec des électrodes métalliques et soumises à la pollution et à la condensation. Des mécanismes de détérioration sont discutés pour servir de guide dans le choix des matériaux et de la conception.

- 84-07 *Effect of contamination on the leakage current of inland desert insulators*, par Abdulaziz El-Suleiman, M. Iqbal Qureshi. TEI vol. 19, pp. 332...339.

Les conditions des déserts intérieurs diffèrent radicalement de celles des déserts côtiers: au premier chef le NaCl est absent. La pollution naturelle sur les isolateurs de lignes à 132 kV est caractérisée chimiquement et simulée dans des essais HT de laboratoire de tension de contournement.

- 84-08 *Degradation of PE par combinaison of irradiation and thermal aging*, par S. Nakamura, F. Murabayashi, G. Sawa, M. Ieda. EEJ vol. 104, pp. 29...36.

L'article relate un essai à plusieurs facteurs pour fournir une information pour des essais de sûreté des câbles pour réacteurs nucléaires. Une irradiation gamma («GI») et un vieillissement thermique («TA») ont été appliqués séparément, séquentiellement et simultanément, et on a déterminé le pic d'absorption IR de groupes carbonyles. On a trouvé que la dégradation par oxydation croissait dans l'ordre suivant: 1. GI; 2. TA, puis GI; 3. GI, puis TA; 4. GI + TA. On en conclut que la différence des vitesses de réaction d'oxydation dépendant de l'ordre de GI et de TA appliqués séquentiellement est due à des produits intermédiaires de réaction. On a déduit des relations empiriques pour la dégradation par oxydation du PE par GI et TA, prenant en compte de telles espèces.

responsible for ultimate mechanical failure? Experiments to provide fracture mechanics data produced positive evidence.

- 84-04 *Electrofracture mechanics of dielectric aging*, by H. R. Zeller, W. R. Schneider. J. App. Phys. Vol. 56, pp. 455...459.

A fracture mechanic concept of ageing in solid dielectrics is introduced. The key element is that growth of a damage structure is only possible if the release of electrostatic energy due to growth exceeds the formation energy of the damage structure. Both the electrostatic energy release and the formation energy are calculated for simple examples.

- 84-05 *General equation for the decline in the electrical strength for combined thermal and electrical stresses*, by L. Simoni. TEI Vol. 19, pp. 45...52.

Derives a relationship by treating the total ageing as a cumulative quantity, based on previous assumptions of an inverse power law life model for electrical ageing and the Arrhenius relationship for thermal ageing, and a new assumption of a linear dependence of the voltage endurance coefficient on thermal stress. The theory yields results in good agreement with experimental data.

- 84-06 *Mechanisms of deterioration of EI surfaces*, by K. Stimper, W. H. Middendorf. TEI Vol. 19, pp. 314...320.

Deals with insulation surfaces in contact with metal electrodes and subject to pollution and condensation. Deterioration mechanisms are discussed to guide in the selection of materials and design.

- 84-07 *Effect of contamination on the leakage current of inland desert insulators*, by Abdulaziz El-Suleiman, M. Iqbal Qureshi. TEI Vol. 19, pp. 332...339.

Inland desert conditions differ radically from those in coastal deserts: NaCl is essentially absent. Natural pollution on 132 kV line isolators is chemically characterized and simulated in HV laboratory tests of voltage flashover.

- 84-08 *Degradation of PE by combination of irradiation and thermal aging*, by S. Nakamura, F. Murabayashi, G. Sawa, M. Ieda. EEJ Vol. 104, pp. 29...36.

Reports a multi-factor test to provide information for safety testing of cables for nuclear reactors. Gamma irradiation ("GI") and thermal ageing ("TA") were applied separately, sequentially and simultaneously, and the alpha IR absorption peak of carbonyl groups was determined. Oxidative degradation was found to increase in the order: 1. GI; 2. TA, then GI; 3. GI, then TA; 4. GI + TA. It is concluded that the difference in oxidative reaction rate depending on the order of GI and TA when sequentially applied, is due to intermediate reaction products. Empirical relationships for oxidative degradation of PE by GI and TA have been derived, taking into account such species.

- 84-09 *Simple comparative test method for evaluation of thermal life of insulation systems and quality of winding processes of induction motors*, par W. Gawuó. Proc. Enviroeffect, CS, pp. 54...62.

On décrit un essai fonctionnel fondé sur les instructions du CE 63 de la CEI (voir CEI 505, etc.). Des stators à enroulement sont soumis à des contraintes thermiques et électriques, à des températures élevées, aux moisissures, à la tension.

1983

- 83-01 *Examination of distribution cables for chemical and physical changes upon aging in the field and laboratory*, par J. F. Johnson et M. T. Shaw. EPRI Report EL-3011.

Des câbles vieillis et non vieillis, prélevés sur le terrain, et des câbles soumis à un vieillissement accéléré en laboratoire, tous isolés avec du PE, ont été étudiés et comparés pour permettre un jugement sur la validité d'essais fonctionnels accélérés de câbles polymériques. On a trouvé quelques différences dans les caractéristiques de vieillissement, par exemple les câbles vieillis sur le terrain présentent peu de changement dans la distribution du poids moléculaire, tandis que les câbles vieillis en laboratoire présentent une perte d'espèces à bas poids moléculaire. D'autres caractéristiques sont semblables; le point de fusion croît et les temps d'induction à l'oxydation décroissent pour les deux types de vieillissement sur le terrain et en laboratoire.

- 83-02 *Experience with miniature-cable terminations made from compounded materials and used under accelerated test conditions*, par G. C. Derringer, M. M. Epstein, G. B. Gaines, J. Stets. Proc. 16th E/EIC, pp. 86...89.

On présente des résultats sur l'échauffement d'extrémités de câbles à base de mélanges semi-conducteurs dans des conditions accélérées d'essais à plusieurs facteurs. On présente des données pour différentes conceptions et différents matériaux, y compris des informations suggérant une forte interaction tension-fréquence.

- 84-09 *Simple comparative test method for evaluation of thermal life of insulation systems and quality of winding processes of induction motors*, by W. Gawuś. Proc. Enviro-effect, CS, pp. 54...62.

Describes a functional test based on the IEC/TC 63 guidelines (see IEC 505, etc.). Wound stators are exposed to thermal-electrical stress, elevated temperature, moisture, voltage.

1983

- 83-01 *Examination of distribution cables for chemical and physical changes upon aging in the field and laboratory*, by J. F. Johnson and M. T. Shaw. EPRI Report EL-3011.

Aged and unaged field-recovered cables and laboratory accelerated aged cables, all insulated with PE, were investigated and compared to enable a judgement of the validity of the accelerated functional testing of polymer cables. Some differences in the ageing characteristics were found, e.g., field aged cables showed little change in molecular weight distribution, while laboratory-aged cables experienced a loss of low molecular weight species. Other characteristics were similar; and oxidative induction times decreased with both field and laboratory ageing.

- 83-02 *Experience with miniature-cable terminations made from compounded materials and used under accelerated test conditions*, by G. C. Derringer, M. M. Epstein, G. B. Gaines, J. Stets. Proc. 16th E/EIC, pp. 86...89.

Presents data on the temperature rise in compounded semiconductor-type terminations under accelerated multi-factor test conditions. Data for different designs and materials are presented, including information suggesting a strong voltage-frequency interaction.