Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 71 (1980)

Heft: 23

Artikel: Evolution des diélectriques destinés aux condensateurs à moyenne et haute tension

Autor: Aguet, M. / Blech, P. / Ianovici, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905320

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Evolution des diélectriques destinés aux condensateurs à moyenne et haute tension

Par M. Aguet, Ph. Blech, M. Ianovici

621.319.4

Suite à des contraintes écologiques provenant de la non-biodégrabilité des imprégnants contenant du chlore utilisés dans les condensateurs à moyenne et haute tension, cet article présente certains aspects de l'état actuel des solutions de remplacement. Ces nouvelles solutions sont évaluées par rapport au diélectrique classique papier-huile. Les résultats obtenus montrent que le comportement des nouveaux produits est équivalent, voire même sensiblement meilleur pour certaines caractéristiques.

Die chlorierten Imprägniermittel der Mittelspannungs- und Hochspannungskondensatoren sind umweltgefährlich, da sie praktisch nicht abbaubar sind. Der Aufsatz behandelt einige Aspekte der heutigen Ersatz-Imprägniermittel. Diese werden mit der klassischen Ölpapier-Isolation verglichen. Die Messresultate zeigen, dass die neuen Imprägniermittel äquivalent sind und zum Teil sogar bessere Eigenschaften aufweisen.

1. Evolution des diélectriques destinés aux condensateurs de puissance

Dès le début de la fabrication industrielle de condensateurs de puissance, le diélectrique utilisé était constitué de plusieurs couches de papier imprégné à l'huile minérale. Ce diélectrique a l'avantage d'être stable dans le temps, mais présente un risque d'inflammabilité. Dans les années 1930, un fabricant américain révolutionna le diélectrique en introduisant sur le marché un nouvel imprégnant, le polychlorobiphényle (PCB), possédant en gros les mêmes qualités que l'huile minérale tout en étant pratiquement ininflammable. Vers la fin des années 1960, une deuxième révolution eut lieu, cette fois par l'introduction d'un nouveau film isolant (polypropylène) caractérisé par des pertes très faibles et une rigidité diélectrique élevée. Associé au papier et imprégné en général au PCB, ce diélectrique composite devait permettre de réaliser des gains volumiques considérables.

En 1966, Jensen [1] mit en évidence la présence de PCB dans des oiseaux de la Baltique. Dès lors des études se sont multipliées pour mesurer la concentration en PCB dans les écosystèmes, rechercher les voies de pénétration de ces produits dans l'environnement naturel, analyser leur bio-accumulation ou déterminer leur bio-dégradation.

La toxicité des PCB sur l'homme et la faune a fait l'objet d'une attention toute particulière de la part des chercheurs. Cette toxicité peut être qualifiée de faible par rapport à d'autres organochlorés. Cependant, un grand nombre d'études qui ont porté sur la toxicité chronique de faibles doses de PCB s'accordent à rendre ces composés responsables de perturbations des mécanismes de reproduction des espèces étudiées. De très faibles concentrations en PCB dans les eaux des lacs peuvent, par ailleurs, entraîner des modifications de la composition du phytoplancton qui accentueraient les problèmes dus à l'eutrophisation des eaux.

Face à l'importance et à la gravité du problème soulevé par la présence des PCB dans l'environnement, des interdictions ou des directives en vue d'une utilisation mieux contrôlée ont été édictées par un certain nombre de pays industrialisés. Ainsi, l'OCDE a décidé en février 1973, de recommander à ses pays membres de s'assurer que les PCB ne soient utilisés que pour des applications industrielles, si possible en circuit fermé. En Suisse, dès 1972, une Ordonnance sur l'interdiction des substances toxiques précisait que «l'emploi des PCB dans les produits destinés au public et à l'artisanat est interdit» [2].

2. Produits d'imprégnation remplaçant les PCB

Pour pallier le problème évoqué, plusieurs fabricants se sont attachés à développer des liquides d'imprégnation dépourvus de toxicité, d'écotoxicité, bio-dégradables et dont les caractéristiques électriques soient proches des PCB [3]. Les produits de base couramment utilisés à ce jour sont montrés au tableau I.

Les films diélectriques pouvant être utilisés dans les condensateurs sont présentés au tableau II.

3. Etude comparative d'isolations

Sur la base du tableau I on retient à titre de comparaison deux produits d'imprégnation présentant un bon compromis entre les caractéristiques électriques et écologiques, le NCB et le Wemcol. Ces produits sont comparés à un produit de base bien connu, le papier-huile.

Claquage rapide sous tension alternative à 50 Hz: Ce test consiste à appliquer à un échantillon de condensateur une tension alternative croissant à la vitesse de 1 kV/s jusqu'au claquage. La figure 1 montre les résultats obtenus sur des lots de 50 échantillons de chaque type, dont le diélectrique de base est le papier. On constate que les imprégnants de remplacement proposés se situent sensiblement dans une fourchette de champs disruptifs comparable à l'huile minérale.

Comportement aux décharges partielles: Des mesures de décharges partielles, en fonction de la contrainte diélectrique appliquée, ont été effectuées sur différents échantillons de type papier-imprégnant. A titre d'exemple, quelques résultats sont présentés à la figure 2. La comparaison montre un comportement très semblable d'un imprégnant à l'autre.

Facteur de pertes diélectriques: L'évolution du facteur de pertes diélectriques en fonction du champ électrique appliqué à des échantillons à diélectrique papier-imprégné est présentée à la figure 3. On constate que les imprégnants de remplacement conduisent à un facteur de pertes pratiquement double que dans le cas de l'huile. Il faut cependant souligner que ces imprégnants sont essentiellement destinés à l'imprégnation de diélectriques mixtes papier-polypropylène, cas dans lequel les pertes globales sont ramenées à un niveau inférieur à $1 \cdot 10^{-3}$.

Essais de choc: Le tableau III présente les valeurs maximales de champ admissible pour des essais de choc (10 ondes positives et 10 ondes négatives). Les essais ont été effectués sur des échantillons de diélectrique mixte (papier-polypropylène)

Comparaison des produits de base utilisés ou envisagés pour l'imprégnation des condensateurs [4...9] Tableau I

Famille chimique	Nom chimique	Nom commercial	Fabricant	Coefficient de bio-dégrabilité (%) *)	Champ d'apparition de gaz E_g (V/µm) **)	Permittivité ε_r	Facteur de pertes diélectriques $\mathrm{tg}\,\delta \times (10^{-3})$
	Huile minérale			41	72	2.21	0.34
Chloro-byphényles	Oxide de phényl monochloré et butylé	Dow Fluid C4	Dow Chemical	23	120	4.21	0.89
	Trichlorobi-phényle	Pyralène Clophen A60	Prodélec Bayer	1		5	25.0
Esthers de synthèse	Néocaprate de Benzyle	NCB	Rhône-Poulenc			3.8	0.1
Hydro-carbures de synthèse	Isopropyl biphényle	Wemcol Tanacol	Westinghouse Tanatex	> 70	144	2.56	0.63
	Phényle-xylyleéthane	Condenser Oil S	Nisseki	> 70	148	2.51	0.1
	80 % phtalate d'éthyle-héxyle, 20 % tri-chlorobenzène	Diélectrol II	General Electric	58	88	4.68	23.4
Hydro-carbures aromatiques synthétiques	Alkyl-naphtalène Alkyldi-phénylétane		Japon			2.5	0.1
	Huile silicone					2.7	5.0

*) Il est considéré que le coefficient de bio-dégrabilité est excellent s'il est supérieur à 60 %
**) Mesure effectuée sur une isolation film polypropylène imprégnée

Caractéristiques électriques principales des films non-imprégnés [10] Tableau II

Nom	Champ disruptif E_d (V/µm)	Permittivité ε_r (–)	Facteur de pertes diélectriques $\mathrm{tg}\,\delta$ (10^{-3})
Polypropylène	5	2,2	0,2
Polyesther	7	3,3	2,0
Polyamide	7	3,5	3,0
Mica	5	7	40,0
Cellulose	5	6	50,0
Polyvinyle	4	9	15,0
Polystyrène	5	2,5	0,3
Polycarbonate	2	2,9	0,3

Valeurs maximales de champ admissible aux essais de choc (V/µm) Tableau III

Type d'onde / Diélectrique	Mixte Wemcol	Papier-huile
Onde de manœuvre 250/2500 µs	190	140
Onde de foudre pleine 1,2/50 µs	265	195
Onde de foudre 1,2/50 µs coupée à 2 µs	290	220

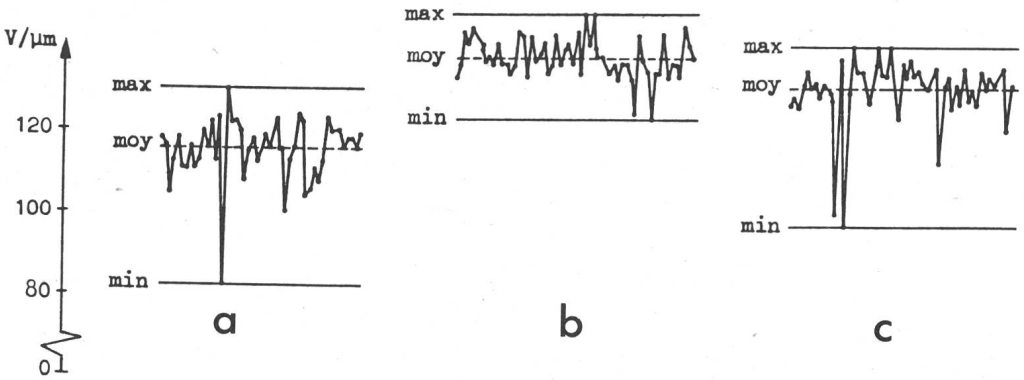

Fig. 1
Tension de claquage rapide sous tension alternative 50 Hz mesurée sur 50 échantillons
a huile
b Wemcol
c NCB

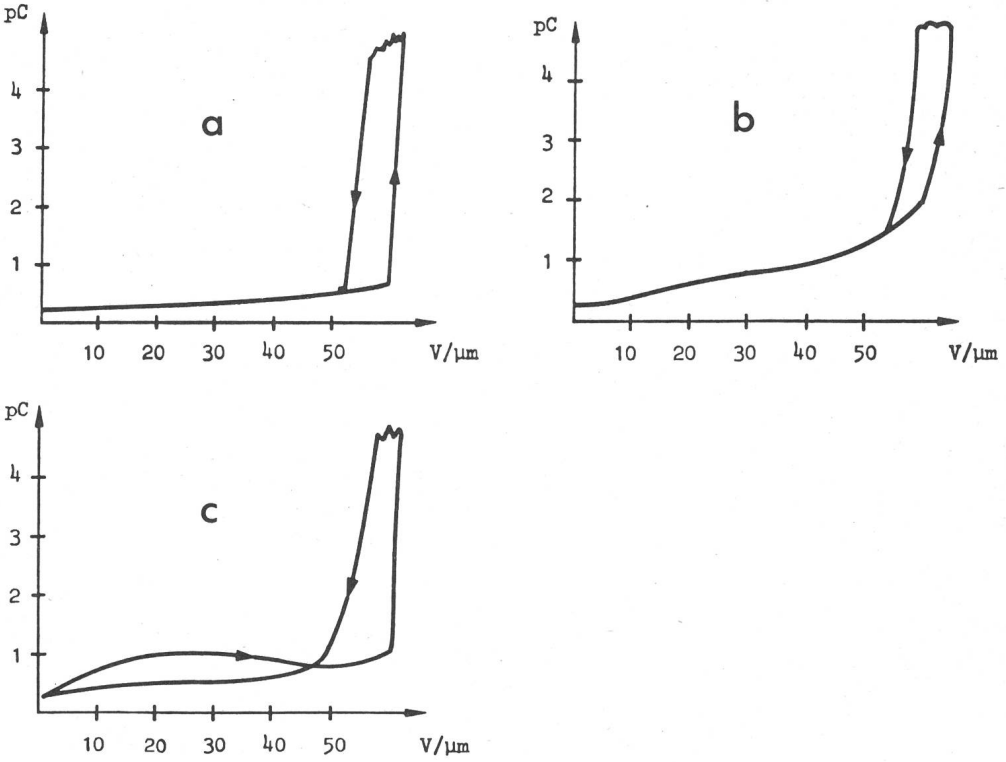

Fig. 2
Niveau de décharges partielles en fonction de la contrainte appliquée à différents échantillons
a diélectrique papier-huile
b diélectrique papier-Wemcol
c diélectrique papier-NCB

imprégnés au Wemcol et papier imprégné à l'huile minérale. L'élévation du champ maximal admissible pour le diélectrique mixte Wemcol permet de compenser l'élévation de coût due à une permittivité diélectrique plus faible et à un prix plus élevé des matériaux.

4. Conclusions

On constate que l'évolution des diélectriques destinés aux condensateurs à moyenne et haute tension a été dirigée jusque vers les années 70 pratiquement uniquement en direction de performances technico-économiques accrues. L'apparition de

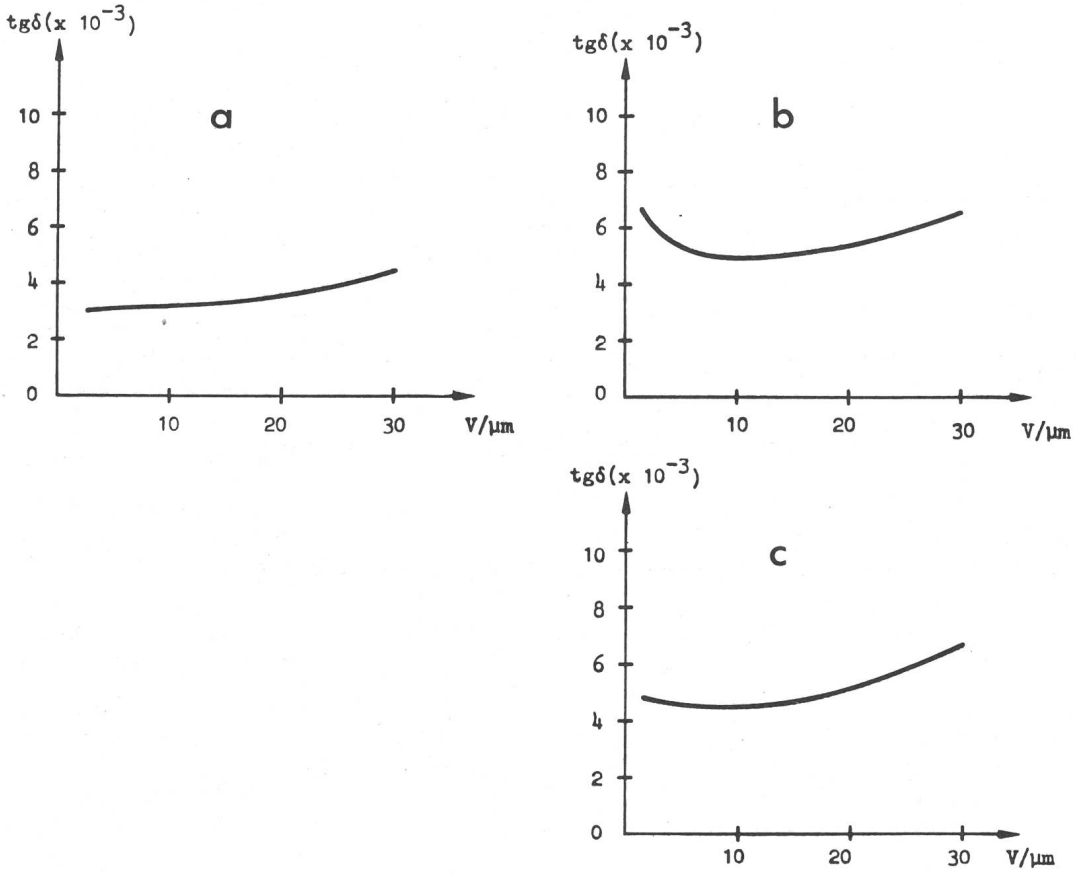

Fig. 3
Facteur de pertes diélectriques en fonction de la contrainte
a diélectrique papier-huile
b diélectrique papier-Wemcol
c diélectrique papier-NCB

contraintes de fiabilité et d'environnement a conduit les fabricants de condensateurs à mettre en œuvre de nouvelles technologies qui jusqu'à ce jour remplissent tous les critères de façon très satisfaisante sauf celui de la sécurité à l'incendie pour laquelle le PCB n'a pas trouvé de remplaçant. Des imprégnants de remplacement bio-dégradables de caractéristiques satisfaisantes existent à l'heure actuelle. Dans l'avenir on se propose de remplacer le diélectrique mixte papier-propylène par du polypropylène imprégné par des remplaçants des PCB. Cette solution, très prometteuse, est rendue possible en substituant au papier jouant le rôle d'absorbant de l'imprégnant (effet de mèche) un polypropylène gaufré possédant des caractéristiques similaires. Il est à noter que cette technologie permettra en outre de diminuer les pertes (< 0,2 W/kvar).

Bibliographie

[1] Report of a new chemical hazard. New Scientist 32(1966)525, p. 612.

[2] *J. Tarradellas:* Introduction au colloque: «Les PCB en Suisse» 25 avril 1980. Lausanne, Ecole Polytechnique Fédérale, Institut du Génie de l'Environnement, 1980.

[3] *P. L. Boyer:* Recherche de solutions aux problèmes posés par l'utilisation des Askarels dans l'appareillage électrique. Bull. ASE/UCS 68(1977)22, p. 1162 à 1166.

[4] *P. Jay* et *G. Schwachhofer:* Un diélectrique entièrement nouveau: le néocaprate de benzyle. Rev. Gén. Electr. 88(1979)3, p. 221...230.

[5] *S. Césari* e.a.: Contribution à l'étude de divers liquides d'imprégnation pour condensateurs de puissance. Rapport CIGRE N° 15–08, 1980.

[6] *Y. Yoshida* e.a.: Evolution du condensateur de puissance résultant du développement de nouveaux matériaux. Rapport CIGRE N° 15.01, 1980.

[7] *Robert Fournié:* Progrès et perspectives d'évolution dans le domaine des isolants utilisés en électrotechnique. Rev. Gén. Electr. 89(1980)5, p. 368...373.

[8] *R. Fournié* et *J. Nedelec:* Le condensateur de puissance (1745...1980). Rev. Gén. Electr. 89(1980) Numéro Spécial CIGRE, p. 115...128.

[9] Westinghouse wemcol capacitor impregnating fluid, tests and data. Pittsburg, Westinghouse Distribution Apparatus Division.

[10] *V. Lica* si *C. Burdulea:* Materiale electroizolante. Bucuresti, Editura Tecnica, 1969.

Adresse des auteurs

Michel Aguet, Ingénieur EPFL-SIA, Chargé de cours EPFL, *Philippe Blech*, Ingénieur EPFL, Laboratoire à haute tension et à haute puissance EPFL, Dr. *Mircea Ianovici*, 1er assistant, Chaire d'installations électriques de l'EPFL, 16, chemin de Bellerive, 1007 Lausanne.