

Untersuchung zum Einsatz der RVM Methode für die Bewertung von Öl-Papier Isolationssystemen.

Giuseppe M. Urbani

Haefely Test AG-Tettex Instruments Division

Dietikon-Schweiz

1. Einleitung

2. Beschreibung des Modells

3. Prüfergebnisse

3.1. Einfluss der Isolationsgeometrie

3.2. Einfluss der Testspannung

3.3. Einfluss der Ölleitfähigkeit

4. Wassergehalt

5. Schlussfolgerungen

6. Anerkennung

7. Literatur

1. Einleitung

Es ist bekannt, dass die physikalische Realität zu komplex ist, um sie zu untersuchen so wie sie ist. Also versucht man diese Realität zu vereinfachen, indem man sie in verschiedene „Fragmente“ aufteilt. Diese „Teile der Realität“ sollten, einerseits voneinander unabhängig, aber andererseits von definierten und messbaren Faktoren abhängig sein. Auf diese Weise werden mathematische Modelle definiert und Theorien entwickelt, die diese Teile der Realität genau beschreiben sollen. Für die Korrektheit dieser Arbeit ist folgendes unvermeidlich:

- Die Limiten und die Bedingungen für die Gültigkeit der Theorien müssen klar definiert sein.
- Alle Theorien, alle mathematischen Modelle sollen durch Experimente, Beobachtungen und Prüfungen bestätigt werden.
- Diese Experimente, Beobachtungen, Prüfungen sollen durch mehrere unabhängige Forscher reproduziert werden.

Die obigen Überlegungen können verwendet werden, um die Lage der RVM Methode (sowie jeder anderen Methode, die auf dem Polarisationsverfahren einer Öl-Papier Isolation basiert) zu beschreiben.

Tettex hat in den Jahren 1993-1994 die RVM Methode mit viel Begeisterung lanciert. In den nachfolgenden Jahren wurden dann von Tettex, Beobachtungen, Erfahrungen, Fragen aus der ganzen Hochspannungswelt gesammelt und registriert. Im Jahr 1998 haben wir selber Veröffentlichungen publiziert (Haefely-Stuttgart Symposium '98 und ICSD '98 in Vasteras-Schweden), die die Aufmerksamkeit auf die möglichen Einflüsse auf die RVM Messergebnissen lenkten.

Schon im Jahr 1997 haben wir uns Gedanken gemacht, die Möglichkeit diese Einflüsse zu untersuchen. Basierend auf einer Idee von EDF (Électricité de France), haben wir den Aufbau eines Isolationsmodells finanziert, das die Untersuchung von verschiedenen Einflüssen ermöglichen soll. Wir haben ausserdem CIGRÉ vorgeschlagen, sich dieser Forschungsarbeit anzuschliessen. Unser Vorschlag wurde von CIGRÉ gerne angenommen. Die Task Force CIGRÉ TF 15.01.09 wurde ins Leben gerufen, um diese Untersuchungen zu leiten und durchzuführen.

Das Modell ermöglicht die Untersuchung von folgenden Einflüssen:

- Geometrie der Isolation
- Höhe der Testspannung
- Ölleitfähigkeit

Ziel ist es, die Abhängigkeit der Prüfergebnisse von den oben aufgelisteten Faktoren zu untersuchen und die Limiten/Bedingungen dieser Abhängigkeit definieren zu können.

In diesem Bericht werden der Aufbau des Isolationsmodells und die bis jetzt vorhandene RVM Resultate präsentiert. Die Prüfungen wurden bei ALSTOM-Vénissieux, Frankreich, und bei Trench Switzerland-Basel durchgeführt.

Messungen von Polarisationsstrom, Kapazität/ $\tan \delta$ in Abhängigkeit der Frequenz sowie Modellberechnungen wurden ebenfalls durchgeführt. Die CIGRÉ TF 15.01.09 wird dann, nach Abschluss des Projektes, die gesamten Resultate publizieren.

Die dargestellten RVM Prüfergebnisse beziehen sich auf den Isolationszustand „Neues Öl/Neues Papier“. Die Untersuchung der restlichen Isolationszustände („Altes Öl/Neues Papier“, „Altes Öl/Altes Papier“, „Neues Öl/Altes Papier“) ist in sukzessiven Schritten vorgesehen.

2. Beschreibung des Modells

Das Modell besteht aus folgenden grundsätzlichen Teilen:

- Ein Kessel, gefüllt mit Isolieröl.
- Platten und zylindrische Stäbe aus Bakelit, um den aktiven Teil zusammen zu halten.
- Zwei Kupferplatten, für eine eindeutige Definition des Erdpotentials.
- Pressspanplatten (trafoboard), 2mm. Je nach Bedarf wurden diese Platten zusammengepresst um 4mm und 10mm Platten zu gewinnen.
- Flachwicklungen (Typ Shell), papierisoliert. Ein Wicklungsverschluss wird für die Verbindung mit der entsprechenden Durchführung angewendet, während der zweite Verschluss im Inneren der Wicklung isoliert bleibt (ohne Aussenverbindung).
- Leisten.
- Durchführungen.

In den Abb. 2.1 bis Abb. 2.6 kann man einige Aufnahmen des Modells sehen.

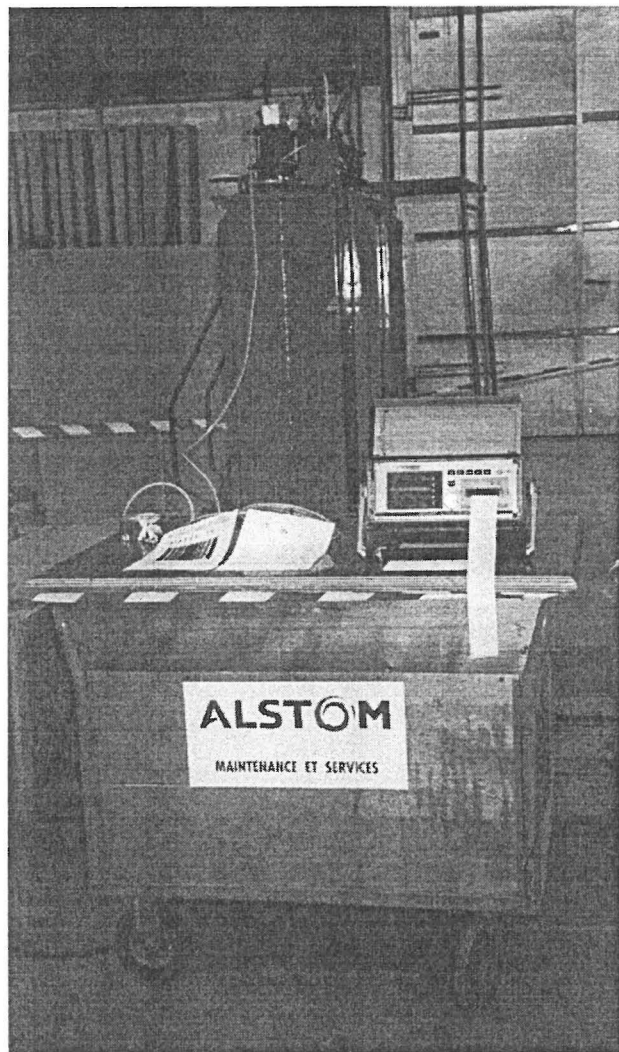


Abb. 2.1: RVM Prüfaufbau bei ALSTOM-Vénissieux. Das Modell befindet sich im Hintergrund



Abb. 2.2: Der angewendete Wicklungsbau.

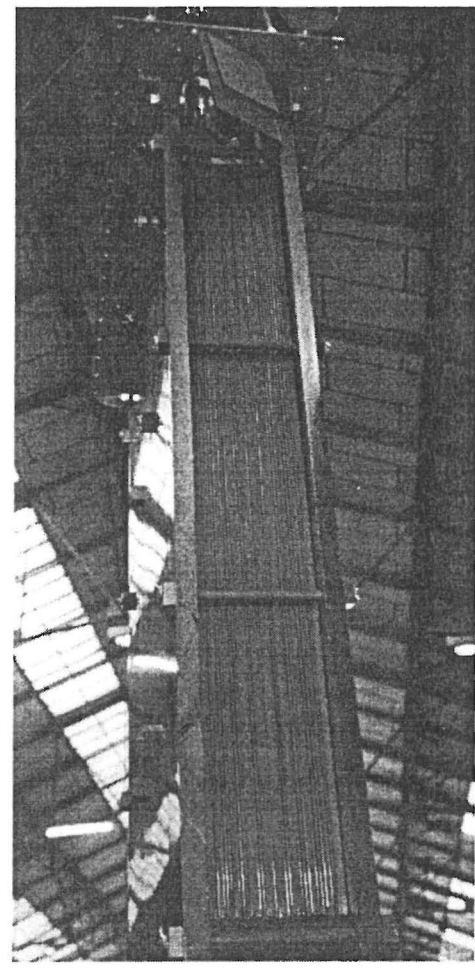


Abb. 2.3: Aktivteil des Modells: Seitenansicht

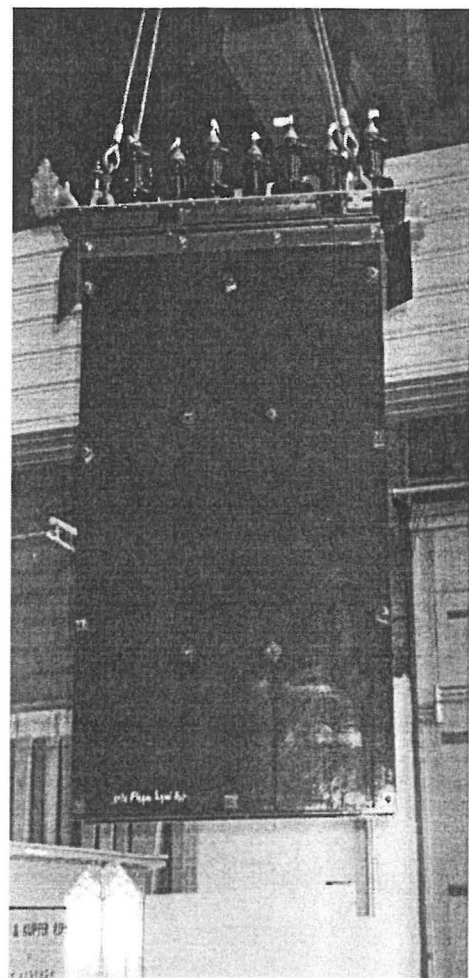


Abb. 2.4: Aktivteil des Modells: Frontansicht

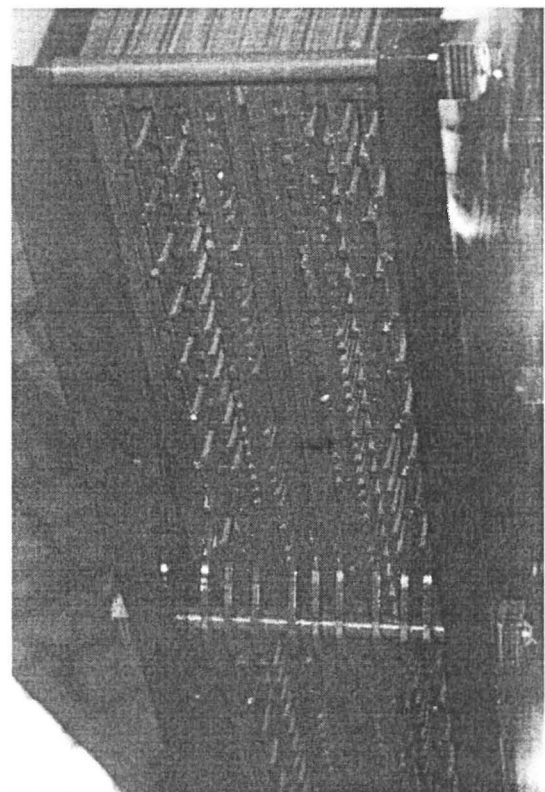


Abb. 2.5: Aktivteil des Modells: Ansicht von unten

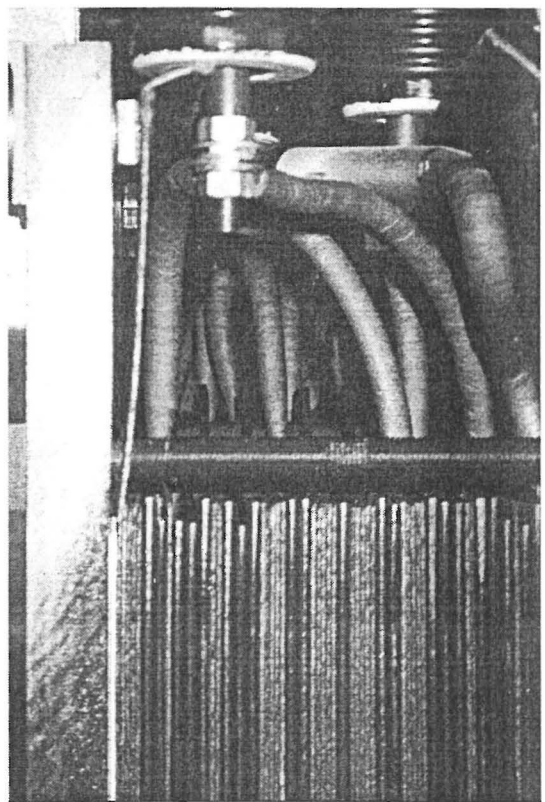


Abb. 2.6: Aktivteil des Modells: die Verbindungen der Wicklungen mit den Durchführungen

Das Modell ist so aufgebaut, dass es die Prüfung von unterschiedlichen Konfigurationen mit verschiedenen Ölspalten (und bei verschiedenen Isolationszuständen) ermöglicht. Der symmetrische Aufbau wurde bevorzugt, um realitätsnahe Kapazitätswerte erreichen zu können. Die folgenden nominalen Verhältnisse Ölspalte/feste Isolation waren vorgesehen:

Konfiguration	Anteil Öl	Anteil feste Isolation
0/100	0%	100%
50/50	50%	50%
70/30	70%	30%
85/15	85%	15%

Tab.2.1: nominale Anteile Öl und feste Isolation

In den Abb. 2.7 bis 2.9 sind Zeichnungen des Modells aus drei verschiedenen Sichten dargestellt.

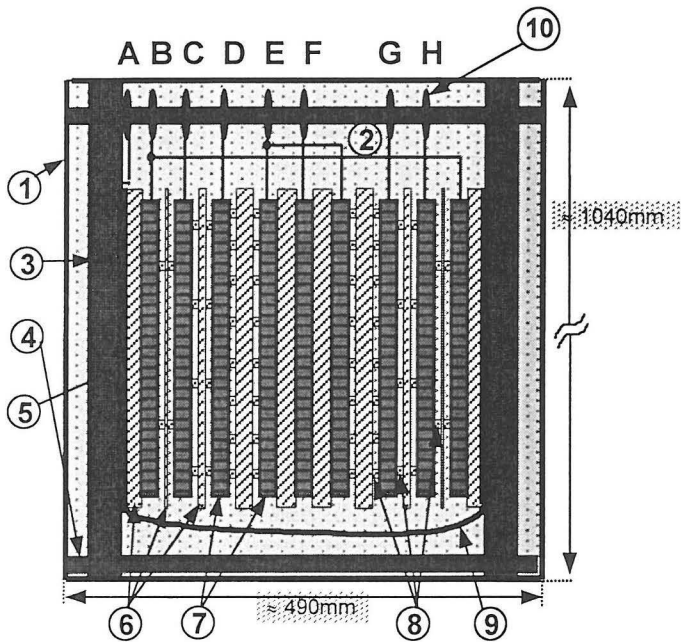


Abb. 2.7: Ansicht von oben (waagrecht Schnitt)

LEGENDE	
①	Kessel
②	Öl
③	Platte aus Bakelit
④	Stab aus Bakelit
⑤	Kupferplatte
⑥	Pressspanplatte
⑦	Flachwicklung (Typ Shell)
⑧	Leiste
⑨	Kupferband
⑩	Durchführung (Anschluss)

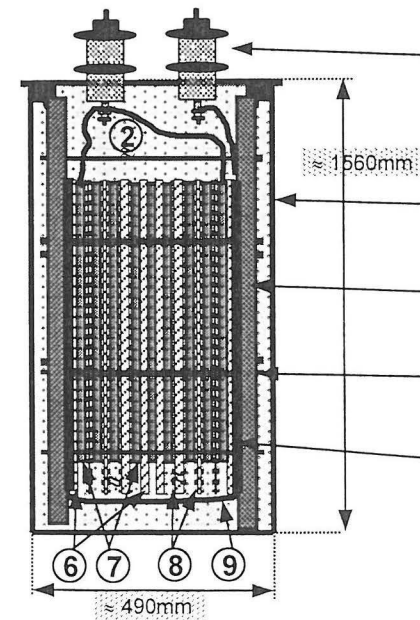


Abb. 2.8: Seitenansicht (senkrechter Schnitt)

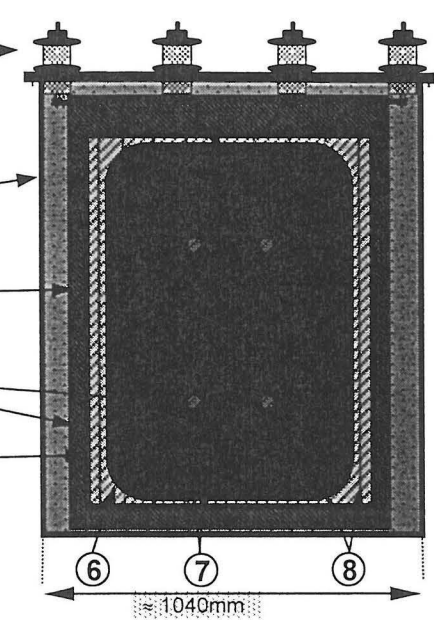


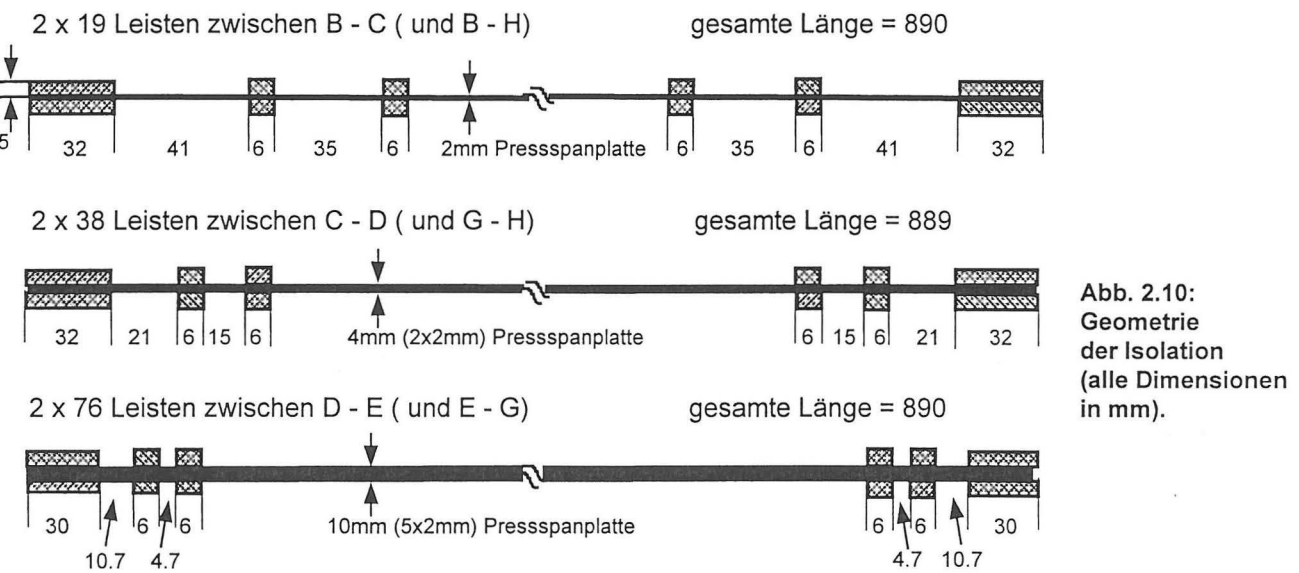
Abb. 2.9: Frontansicht (senkrechter Schnitt)

Aus der Abb. 2.7 sind die vorhandenen Anschlussmöglichkeiten ersichtlich. Es ist zu beachten, dass drei Anschlussmöglichkeiten für die Konfiguration 0/100 vorhanden sind. Je nach Anschluss werden entweder die zentralen Pressspanplatten oder die äusseren oder beide zusammen mit Spannung belastet. Die nachfolgende Tabelle 2.2 zeigt eine Übersicht der geprüften Konfigurationen:

Konfiguration	Schaltungsanschlüsse	Bezeichnung der Prüfung
85/15	CDEFGH(Spannung) ↔ AB+Kessel(Erde)	02
70/30	DEFG(Spannung) ↔ ABCH+Kessel(Erde)	03
50/50	EF(Spannung) ↔ ABCDGH+Kessel(Erde)	04
0/100ce zwei zentrale Pressspanplatten	F(Spannung) ↔ ABCDEGH+Kessel(Erde)	01
0/100ou zwei äussere Pressspanplatten	BCDEFGH(Spannung) ↔ A+Kessel(Erde)	06
0/100ce+ou zwei zentrale und zwei äussere Pressspanplatten	BCDEGH(Spannung) ↔ AF+Kessel(Erde)	05

Tab.2.2: Prüfungskonfigurationen und Anschlüsse

In der Abb. 2.10 sind detaillierte Angaben über die Aufbaugeometrie des Modells dargestellt:



Aus den Abb. 2.10 kann man die tatsächlichen Verhältnisse zwischen Öl und fester Isolation berechnen:

Konfiguration	Längenverhältnis Öl/Leisten		Volumenverhältnis Öl/ feste Isolation	
	Anteil Ölspalte	Anteil Leisten	Anteil Ölspalte	Anteil Pressspanplatten und Leisten
0/100	0%	0%	0%	100%
50/50	42%	58%	21%	79%
70/30	67%	33%	48%	52%
85/15	80%	20%	67%	33%

Tab.2.3: berechnete Anteile Öl und feste Isolation

3. Prüfergebnisse

Wie in der Einleitung erwähnt, ist zu beachten, dass alle Prüfungen beim Isolationszustand „Neues Öl/Neues Papier“ durchgeführt wurden.

Die untenstehende Tabelle 3.1 stellt die gemessenen Werte von Kapazität, tanδ und Isolationswiderstand bei den angewendeten Konfigurationen dar:

		Kapazität, tanδ * Messungen bei 1000V, 50Hz Temperatur = 19°C		Messung des Isolationwiderstandes mittels RVM, bei 2000VDC (all Werte in GOhm) Temperatur = 19°C		
Konfiguration	Bezeichnung der Prüfung	C(nF)	tanδ	R nach 15s Ladezeit	R nach 60s Ladezeit	R ₆₀ /R ₁₅
85/15	02	2.97	0.0023	4.67	10.8	2.31
70/30	03	2.80	0.0029	7.47	18.0	2.41
50/50	04	2.35	0.0030	17.6	41.7	2.37
0/100ce zwei zentrale Pressspanplatten	01	4.78	0.0035	53.2	110	2.07
0/100ou zwei äussere Pressspanplatten	06	nicht gemessen	nicht gemessen	22.3	40.4	1.81
0/100ce+ou zwei zentrale und zwei äuss. Pressspanplatten	05	10.4	0.0037	21.1	39.1	1.85

Tab.3.1: C, tanδ und R Messungen

Die gemessenen Werte bestätigen den inneren Aufbau des Modells. Bei Konfigurationen, wo nur die feste Isolation vorhanden ist und bei Konfigurationen, wo die Pressspanplatten näher sind, werden höhere Kapazitätswerte gemessen. Höhere Widerstandswerte werden bei Konfigurationen mit zunehmendem Anteil von fester Isolation gemessen.

* Die C, tanδ Messungen wurden in Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Dr. W. Zaengl und Herrn Dr. V. Der Houhanessian (PRESCO AG-Schweiz) durchgeführt.

3.1. Einfluss der Isolationsgeometrie

Auf der folgenden Abb. 3.1 sind die RVM resultierenden Kurven bei unterschiedlichen Konfigurationen der Isolationsgeometrie dargestellt. RVM Testspannung: 2000V DC.

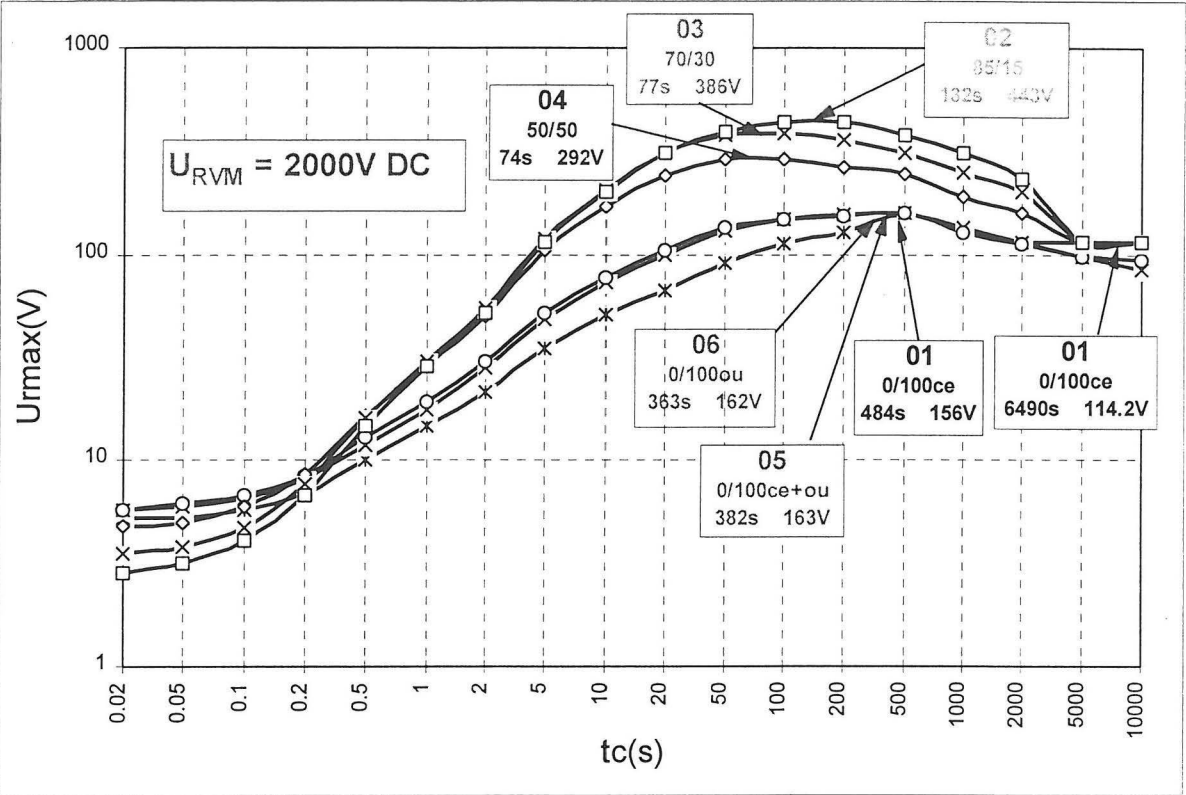
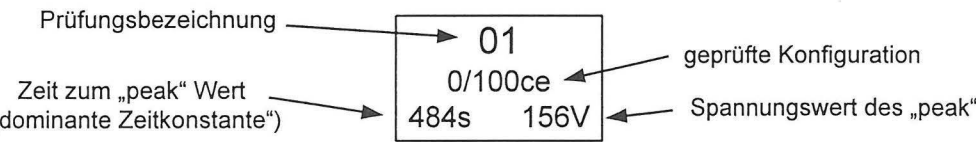


Abb. 3.1 RVM Polarisationsspektra bei unterschiedlichen Konfigurationen der Isolationsgeometrie, mit einer Testspannung von 2000V DC.

Erläuterung der „Informationsfelder“ in Abb.3.1. Beispiel:



Bezogen auf die Zeit zum „peak“ Wert (die „dominante Zeitkonstante“), kann man beobachten, dass sich die resultierenden Kurven in zwei Gruppen teilen: eine Gruppe für die Konfigurationen mit Ölkanälen, die andere Gruppe für die Konfigurationen ohne Ölkanäle. Betreffend der Aufbaugeometrie stellt man also einen Unterschied zwischen der 100%-igen festen Isolation und der Isolation mit Ölkanälen fest. Warum dieser Unterschied? Grosser Isolationswiderstand? Aber sollte dann nicht auch die Konfiguration 50/50 ähnlich wie die volle Isolation sein (da diese Konfigurationen ähnlich hohe Widerstandswerte aufweisen)? Grenzfläche Polarisation? Aber sollte man dann nicht auch grössere Unterschiede zwischen den 85/15, 70/30 und 50/50 Konfigurationen messen? Nicht homogener Zustand (Feuchte, noch nicht durch die 100%-igen feste Isolation gleichmässig verteilt)? Aber sollte man dann nicht nach einer bestimmten Zeit eine homogenere Verteilung erwarten?

Die Meinungen in der zuständigen CIGRÉ TF 15.01.09 Gruppe sind unterschiedlich.

Diese Fragen können nur beantwortet werden, wenn der ganze Prüfplan abgeschlossen ist. Wie oben erwähnt, sind alle beschriebenen Prüfungen, deren Resultate und alle Fragen nur auf den Zustand „Neues Öl/Neues Papier“ bezogen. Es ist zu erwarten, dass die Untersuchung der restlichen Zustände noch zusätzliche aussagekräftige Informationen liefern wird. Auf dieser Weise wird man ein besseres Verständnis für das Polarisationsverhalten und die Interpretation der Prüfergebnisse erreichen.

Die dargestellten Resultate zeigen aber auch dass, betreffend der „dominanten Zeitkonstante“ nur ein geringfügiger Unterschied bei den Konfigurationen mit Ölkanälen vorhanden ist. Weil diese Konfigurationen repräsentativer für Leistungstransformatoren sind, kann man sagen, dass die Geometrie der Isolation keinen bedeutenden Einfluss auf das RVM Polarisationspektrum hat.

3.2. Einfluss der Testspannung

Auf der anschliessenden Abb. 3.2 sind die RVM resultierenden Kurven entsprechend den Konfigurationen wie in Abb.3.1 dargestellt, jedoch mit einer RVM Testspannung von 500V DC.

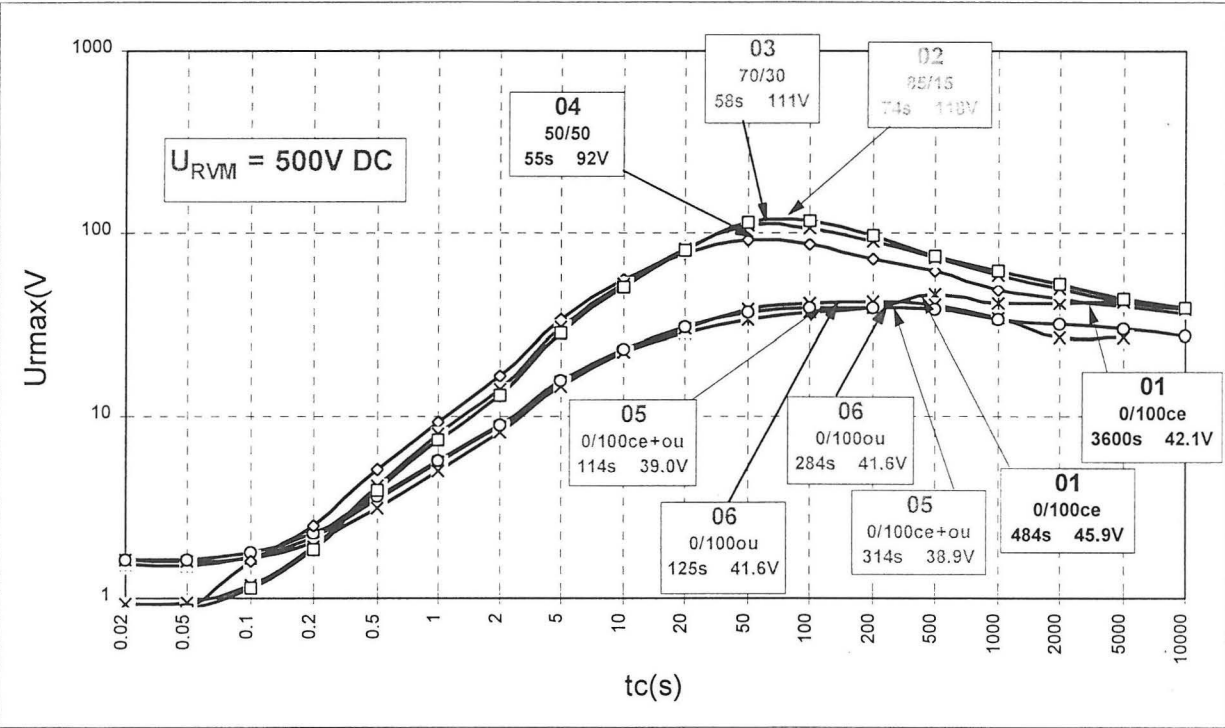


Abb. 3.2 RVM Polarisationspektra bei unterschiedlichen Konfigurationen der Isolationsgeometrie, mit einer Testspannung von 500V DC.

Man beobachtet ein ähnliches Verhalten wie bei den Prüfungen mit 2000V DC. Das heisst, ein Unterschied zwischen den Konfigurationen mit und ohne Ölkanäle.

Wie erwartet, sind die resultierenden Spannungswerte der Prüfungen mit 500V DC kleiner als die Spannungswerte der Prüfungen mit 2000V DC.

Betreffend der Konfigurationen mit Ölkanälen, zwischen den Messergebnissen bei 2000V und bei 500V ist ein vernachlässigbarer Unterschied der „dominanten Zeitkonstante“ zu registrieren.

Betreffend der Konfigurationen ohne Ölkanäle kann man feststellen, dass die geringere Testspannung eine stärkere Flachheit der resultierenden Kurven verursacht. Das hat zur Konsequenz, dass das RVM Gerät mehrere „peak“ Werte registriert.

Auf Grund dieses Resultats, ist die Anwendung der grösstmöglichen Testspannung empfohlen, vor allem wenn flache resultierende Kurven zu erwarten sind.

3.3. Einfluss der Ölleitfähigkeit

Für diese Untersuchung konzentrieren wir unsere Aufmerksamkeit auf die Konfiguration 85/15, welche die grösste Menge Öl enthält.

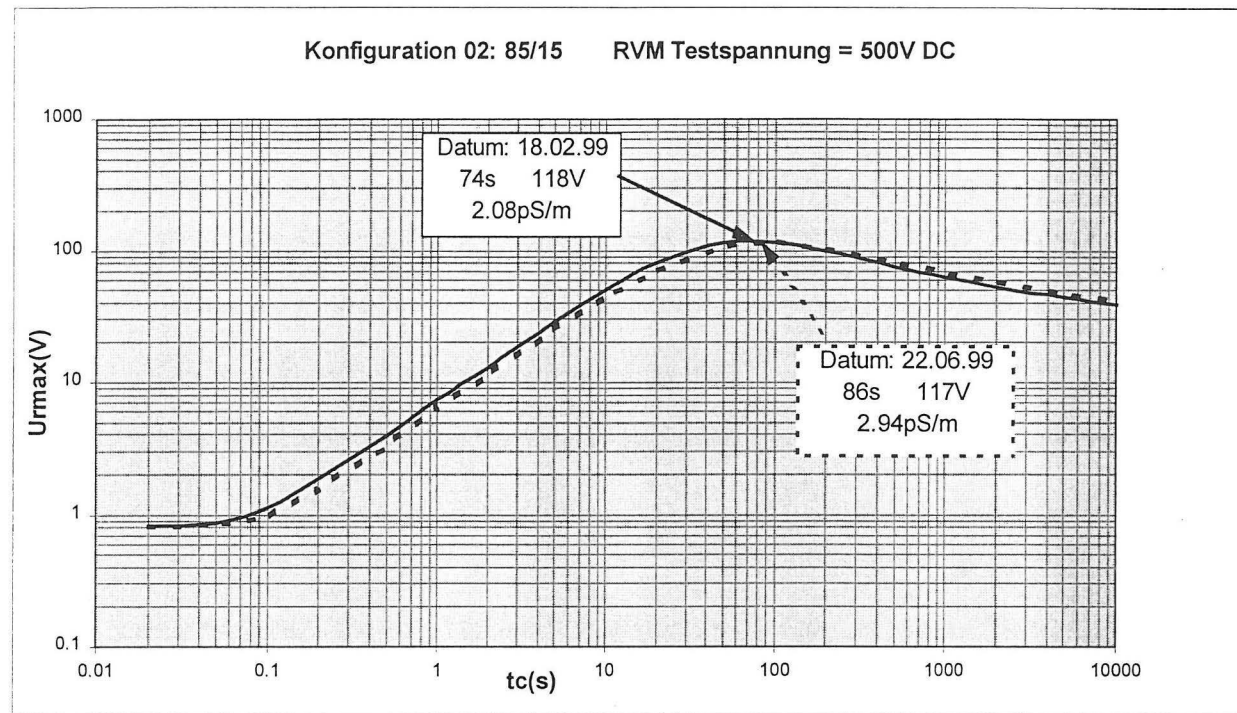


Abb. 3.3: RVM Polarisationspektren bei unterschiedlicher Ölleitfähigkeit

Es ist ersichtlich, dass eine Steigerung von ca. 50% der Leitfähigkeit (von ca. 2pS/m auf ca. 3pS/m) keine bedeutende Veränderung der Polarisationspektren ergibt.

Es ist aber auch zu bemerken, dass die vorhandene Veränderung der Ölleitfähigkeit nicht sehr gross ist. Dieses Resultat bietet jedoch einen interessanten Aspekt: mit der Steigerung der Leitfähigkeit, wird ein Anstieg der „dominanten Zeitkonstante“ gemessen. Das steht in Kontrast zu den mathematischen Modellen, die eine Reduktion der Zeitkonstante bei Steigerung der Ölleitfähigkeit vorsehen. Die Gründe dieses Verhaltens sind noch zu untersuchen.

Bei RVM Messungen von realen Transformatoren hat man festgestellt, dass eine sehr niedrige Ölqualität einen Einfluss auf die Resultate haben kann (ein zweiter „peak“ erscheint dann in der resultierenden Kurve).

Eine ideale Fortsetzung dieses Projektes wäre die Durchführung der Prüfungen bei einer Ölleitfähigkeit ca. zehn mal grösser als die aktuelle, das heisst, eine Leitfähigkeit von ca. 20pS/m bis 30pS/m (oder auch ca. zehn mal kleiner, das heisst zwischen 0.2pS/m und 0.3pS/m). Auf diese Weise wäre mehr Information vorhanden, um die obenerwähnte Phänomene zu analysieren.

4. Wassergehalt

Die durch die RVM Software berechneten Wassergehalte liegen bei ca. 2% für die Konfigurationen mit Ölkänen und bei ca.1.3% für die Konfigurationen ohne Ölkäne. Die Korrelation zwischen dem berechneten und dem tatsächlichen Wassergehalt liegt nicht im Rahmen dieser Untersuchung. Das Modell erlaubt die gesteuerte Einstellung von verschiedenen Papier-Wassergehalten nicht.

Ein 2% Wassergehalt scheint für eine neue Isolation etwas viel zu sein. Man sollte sich aber fragen, was heisst „tatsächlicher Wassergehalt“?

Die ERA Technology Ltd (Electricity Research Association, Leatherhead-England) hat eine Untersuchung gestartet, um zwei unterschiedliche Methoden für die Bestimmung des Wassergehaltes in Papierisolation genau zu analysieren (siehe ERA Report 98-0235R). Zwei Geräte wurden analysiert. Ein Gerät basiert auf der Karl-Fischer Coulometric Methode, das andere Gerät basiert auf dem Gewichtsverlust (das Papiermuster wird erwärmt, das Wasser verdampft, die Differenz in Gewicht wird gemessen). Die zwei Methoden sind auch in den Normen zu finden (BS EN 20287:1994, ISO 287:1985, BS 6740:1984, IEC 733:1982). Die Resultate der beiden Geräte wurden als konsistent befunden. Das heisst, beide Geräte weisen eine hohe Reproduzierbarkeit auf.

Aber dann wurden die beiden Geräte verglichen. Messungen an gleich präparierten Muster wurden mit beiden Geräten durchgeführt. Hier ist ein Auszug der Resultate:

Muster	Gewichtsverlust Methode (% Wassergehalt)	Karl-Fischer Methode (% Wassergehalt)
nicht imprägniertes Papier, gelagert im Laboratorium	7.23	1.50
imprägniertes Papier, aus einem Kabel entnommen	2.14	0.13
imprägniertes Papier, aus einem Kabel entnommen	2.03	0.10
imprägniertes Papier, Luft befeuchtet und getrocknet, im Laboratorium	5.68	0.16
nicht imprägniertes Papier, getränkt in Wasser	61.55	67.06

Die Resultate zeigen sehr grosse Unterschiede. ERA erwähnt Vermutungen über den Grund dieser Unterschiede: die Karl-Fischer Methode könnte den Anteil von Wasser, der in Papier chemisch gebunden ist, nicht messen; die Gewichts Differenz könnte aus der Verdampfung von Produkten, anders als Wasser, beeinflusst sein. ERA behauptet, dass die genaue Untersuchung dieser Unterschiede, Materie für ein neues Projekt wäre. Man kann auch Unterschiede in den Grafiken aus verschiedenen Studien beobachten, die das Gleichgewicht zwischen Wasseranteil in Öl und Wasseranteil in Papier untersuchen (Gleichgewichtskurven nach Oommen, nach Griffin). Solange all diese Unterschiede nicht vollständig geklärt sind, solange man keine klare und lineare Korrelation zwischen den verschiedenen Methoden für die Bestimmung des Papier-Wassergehalts gefunden hat, sollte die Aussage über einen gemessenen Wassergehalt immer mit der Information über die angewendeten Methode begleitet werden, zum Beispiel:

Messergebnis: X% Wassergehalt, bestimmt durch Y Methode

5. Schlussfolgerungen

Das in diesem Referat präsentierte Isolationsmodell erlaubt die Untersuchung der möglichen Einflüsse von Isolationsgeometrie, Höhe der Ladespannung und Ölqualität auf Prüfmethode, die auf dem Polarisationsverhalten von Ölpapier Isolationen basieren.

Dieses Projekt ist unter Aufsicht der CIGRÉ gestartet (CIGRÉ TF 15.01.09).

Das Projekt sieht folgende Schritte vor (siehe auch untenstehende Abb. 5.1):

- I Prüfungen beim Zustand: Neues Öl/Neues Papier (erledigt)
- II Prüfungen beim Zustand: Altes Öl/Neues Papier
- III Prüfungen beim Zustand: Altes Öl/Altes Papier
- IV Prüfungen beim Zustand: Neues Öl/Altes Papier

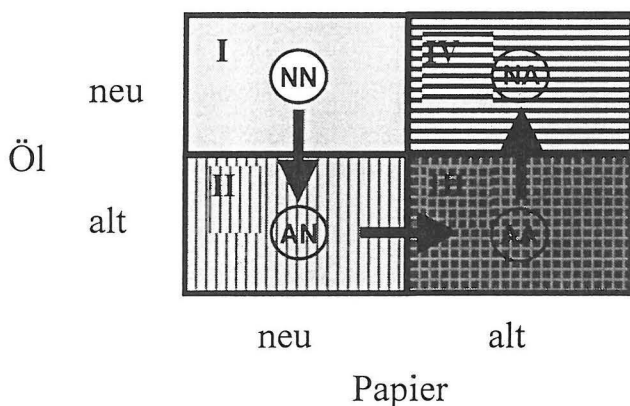


Abb. 5.1: Die vier möglichen Isolationszustände des Modells.

Hier wurden die Resultate der RVM Prüfungen, durchgeführt am Modell mit Zustand „Neues Öl/Neues Papier“, dargestellt. Für den Abschluss des Projektes sollen auch die restlichen möglichen Zustände untersucht werden, bzw. „Altes Öl/Neues Papier“, „Altes Öl/Altes Papier“, „Neues Öl/Altes Papier“.

Betreffend der Isolationsgeometrie sollen die Gründe der Unterschiede zwischen den Konfigurationen mit und ohne Ölkanäle noch untersucht werden. Was die Messungen von reellen Leistungstransformatoren betrifft (wo Konfigurationen ohne Ölkanäle praktisch nicht zu finden sind) kann man sagen, dass die Geometrie der Isolation keinen bedeutenden Einfluss auf die RVM Prüfergebnisse hat. Was den Einfluss von der Höhe der Testspannung und von der Ölleitfähigkeit anbelangt, kommt man zum selben Schluss: kein bedeutender Einfluss.

Es ist aber auch zu beachten, dass in dem beschriebenen geprüften Zustand (Neues Öl/Neues Papier) nur eine geringere Veränderung der Ölleitfähigkeit vorhanden war. Die Erfahrung mit Messungen von reellen Transformatoren zeigt, dass eine sehr niedrige Ölqualität einen Einfluss auf das RVM Polarisationspektrum haben kann. Die „Grenzen“ dieses Einflusses sind aber nicht genau bekannt. Die Präsenz eines zweiten „peak“ könnte von der Tatsache verursacht werden, dass das Öl mehr Wasser enthält, als beim Gleichgewichtszustand mit dem Papier erlaubt ist. In einem solchen Zustand würde das Wasser vom Öl zum Papier diffundieren. Diese Diffusion könnte eine Wasserschicht auf der Papieroberfläche bilden, die einen zweiten „peak“ im Polarisationspektrum erzeugen kann.

Die Fortsetzung dieses Projektes soll zusätzliche Information zum besseren Verständnis des Polarisationsverhaltens einer ölprägnierten Papierisolation liefern. So wird eine noch präzisere Interpretation der Prüfergebnisse möglich.

6. Anerkennung

Speziellen Dank an: **E.Moutin, A.Chabanat, Wallemme** ALSTOM-Vénissieux (F)
Ch.Belser, Trench Switzerland-Basel,
die, mit Begeisterung und sehr hohem Qualitätsbewusstsein den
grössten Teil dieser Prüfungen durchgeführt haben.

Ph.Guunic, EDF-Clamart, der „Schöpfer“ eines solchen Modells.

V.Karius, Trench Switzerland-Basel, für die unkomplizierte
Bereitstellung der Prüfräumen.

M.Sigmund, für die Bereinigung und die Verbesserung der Gestaltung
dieses Vortrages

Alle **CIGRÉ TF 15.01.09 Mitglieder*** für die Unterstützung, die
Empfehlungen und die konstruktiven Diskussionen.

* S.M.Gubanski (Gruppenleiter), G.Csépes, V.Der Houhanessian, J.C. Filippini,
U.Gäfvert, Ph.Guunic, V.Karius, J.Lapworth, G.M.Urbani, P.Werelius, W.Zaengl

7. Literatur

- A.Bognàr, G.Csèpes, I.Hamos, I.Kispàl, J.Schmidt: „A DC expert system (RVM) for checking the refurbishment of high voltage oil-paper insulating system using polarisation spectrum analysis in range of long-time constants“, CIGRÉ 1994, 12-206
- E.Ildstad, U.Gäfvert, P.Thärning: „Relation between return voltage and other methods for measurements of dielectric response“, IEEE June 1994, Pittsburgh-USA
- S.M.Gubanski, B.Holmgren: „Diagnostics of current transformer paper-oil insulation“, 9th ISH, 1995, Graz-Austria
- G.M.Urbani, R.Brooks: „Using the recovery voltage method to evaluate ageing in oil-paper insulation“, IEEE June 1998, Västerås-Sweden
- G.Csèpes, I.Hámos, R.Brooks, V.Karius: „Practical foundations of the RVM (Recovery Voltage Method) for oil-paper insulation diagnosis, CEIDP 1998, Atlanta-USA
- G.M.Urbani: „Die RVM Methode zur Beurteilung des Alterungszustandes von Öl-Papier Isolationen“ Haefely Symposium 1998, Stuttgart-Germany
- D.Allan, T.Blackburn, M.Cotton, B.Finlay: „Recent advances in automated insulation monitoring systems, diagnostic techniques and sensor technology in Australia“, CIGRÉ 1998, 15-101
- J.W.Billing: „On-site measurement of moisture in paper insulation“, ERA Report 98-0235R, May 1998, ERA Technology Ltd, Leatherhead-UK
- J.P. van Bolhuis, E.Gulski, J.J.Smit, G.M.Urbani: „Interpretation of recovery voltage measurements on power transformers“ 11th ISH, 1999, London-UK
- G.Russell: „Advantages and precautions associated with recovery voltage measurements“ Distribution 1999, Brisbane-Australia
- J.P. van Bolhuis, E.Gulski, J.J.Smit, H.F.A. Verhaart, G.M.Urbani: „Development of knowledge rules for RVM for interpretation of the condition of transformer insulation“, IEEE April 2000, Anaheim-USA
- T.K.Saha, Z.T.Yao, T.T.Le, M.Darveniza, D.J.T.Hill: „Investigation of interfacial polarisation spectra parameters for accelerated aged oil-paper insulation and its correlation with molecular weights and furan compounds“, CIGRÉ 2000, 15-201
- V.Aschenbrenner, T.Uèik: „The possibilities and limits of estimation of ageing degree of paper-oil insulation in power transformers by recovery voltage method“, DMMA September 2000, Edinburgh-UK