

holidays. These programs are for improving language skills and acquiring new knowledge about a foreign language. The short-time programs can last from one week to 2 months.

Among these programs there is a program named TESS (T.I.M.E. European Summer School). The program is implemented in six European universities, among which are the Polytechnic University of Madrid (Spain), the University of Trento (Italy) and the Royal Institute of Technology (Sweden). The programs are designed for senior students in order to enhance their language skills.

### **Requirements**

To be eligible for the participation in international mobility programs it is necessary to implement several requirements. The first is having an international passport; the second is having the minimal level of language proficiency B2 (except short-time programs). The third requirement is that the applicant should have good grades for all semesters. And finally, reference from the department is required.

To sum it up, we can see that international mobility in Tomsk Polytechnic University has been developed at a remarkable level. Everyone can see the advantages of these programs, because they give opportunities to explore the culture of another country and just make new friends all over the world. Moreover, international programs in TPU give a great chance for improvement of language knowledge and acquisition of new skills in the future profession. Each of TPU students can take the chance and participate in the programs.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный ресурс: <http://portal.tpu.ru/ciap>
2. Электронный ресурс: [http://staracademy.ru/school\\_exchange\\_programs](http://staracademy.ru/school_exchange_programs)

## **POLARISATIONSSPEKTRUM**

**А. Б. Батырбекова, И. А. Плотников, Ю. В. Кобенко**  
*Томский политехнический университет*

Das sogenannte *Polarisationsspektrum* das auf mehrfachen Rückkehrspannungsmessungen mit schrittweiser Erhöhung der Lade- und Kurzschlusszeiten  $t_p$  und  $t_d$  bei konstantem Verhältnis  $t_p/t_d$  basiert, stellt das einzige bisher bei Transformatoren in größerem Umfang eingesetzte Verfahren dar.

Die Auswertung des Polarisationspektrums basiert auf einem formalen Ersatzschaltbild aus mehreren parallel geschalteten RC-Seriengliedern, die Zeitkonstanten unterschiedlicher Polarisationsvorgänge repräsentieren sollen.

Durch die unterschiedlichen Lade- und Entladezeiten sollen die unterschiedlichen Zeitkonstanten separiert und eine sogenannte „dominante Zeitkonstante“ bestimmt werden. Dieses Modell besitzt jedoch keinen direkten Bezug zur physikalischen Realität mit der Grenzflächenpolarisation als maßgeblichem Effekt,

weshalb die Interpretation der Rückkehrspannungskurven zwar Zahlenwerte liefert, jedoch keine ausreichende physikalische Relevanz besitzt.

Generell wird die Grenzflächenpolarisation zwar als der für die Entstehung der Rückkehrspannung maßgebliche Prozess anerkannt.

Das Polarisationspektrum nutzt als einzigen Parameter der gemessenen Rückkehrspannungskurve die Amplitude des Maximums bzw. deren Abhängigkeit von der Ladezeit.

Andere Erläuterung

Das Verfahren basiert darauf, dass das zu untersuchende Objekt für unterschiedliche Zeiten  $t_p$  mit einer Spannung polarisiert wird, das Objekt dann für die Zeit  $t_d = t_p/2$  kurzgeschlossen und anschliessend nach dem Öffnen des Kurzschlusses die sich einstellende Rückkehrspannungskurve gemessen wird. Durch die Variation der Polarisationszeit ergibt sich aus den unterschiedlichen Spannungsmaxima der sogenannte „Polarisationspektrum“. Der Zustand der Isolierung wird durch den Verlauf der Spannungsmaxima in Abhängigkeit von der Zeit beschrieben.

Als charakteristisch für den in der Isolierung enthaltenen Feuchtigkeitsgehalt wird die Zeit des Maximums des Polarisationspektrums, genannt auch als „dominierende Zeitkonstante“ verwendet.

### **Trafo-Isolierung Modell**

Das Isoliersystem eines Öltransformators besteht aus Zellulose in Barrieren, Stützern und der Leiterisolierung sowie Öl als Tränkmittel und in den Ölkanalen. Dieser Aufbau lässt sich mit der Hilfe des Maxwell-Ersatzschaltbild für eine zwei-Komponenten-Isolierungsmodellieren.

Dabei werden die beiden, im realen System ineinandergreifenden Komponenten Öl und Zellulose als Reihenschaltung separater Dielektrika mit individuellen Werten für Permittivität und Leitfähigkeit (bzw. Isolationswiderstand) dargestellt.

Das Maxwell-Modell stellt die physikalischen Größen in Form von elektrotechnischen Komponenten – Kapazitäten bzw. Kondensatoren für die Permittivitäten und Widerständen für die Leitwerte dar.

Komponenten sind hierbei durch Kapazitäten modelliert. Für Berechnungen kann angenommen werden, dass  $C_b > C_o$  ist, da die Permittivität der Zellulose deutlich größer als diejenige des Öls und aufgrund der Geometrie der Anordnung im Regelfall der Ölanteil überwiegt.

Die Stützer bzw. Distanzleisten werden als weitgehend homogen angenommen und dementsprechend als einfaches RC-Parallelglied modelliert.  $R_d$  modelliert die Ölrecken, die sich unter Umgehung der ineinanderbegreifenden Barrieren ergeben.

Die zusätzlichen RC-Glieder parallel zum Öl und den Stützern repräsentieren zusätzliche Polarisationsprozesse, die durch Alterungsprozesse bzw. Inhomogenitäten in der Isolierung auftreten können und den Verlauf der Rückkehrspannung beeinflussen.

Wesentlich bestimmend für die Rückkehrspannung sind  $R_b$ ,  $C_b$ ,  $R_o$ ,  $C_o$ . Die übrigen Elemente können vernachlässigt werden.

## Maxwell – Modell

Ein physikalisch adäquates Ersatzschaltbild für die Vorgänge in geschichteten Dielektrika ist das sogenannte Maxwell-Modell das im einfachsten Falle aus einer Serienschaltung zweier RC- Parallel Schaltungen besteht.

Bei ausreichend großen Messwiderstand  $R_m$  ist es für Maxwell-Modell möglich, den Verlauf der Rückkehrspannungskurve in Abhängigkeit der physikalischen Größen  $C_1, C_2, R_1, R_2$  anzugeben. Ausreichend groß bedeutet in diesem Zusammenhang dass der durch den Messwiderstand fließende Strom gegenüber den Ausgleichströmen in den RC-Elementen vernachlässigbar ist.

$R_m$  wird vernachlässigt für den Verlauf der Rückkehrspannungen.

## p-faktor

Relativ geringe Temperaturabhängigkeit →

Messungen zu unterschiedlichen Jahreszeiten bzw. in unterschiedlichen Betriebszuständen p-Faktor implementiert als weitgehend geometrieunabhängige Diagnosegröße, erlaubt eine direkte Grobklassifizierung von Prüflingen und wird für die Diagnose von Papier-Masse-isolierten Kabeln empfohlen.

Die Berechnung des p-Faktors basiert auf der Erkenntnis, dass die Grenzflächen-Polarisation nach Maxwell-Wagner den relevanten Prozess bei geschichteten Dielektrika darstellt und dass eine enge geometrische Kopplung der Isolationskomponenten besteht.

Der p-Faktor hat sich jedoch als für die Transformator diagnose ungeeignet herausgestellt. Er ist als sinnvoller Diagnoseparameter nur bei weitgehend homogenen Prüflingen, also v.a. bei Kabeln, einsetzbar. Dies liegt v.a. daran, dass bei Kabeln mit Öl- bzw. Massegetränker

Papierisolierung eine starke Kopplung zwischen den beiden Komponenten vorliegt – v.a. an mikroskopischen Grenzflächen in den ölgefüllten Poren des Papiers – , während bei Öltransformatoren Zellulose und Öl weitgehend getrennt voneinander vorliegen und die makroskopischen (äußeren) Grenzflächen dominieren, so dass hier das Maxwell-Modell genau genommen noch eher zutrifft als bei Kabeln. Der Ölanteil im Transformerboard und im Stützermaterial dürfte aufgrund der relativ hohen Materialdichte nur eine untergeordnete Rolle spielen.

## Kabelmessung

Rückkehrspannungsmessung mit konstanter Kurzschlusszeit hauptsächlich bei Kabeln eingesetztes Verfahren, das auf einzelnen Rückkehrspannungsmessungen mit fester Kurzschlusszeit basiert. Die von der Firma sebaKMT angebotenen Messgeräte der CD-Reihe arbeiten mit einer fest eingestellten Kurzschlusszeit  $t_d = 2$  s. Die Polarisations- und Messzeit sind dabei frei wählbar. Es können je nach Messprogramm – also je nach Art des Prüflings – zwei oder vier Messungen mit unterschiedlichen

Polarisationsspannungen durchgeführt werden, wobei die Zeiteinstellungen jeweils gleich sind.

Zur Ermittlung der Nichtlinearität werden die Anfangsteilheit der Wiederkehrspannung für zwei Ladespannungen gemessen, die im Verhältnis 2:1 stehen (typisch 2 kV und 1 kV).

Der Quotient  $Q_a$  hat folgende Aussagen: 2.00 ... 1.87 trocken, 1.86 ... 1.65 feucht < 1.65 nass.

## **GASHYDRATE**

**Б. Ж. Бексыргаев**

*Томский политехнический университет*

Fast das halbe Jahrhundert ist vergangen, seit die Gashydrate in der Natur entdeckt wurden – zum ersten Mal im Schwarzen Meer 1972 und etwas später 1979 im Kaspischen Meer. In letzter Zeit geraten Gashydrate immer mehr in den Mittelpunkt der Aufmerksamkeit, was sich durch eine Reihe der Gründe erklären lässt: Gashydrate sind ein potentiell brennbares Mineral, der Inhalt des Gases darin beträgt  $2 \cdot 10^{14}$  bis zu  $7,6 \cdot 10^{18}$  м<sup>3</sup>.

Gashydrate sind kristallinische Verbindungen, die sich bei eigenartig thermobarischen Bedingungen aus Wasser und Gas bilden. Sie gehören zu nichtstöchiometrischen Verbindungen, das heißt sie haben einen variablen Bestand.

Gashydrate bilden sich in der Regel bei niedrigen Temperaturen und bei hohem Druck.

Die Morphologie der Gashydrate teilt sich in drei wesentliche Gruppen von Kristallen ein.

1. Massive Kristalle, die durch Absorption der Gase und des Wassers entstehen.
2. Die viskerische Kristalle, die bei Tunnelabsorption der Moleküle auf der Basis wachsender Kristalle entstehen.
3. Die Gel-Kristalle, die sich im Wasser bilden mit darin aufgelöstem Gas bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen und hohem Druck.

Es ist besonders bemerkenswert, dass die Gashydrate an und für sich wie Formen des Erdgases nicht betrachtet werden können.

In der Natur bewahren Gashydrate die Stabilität nur bei besonders thermobarischen Bedingungen auf, die in der sedimentären Tiefe der tiefen Ozeanbereiche erreicht werden. Es wurde experimentell bewiesen, dass die Zone der Stabilität der Gashydrate in den ozeanischen Bedingungen mit 450m weiter bis zum Niveau des geothermalen Gradienten anfängt.

Zum ersten Mal war das Verzeichnis der Daten nach dem weltweiten Vertrieb der Gashydrate im Weltmeer von K. Kwen und M. MacMenamin 1980 veröffentlicht. Und sie haben mehr als 60 Flächen und Punkte im Weltmeer aufgezählt, wo die Merkmale der Gashydrate beobachtet wurden.