

- **Bewertung von Mustererkennungsverfahren für die elektrische Teilentladungsmessung an Leistungstransformatoren**

**Dipl.-Ing. Anne Strotmann**

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. S. Tenbohlen

Mitberichter: Prof. em. Dr. techn. Dr. h.c. Hans Michael Muhr

TU Graz

Tag der mündlichen Prüfung:

15.02.2016

Die Zuverlässigkeit elektrischer Energienetze hängt von der Qualität und der Verfügbarkeit elektrischer Betriebsmittel ab, wie z. B. Transformatoren. Lokale Fehler innerhalb der Isolierung können zu elektrischen Durchschlägen führen, die hohe Ausfallkosten und Sanktionen nach sich ziehen können. Um diese zerstörenden Ereignisse zu verhindern, werden Transformatoren vor der Inbetriebnahme und zur Wartung auf Teilentladungsaktivitäten getestet. Hierfür steht die Methode der elektrischen Messung nach der Norm DIN EN 60270 zur Verfügung. Bei der Diagnose stellt sich immer die Frage nach der Art der Teilentladung, und ob diese für den Transformator schädigend sein kann. Außerdem ist die Auswirkung der Fehlerart auf die Lebensdauer des Transformators von Wichtigkeit. Ein Problem der Teilentladungsdiagnostik bei Leistungstransformatoren sind mehrere Teilentladungsereignisse verschiedener Quellen und äußere Störer bei Vor-Ort Messungen durch z.B. Koronaentladungen der Sammelschienen. Eine Rauschfilterung Vor-Ort ist daher unerlässlich, um Teilentladungen im Inneren eines Transformators überhaupt erfassen zu können. In dieser Arbeit werden Mustererkennungsverfahren angewendet, um künstliche Fehlstellen zu differenzieren und anhand klassischer Kenngrößen die Teilentladungsquellen zu charakterisieren. Die Arbeit soll auch die Grenzen der unterschiedlichen Methoden aufzeigen. Was für Betriebsmittel wie Kabel oder Schaltanlage zielführend verwendet wurde, ist bei einem Leistungstransformator eventuell nicht einzusetzen.

Die bekannteste Methode zur Bestimmung der Art von Teilentladungen ist das PRPD-Muster. Die Untersuchungen an den künstlichen Quellen im Labor brachten eindeutige Ergebnisse hervor, die mit bekannten PRPD Mustern übereinstimmen. Ein weiterer Einfluss für die Interpretation der PRPD Muster bei Vor-Ort Messungen an Leistungstransformatoren sind Überlagerungen mehrerer Teilentladungen. Um die Quellen zu separieren, kann die sogenannte Sterndiagramm-Methode verwendet werden. Hierfür muss eine mehrkanalige, synchrone Messung durchgeführt werden. Die sich dadurch bildenden Cluster können einzeln wieder in PRPD Muster rücktransformiert werden, was die Interpretation der Fehlstellen erst ermöglicht. In dieser

Arbeit wurden vier unterschiedliche Darstellungen des Sterndiagramms genauer untersucht.

Ein weiteres Mustererkennungsverfahren ist die Puls-Sequenz Analyse. Die PSA-Muster werden in Form von Streudiagrammen visualisiert. Dazu werden als Parameter die Spannungsdifferenzen von drei aufeinander folgenden Teilentladungsimpulsen ausgewählt.

Für die Bewertung der Messmethode wurden zuerst die PSA-Muster künstlicher TE-Quellen verglichen. Die Messungen im Labor zeigen, dass das PSA-Muster für die Analyse der TE-Quelle verwendet werden kann. Jedoch gibt es auch für die Puls-Sequenz Analyse mehrere Einflussfaktoren, die sich auf das Muster auswirken. Hierzu zählen unter anderem externe Störer, die angelegte Prüfspannungsamplitude und die Überlagerung mehrere Teilentladungsquellen. Eine Transformator-Messung wurde durchgeführt, um die Puls-Sequenz Analyse auch für Vor-Ort Messungen zu betrachten. Bei dieser Messung wurden zwei innere Teilentladungsquellen detektiert. In diesem Fall wurde das Sterndiagramm verwendet, um die PSA-Muster jeweils einer TE-Quelle zu betrachten. Die Ergebnisse der PSA-Muster lassen auf zwei unterschiedliche Arten von TE-Quellen schließen. Jedoch wurden bei der Reparatur des Transformators Verfärbungen an zwei Unterspannungswicklungen festgestellt, d. h. beide Fehlstellen sind Oberflächenentladungen. Nur ein PSA-Muster stimmte mit dem Muster der Oberflächenentladung aus dem Labor überein. Diese Vor-Ort Messung zeigt, dass die Puls-Sequenz Analyse nur eingeschränkt zur Analyse der TE-Quelle geeignet ist.

Als eine weitere Methode zur Separierung unterschiedlicher Teilentladungsquellen wurde die Impulsformanalyse untersucht. Hierfür wurden unterschiedliche Auswerteverfahren verglichen. Zum einen wurden die Impulse der künstlichen TE-Quellen im Frequenzbereich mittels Fourier Transformation und zum anderen im Zeitbereich mittels Curve Fitting analysiert.

Die Spektren der Impulse wurden mittels FFT berechnet. Die Impulse konnten aufgrund ihres Frequenzspektrums jeweils einer Quelle zugeordnet werden. Auch wiesen mehrere Impulse einer Teilentladungsquelle das gleiche Spektrum auf. Die Impulse der künstlichen Quellen im Labor konnten somit anhand ihres Spektrums unterschieden werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Impulsformanalyse ist die Curve Fitting Methode. Für diese Betrachtung wurden dieselben Impulsformen wie bei der Spektrumsanalyse verwendet. Nach dem Fitting wurden drei Parameter der Fitting-Funktion verwendet, um ein dreidimensionales Diagramm zur Darstellung der Ergebnisse zu erstellen. Für jede Teilentladungsquelle bildete sich ein Cluster im Diagramm. Somit können TE-Quellen mithilfe ihrer Impulsform differenziert werden.

Zusammenfassend ist das PRPD Muster die bekannteste Darstellung und stellte sich hier als bestes Verfahren heraus, um die Art der Teilentladung zu bestimmen. Bei TE-Messungen an gealterten Leistungstransformatoren überlagern sich oft mehrere

Teilentladungsquellen, wodurch die Interpretation erschwert wird. Hierfür wird das Sterndiagramm verwendet, um die Teilentladungsquellen zu separieren. Die Puls-Sequenz Analyse zeigt bei Papier/Öl Isolierungen jedoch Schwächen, da viele Faktoren das Ergebnis der PSA beeinflussen. Bei der Impulsformanalyse wurden verschiedene Möglichkeiten zur Auswertung betrachtet, zum einen die FFT und ein Kurven-Fitting einzelner Impulse. Mit Hilfe des Fittings konnten mehrere Teilentladungsquellen separiert werden.

- **Evaluation of Pattern Recognition Methods for Electrical Partial Discharge Measurements on Power Transformers**

**Dipl.-Ing. Anne Strotmann**

The reliability of electrical energy networks depends on the quality and availability of electrical equipment like power transformers. Local failures inside their insulation may lead to catastrophic breakdowns and can cause high outage and penalty costs. To prevent these destroying events power transformers are e.g. tested on partial discharge (PD) activity before commissioning and currently also during service. For this purpose the method of electrical measurement according to DIN EN 60270 is available. The question of the type of partial discharge is important for the diagnosis. Furthermore, the effect of the fault type on the service life of the transformer is of interest. A problem of partial discharge diagnosis in power transformers are multiple partial discharge events from different sources and external interferences for on-site measurements. Noise filtering on-site is essential to measure internal partial discharges. In this work pattern recognition methods are used to differentiate between multiple sources and to identify partial discharge sources. Also the limitations of the different pattern recognition methods are shown.

Some of the pattern recognition techniques have already been tested with cables and led to good results. As the power transformer is a complicated apparatus in its entirety, the techniques were first tested in a small laboratory setup. The pattern recognition methods that could be used in the laboratory were tested and evaluated during on-site measurements on power transformers. The electrical PD-measurement setup might show certain disadvantages for onsite measurements because of the noise level in field. Therefore, evaluation of multi-terminal PD measurements establishes a straight forward approach to remove external disturbances and, furthermore, to clearly distinguish between multiple PD sources.

With the electrical PD measurement a specific phase-related representation of the electrical measurements (fingerprints) can assist to identify the fault type and a more

precise localisation of the fault. There is already a small catalog of known phase resolved partial discharge (PRPD) patterns that clearly identify the PD source.

The on-site measurements on power transformers succeeded partially. The PRPD patterns were ambiguous, because multiple partial discharge sources existed. For this purpose, the star diagram can be used. Different possibilities of the star diagram are shown in this work.

Another pattern recognition method is the Pulse Sequence Analysis (PSA). The PSA pattern is created with three consecutive PD impulses assigned to their external test voltage and their phase angle within one period.

The PD value of the apparent charge in pico Coulomb (pC) is not considered in the PSA. In this contribution different types of PD are investigated regarding their PSA pattern.

The PSA model depends on the applied test voltage, as the field strength is crucial for the pulses. In addition the PSA patterns are influenced by noise, external discharges and more internal partial discharges. In this case the patterns change significantly. In order to separate the internal and external partial discharges the star diagram can be used. Then only the pulses of a cluster in the star diagram can be used for the PSA, and the pattern of the corresponding source may be formed.

An example of a measurement on a transformer is also shown. Here the star diagram is used to display the PSA pattern of the sources. During the repair of the transformer discolorations were found at two low-voltage windings, which suggests surface discharges. However, only one PSA pattern was consistent with the result of the surface discharge from the laboratory. The method of the pulse sequence analysis can be used as a complementary pattern, but is not to be seen in contrast to the phase resolved pattern as a stand-alone pattern recognition method for power transformers.

The pulse shape analysis evaluates the pulse response of the PD source location and the entire test setup. For this purpose different evaluation methods were used. First, the pulse response was considered in the frequency domain and the FFT was used for this analysis. It was noted that all the pulse responses of an internal partial discharge source have almost the same frequency range. They differ only in the energy density.

The second way is the analysis of the pulse response in time domain. A function is carried out and a curve fitting will be performed. Three parameters of the fitted curve are used to describe the differences of the pulse responses in a three-dimensional diagram. For each partial discharge source a cluster in the diagram can be seen. The sources can be distinguished by the curve fitting method. The advantage is that interferer may be removed from the PRPD pattern.

In summary, all investigated pattern recognition methods showed that the PRPD pattern is the only method describing the fault type exactly. If the fault type is known an accurate evaluation can be done whether the partial discharge source is critical for the device. For filtering external interferences and locating the partial discharge

source, the star diagram can be used. Also the pulse shape analysis by means of the curve fitting may be used to separate multiple partial discharge sources. Measurements on power transformers can be performed as long as the external disturbances have no enormous influence on the results. The PSA can be performed to accompany PRPD measurements and can support the identification of the partial discharge source.