

Stossprüfung als Routineprüfung von Verteiltransformatoren zur Beurteilung des dielektrischen Isolationszustandes

Christian Josephy
Haefely - Trench, Basel

1. Einleitung

In Amerika ist die Netzverteilung für Haushalte anders organisiert als in Europa. Zum einen wird mit einer Netzspannung von 115V eine stark dezentrale Struktur nötig, um die Verluste bei den hohen Strömen vergleichsweise klein zu halten, zum anderen erfolgt die Stromversorgung zum grossen Teil über Freiluftanschlüsse. Fast jeder Haushalt wird daher über einen Verteiltransformator an das Verteilnetz angeschlossen. Bild 1 und 2 zeigen typische Ausführungen.

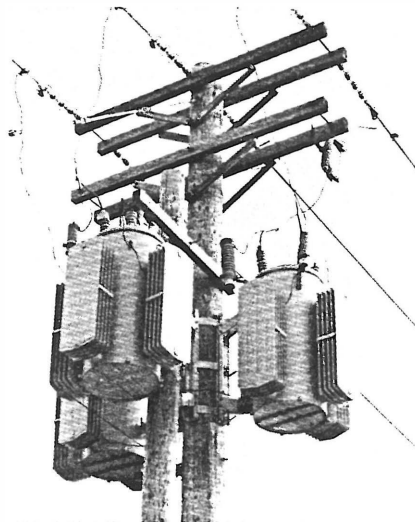
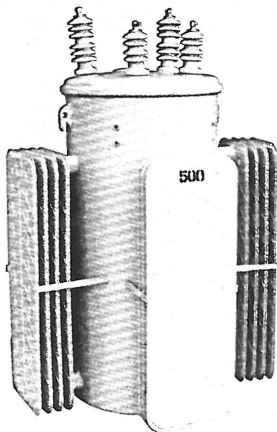


Bild 1 und 2: Typische Verteiltransformatoren und deren Montage auf Masten

Entsprechend gross ist der Bedarf an solchen Trafos, die von diversen Herstellern in grossen Stückzahlen hergestellt werden, sowohl in einphasiger als auch in dreiphasiger Ausführung.

In den letzten Jahren wurden Anstrengungen unternommen, die Verteiltransformatoren einem standardisierten Testverfahren zu unterziehen. Obwohl der Prozentsatz der vorzeitig defekten Verteiltransformatoren nicht sehr hoch ist, sind Blitzeinschläge bei ca. 50% der Frühausfälle als Ursache eruiert worden. Untersuchungen haben ausserdem gezeigt, dass Blitzeinschläge auch dann die Hochspannungswicklung zerstören können, wenn die Ströme auf der Niederspannungsseite fliessen und die Hochspannungsseite geerdet ist. Deswegen ist man in den USA der Meinung, dass eine Blitzstossprüfung der Verteiltransformatoren als Qualitätstest geeignet ist. Diese Prüfung wurde bis anhin lediglich als 'Designtest', als Typentest, durchgeführt.

2. ANSI/IEEE Standard

Schon 1982 wurde die Forderung nach einem Einzeltest gestellt, der nun im Standard ANSI/IEEE C57.12.00 (1993) fixiert ist. Der Testablauf wird in ANSI/IEEE C57.12.90 Absatz 10.4 beschrieben.

Jede Primärwicklung muss mit mindestens einem 100%-Vergleichsstoss auf den Isolationszustand geprüft werden. Als Referenz kann dabei ein reduzierter Stoss beim gleichen Transformator oder ein Teststoss an einem Referenztransformator dienen. Die Niederspannungswicklungen werden dabei offen gelassen, damit die Auswertung nicht durch zusätzliche Ströme verfälscht wird. Nicht gestossene Primärwicklungen andererseits werden geerdet, da sie einen Einfluss auf die Impedanz und somit auf die Fehlerauswertung haben.

Der Standard sieht keine Protokollierung oder Abspeicherung von Messungen vor, es handelt sich um einen reinen Go/Nogo-Test. Die Empfindlichkeit der Messeinrichtung zur Fehlererkennung muss so ausgelegt sein, dass eine einzige kurzgeschlossene Windung erkannt wird.

3. Prüfung von Verteiltransformatoren

Die Hersteller von Verteiltransformatoren bauen die unterschiedlichsten Typen in grossen Stückzahlen. Sie arbeiten unter folgenden Rahmenbedingungen:

- auf dem Markt erzielbarer Verkaufspreis ca. 1000 USD
- Leistungsbereich 5 - 170 kVA
- Durchlaufzeit je nach Typ und Grösse 1 bis 15 Minuten/Trafo, davon Impulsmessung < 20 Sekunden
- Ausstoss ca. 3000 Transformatoren pro Woche
- Angelerntes Personal an halbautomatischen Fertigungsstrassen

Sie erwarten von einer Messumgebung:

- Schnelle Messung und Auswertung
- Sichere Diagnose Pass/Fail
- Zusammenspiel mit bestehender Umgebung
- EMV-Sicherheit

Wegen der hohen Stückzahlen werden fehlerhafte Transformatoren in der Regel nicht sofort repariert, sondern zur Seite gestellt und in einem anderen Labor genauer untersucht, wenn der Verdacht auf einen systematischen Fehler besteht.

Die Blitzstossmessung erfolgt mit zwei Kanälen, einem Spannungs- und einem Stromkanal. Entscheidend zur Diagnose eines Fehlers ist die Strommessung. Das grundlegende Problem besteht darin, dass im Fehlerfall zwar der induktive Strom stark ansteigt, jedoch wegen seiner geringen Amplitude im vielfach grösseren kapazitiven Strom untergeht. Ein typisches Verhältnis induktiver Strom zu kapazitivem Strom ist in der Grössenordnung 1 zu 100. Bei Leistungstransformatoren fällt der kapazitive Strom nicht so sehr ins Gewicht wie bei den

Verteiltransformatoren, sodass Windungsschlüsse mit einer Erdstrommessung und ohmschen Shunts entdeckt werden. Bei Verteiltransformatoren hingegen würde ein rein ohmscher Shunt keine Fehler erkennen lassen. Bild 3 zeigt einen typischen Stromverlauf eines fehlerhaften Transformators, gemessen mit einem ohmschem Shunt.

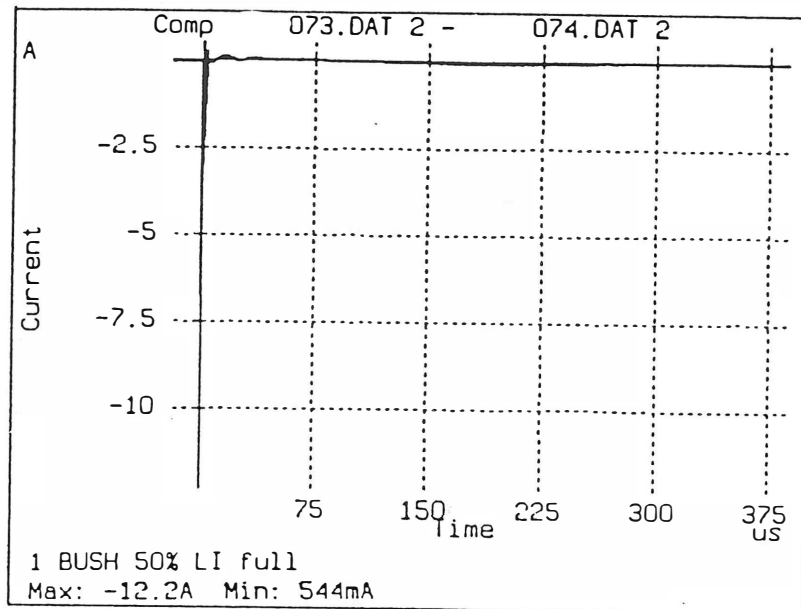


Bild 3: Stromverlauf eines fehlerhaften Transformators, gemessen mit ohmschem Shunt

Der anfängliche Strompeak muss ausgeblendet werden, da er rein kapazitiver Natur ist und zur Fehlererkennung nichts beiträgt. Erst der Verlauf nach dem Peak ist für die Diagnose interessant.

Durch Verwendung eines ohmschen Shunts mit vorgeschaltetem Kondensator wird der zu messende Strom integriert. Dies unterdrückt den kapazitiven Anfangspeak und erhöht die Sensibilität der Messung. Bild 4 zeigt den gleichen Fehlerfall durch eine kurzgeschlossene Windung wie in Bild 3, diesmal mit einem gemischt resistiv/kapazitiven Shunt gemessen.

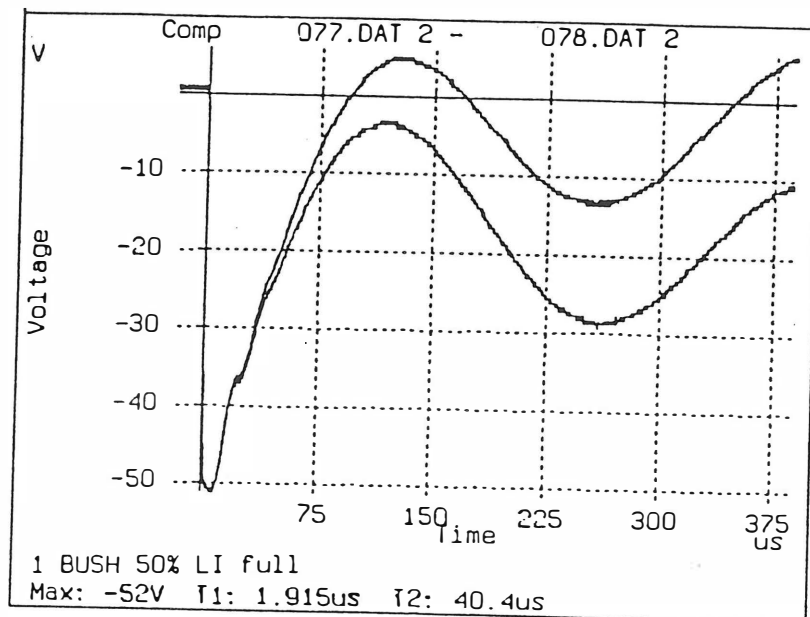


Bild 4: Strom eines fehlerhaften Transformators, gemessen mit kapazitiv/resistivem Shunt

4. Erfahrungen aus der Entwicklung

Für Blitzstossmessungen und Kurvenvergleiche haben sich digitale Messsysteme mit ~10 MHz Bandbreite und einer Auflösung von 9 oder 10 Bits bewährt. Gegenüber analogen Fehlerortungsgeräten, wie sie bis anhin eingesetzt wurden, verfügt ein digitales Gerät über weitere Vorteile:

- Flexibilität in der Anwendung
- Fernsteuerbarkeit und Programmierbarkeit
- Kurven und Auswertungen speicherbar

In Zusammenarbeit mit einem grossen Verteiltransformatorhersteller entwickelte Haefely-Trench ein digitales Messgerät für die Impulsprüfung.

Das Gerät soll einfach bedienbar und dennoch flexibel sein, zuverlässig arbeiten, sich via serieller Schnittstelle in bestehende Fertigungsstrassen integrieren lassen und den Fabrikausstoss durch weitgehende Automation erhöhen. Mit dem Einsatz einer graphischen Benutzeroberfläche und leistungsstarker Prozessoren konnten alle Forderungen realisiert werden.

Hardwaremässig besteht das RIAS 735 (Routine Impulse Analysing System) aus einem 10-Bit-Transientenrecorder und einem IBM-kompatiblen Rechner mit Hard- und Floppydisk. Zwei serielle Schnittstellen ermöglichen Maus- und Fernbedienungsanschluss. Bild 5 zeigt das Blockschaltbild.

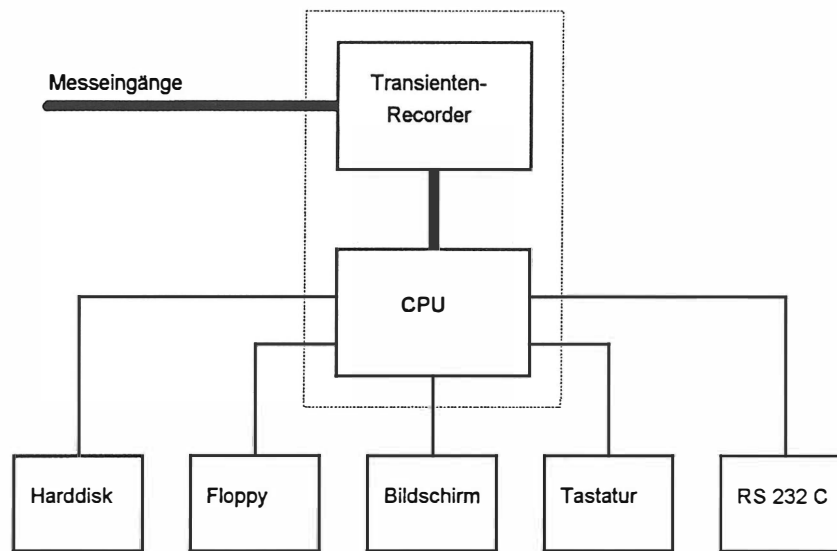


Bild 5: Blockschaltbild

Das Gerät ist einem handlichen Tischgehäuse untergebracht, um den engen Platzverhältnissen in den Fertigungsstrassen gerecht zu werden. Bild 6 zeigt das komplette Gerät.

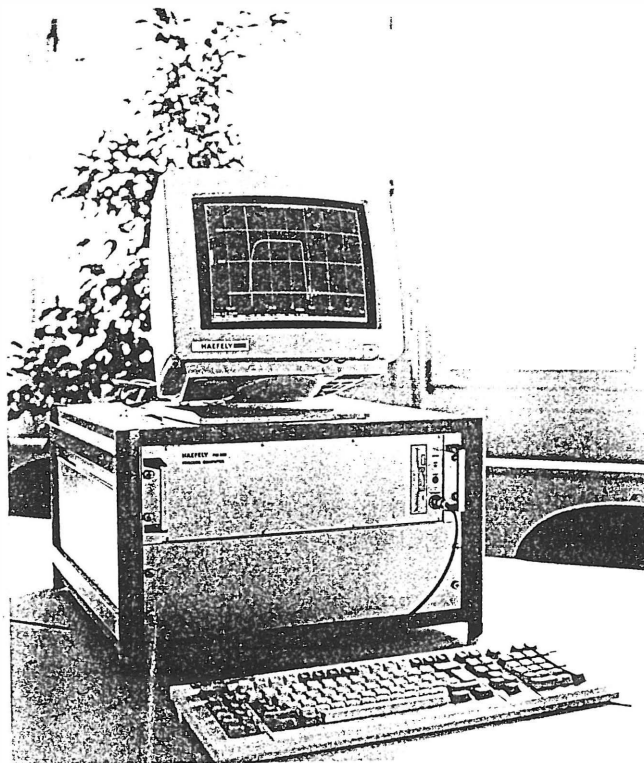


Bild 6: RIAS 735

Bei der Softwareentwicklung wurde darauf geachtet, dass grosse Knöpfe und sinnvolle Bilder den Benutzer einfach zum Ziel bringen. Sowohl Einzelmessungen als auch Prüfsequenzen sind

durchführbar und auf die jeweilige Anwendung anpassbar. Aufgezeichnete Messungen lassen sich bei Bedarf speichern und nachträglich analysieren. Bild 7, 8 und 9 zeigen Ausschnitte der Benutzeroberfläche und einer Prüfsequenz.

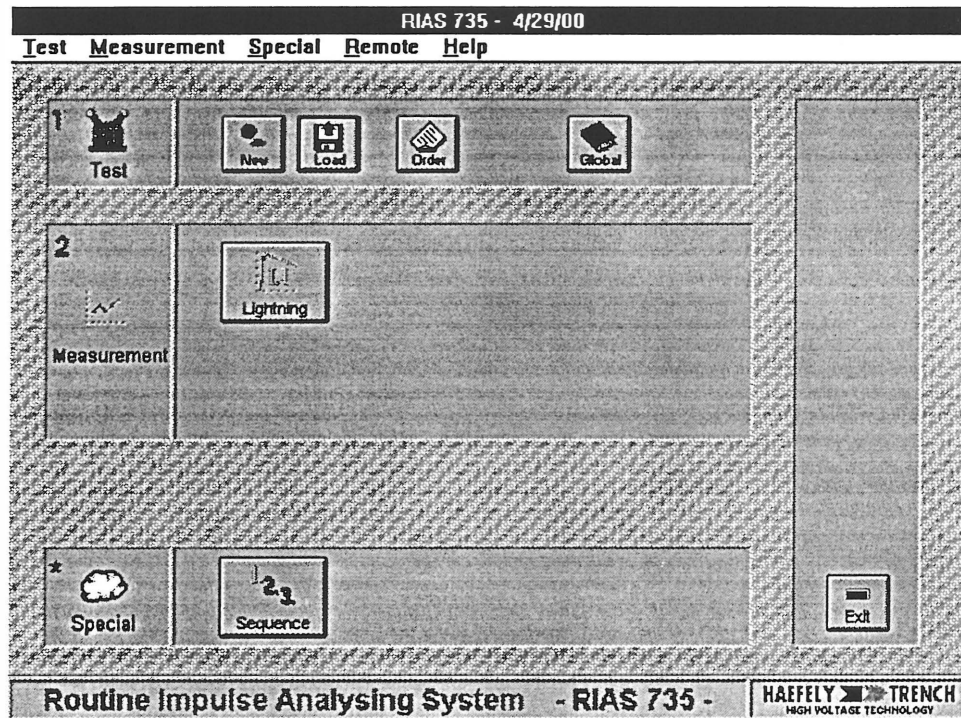


Bild 7: Bedienung mit Knöpfen

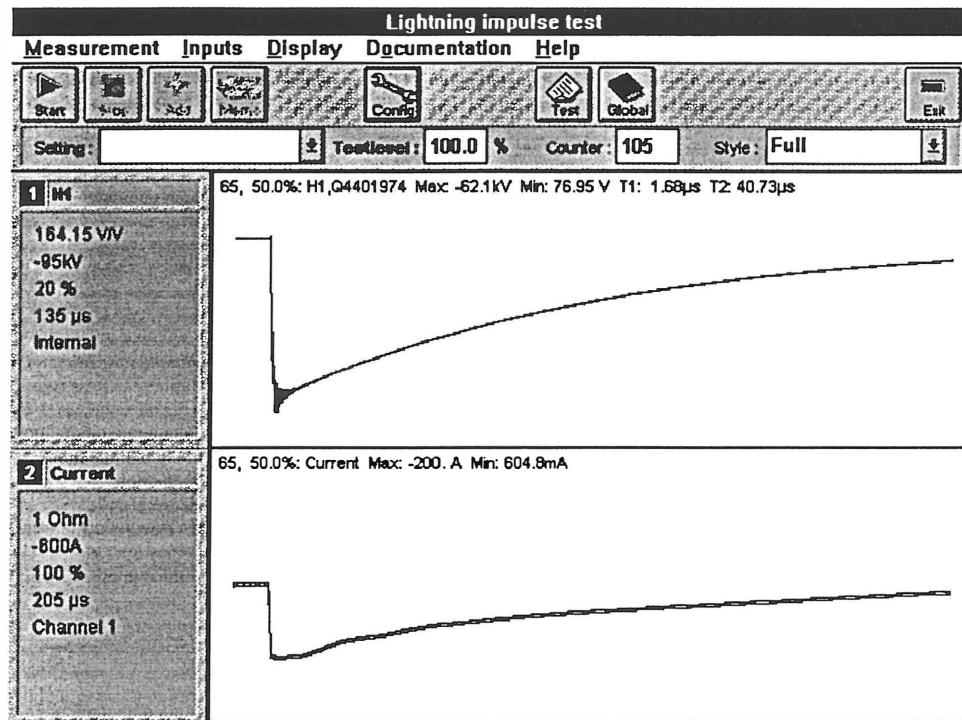


Bild 8: Referenz- und Vergleichsstoss eines Verteiltransformators

The screenshot shows the 'Sequence editor - FAULT_DE.S00' software interface. The top menu bar includes 'Sequence' and 'Edit'. Below the menu is a toolbar with icons for 'Compile', 'New', 'Delete', 'Help', and 'Exit'. The main display area shows a sequence of commands for fault detection:

```

Sequence to edit:
FAULT_DETECTION

SetTerminal('Current', 1, Shunt, Ch2BIL);
SetInput(100, 0.0002, Ch1Trigger);

Counter := GetCounter;
Diff := 0;
MaxAcc := 4000 * Ch2BIL * 0.02; (* 4000 Samples to compare, 2% of BIL per Sample)

(* Start the reduced shot and wait until trigger *)

StartMeasurement(50);
repeat
until DataReady;

(* Check result *)

UseChannel(1);
If (Max < 0.25 * Ch1BIL) and (Error = 0) then
  Error := 1;
end;
If (Max > 0.75 * Ch1BIL) and (Error = 0) then
  Error := 2;
end;
If (T1 < 0.0000012 * 0.8) and (Error = 0) then

```

Bild 9: Ausschnitt eines Prüfablaufprogramms

5. Schlussfolgerung

Durch den neuen ANSI/IEEE Standard C57.12.90 sind amerikanische Hersteller von Verteiltransformatoren ab sofort gezwungen, die Qualität ihrer Produkte auch mit einer Impulsprüfung zu kontrollieren. Was für Leistungstransformatoren schon längst als normal angesehen wurde, ist nun auch für kleinere Ein- und Dreiphasentransfos eingeführt worden.

Damit die Hersteller trotz dieser Stückprüfung kostengünstig anbieten können, werden vermehrt Messungen mittels digitaler Technik und Analyse durch Software eingesetzt. Sie verwenden ausserdem spezielle Shunts, um den hohen kapazitiven Strom bei der Messung zu unterdrücken, denn nur der induktive Anteil liefert Informationen über den Wicklungszustand.

Der Einsatz moderner Technik hat auch den Vorteil einfacher Integrierbarkeit in bestehende halb- oder vollautomatische Fertigungsstrassen. Der neue Standard hat Pioniercharakter und es ist gut vorstellbar, dass Länder mit ähnlicher Netzverteilstruktur dem amerikanischen Beispiel folgen werden.

Für Haefely-Trench stellte sich die Aufgabe, innerhalb kurzer Zeit und in enger Zusammenarbeit mit den Kunden ein einfach zu bedienendes Messgerät zu realisieren. Es zeigte sich, dass durch die Verwendung von Standardmodulen, die aus der DIAS- und HIAS-Serie stammen und mit der grossen Erfahrung beim Einsatz digitaler Messtechnik eine kostengünstige und optimale Lösung gefunden werden konnte.

Literaturverzeichnis

- [1] Ballard D.
Routine impulse testing on distribution transformers
- [2] Beardsley K. D., McMorris W. A., Stewart H.C.
Voltage stresses in distribution transformers due to lightning currents in low-voltage circuits
- [3] Foust C. M., Rohats N.
Insulation testing of electric windings
- [4] Stewart H. C., Holcomb J. E.
Impulse-failure-detection methods as applied to distribution transformers