

Referenzmeßsystem für Stoßspannungsmessungen

Albert Claudi
Haefely Basel

1.0 Einführung

Viele mechanische und elektrische Größen lassen sich auf ein messtechnisches Normal zurückführen und sind mit Präzisionsinstrumenten viel genauer messbar, als es im Alltag normalerweise notwendig ist. So werden zum Beispiel Gleichspannungsteiler über hochgenaue Widerstandsmessbrücken bis auf das physikalische Normal der Spannung zurückverfolgt. Dabei sind die für die Kalibrierung verwendeten Messgeräte um Zehnerpotenzen genauer als es die Normen für Gleichspannungsmessungen vorschreiben.

Sowohl die Rückverfolgbarkeit als auch ein sehr viel genaueres Messsystem zur Kalibrierung sind für Hochspannungs-impulsmessungen nur eingeschränkt vorhanden. In der Vergangenheit wurde daher versucht über eine Hilfsgrösse, der Antwortzeit eines Messsystems, eine Aussage über die Genauigkeit eines Impulsmesssystems zu erhalten. Doch schon bald nach dem Festlegen einer entsprechenden IEC-Empfehlung zeigte es sich, das es Hochspannungsteiler gab, die zwar exzellente Response-Zeiten aufwiesen, aber für die Messung einer Blitzstossspannung eher ungeeignet waren.

Zu dieser Aussage gesellten sich Versuchsergebnisse internationaler Vergleichstests von Impulsmesssystemen, bei denen zum Teil gravierende Differenzen in den Amplituden- und Zeitparametermessungen auftraten [1].

Aus diesen Gründen wurde eine Revision der IEC-Empfehlungen begonnen, die auf der Grundlage von Vergleichsmessungen basiert und mit verschiedenen Tests und routinemässigen Überprüfungen sicherstellt, das Impulsmesssysteme innerhalb der vorgeschriebenen Toleranzen verlässlich arbeiten [2].

In diesem Beitrag werden die erforderlichen Prüfungen zur Kalibrierung erläutert, ausgehend vom jetzigen Stand der

Revision und beispielhaft für ein Messsystem, bestehend aus Hochspannungsteiler und Digitalrecorder. Dabei kommt auch die praktische Durchführung und die notwendige apparative Ausstattung zur Sprache.

2.0 Geforderte Messungen und Tests für die Kalibrierung eines Impulsmesssystems

Grundsätzlich empfohlen werden zum einen Prüfungen, die beim Hersteller des Messsystems durchgeführt werden, und andererseits Tests, die der Anwender in seinem Prüflabor durchführt.

Die Herstellertests lassen sich unterteilen in die Typprüfungen für den Hochspannungsteiler, die Routineprüfungen für Teiler und Recorder und die Prüfungen für das ganze System, sofern ein solches komplett geliefert wird (Tabelle 1)

Tabelle 1 Herstellerprüfungen

Typenprüfungen für den Hochspannungsteiler:
Langzeitstabilität
Temperaturstabilität
Dynamisches Verhalten
Umgebungseffekte
Maximale Anzahl von Impulsapplikationen
Routinetests für den Hochspannungsteiler:
Ermittlung des Skalierungsfaktors
Linearität
Kurzzeitstabilität
Hochspannungsprüfung
Temperatureffekt
Routinetests für den Digitalrecorder:
Gleichspannungskalibration
Dynamische differenzielle Nichtlinearität
Interner Störpegel
Zeitkalibration
Anstiegszeit
Skalierungsfaktor für Impulsmessungen
Interference Test (mit Messkabeln)
Ripple Messung
Systemprüfungen
Skalierungsfaktor für das ganze System
Dynamisches Verhalten des gesamten Systems

Die Anwenderprüfungen sollen in der Konfiguration gemacht werden, in der sich das zu prüfende Messsystem normalerweise befindet. Es wird unterschieden in Performance Tests und Performance Checks (Tabelle 2).

An dieser Stelle soll der Übersichtlichkeit halber keine detaillierte Erläuterung der Herstellerprüfungen erfolgen, zum Teil wird dies in anderen Beiträgen dieses Symposium erfolgen, so zum Beispiel für die Kalibrierung von digitalen Recordern. Systemlieferanten von Messsystemen für Impulsmessungen wie die Firma Haefely besitzen die notwendige Ausrüstung und Erfahrung um die Herstellerprüfungen gemäss den internationalen Vorschriften durchzuführen.

Wichtig für den Anwender sind die Prüfungen, die er selbst durchführen muss oder zumindest veranlassen muss. Hier stellt sich die Frage des notwendigen Know-Hows, des Aufwands an Zeit und Personal, sowie der notwendigen apparativen Ausstattung für die Prüfungen.

3.0 Referenzmesssystem für Impulsmessungen

Die wichtigste Komponente zur Durchführung der Performance Tests ist ein Referenzmesssystem.

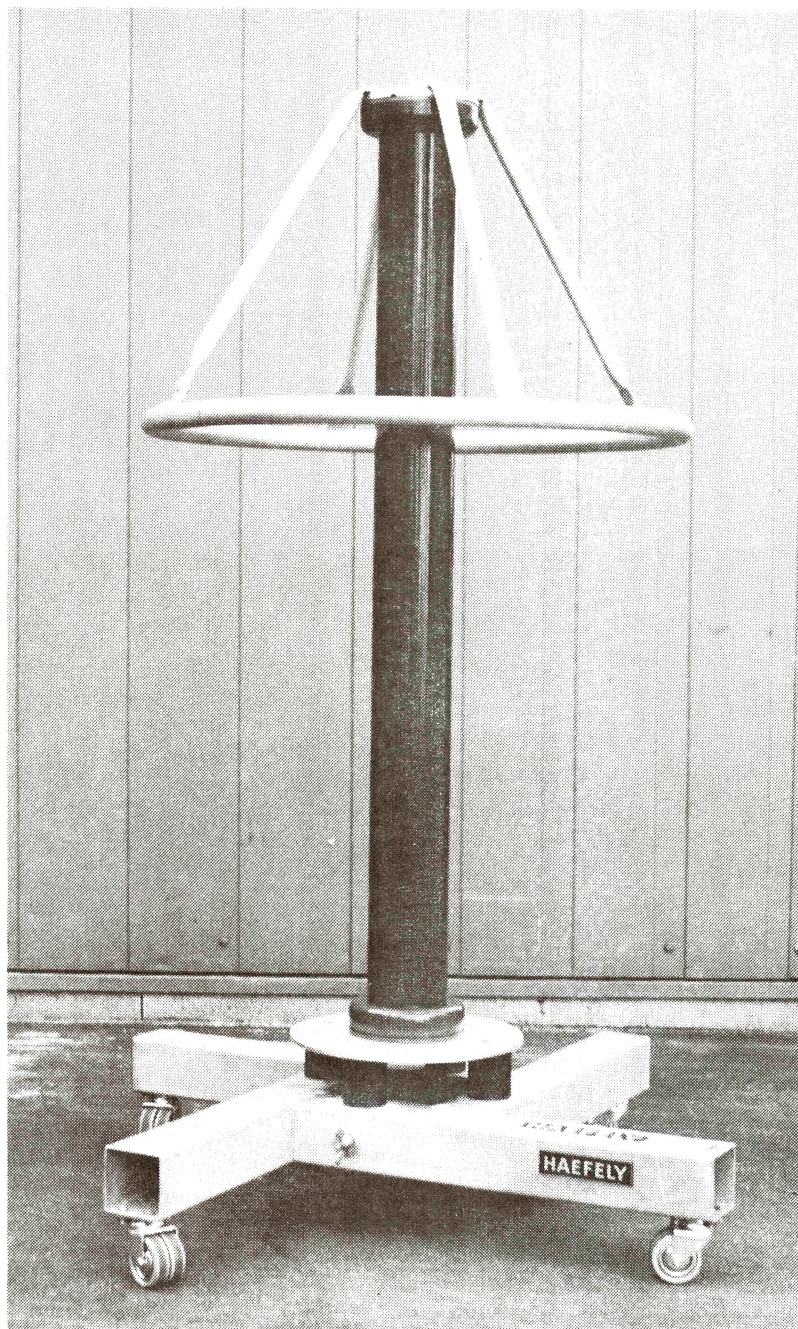
Ein Referenzmesssystem unterliegt strengen Vorschriften, was die Kalibrierung in regelmässigen Abständen und die Rückverfolgung gemäss nationaler Standards angeht. Zusätzlich wird durch internationale Vergleichsmessungen mit anderen akkreditierten Labors sichergestellt, dass überall auf der Welt Impulsmessungen unter gleichen Bedingungen stattfinden können.

Die Messunsicherheiten eines Referenzmesssystem für Blitz- und Schaltstossmessungen sind mit 1 % für den Scheitelwert und 5 % für die Zeitparameter festgelegt. Die Spannung bei der die Vergleichsmessung erfolgt soll dabei grösser als 20 % der Nennspannung sein. In der Regel reicht also ein Refe-

Performance Test
Messung des Skalierungsfaktors
Interference Test
Dynamisches Verhalten
Performance Check
Bestimmung des Skalierungsfaktors
Messung der Sprungantwort
Pulskalibration des Digitalrekorders

Tabelle 2 Anwenderprüfungen

Bild 1 Referenzteiler für Blitzstoßspannungen



renzteiler mit einigen 100 kV zur Kalibration aus. Bild 1 zeigt den Haefely Referenzteiler für volle und abgeschnittene Blitzstossmessungen mit einer Nennspannung von 400 kV. Es handelt sich um einen rein ohmschen Teiler von 2700 Ohm mit einem externem Dämpfungswiderstand von ca. 300 Ohm. Die Ausgangsspannung beträgt 1400 V und ist somit kompatibel zur Haefely-Messgerätefamilie wie z.B. dem Impulsanalysesystem HIAS 742 (Bild 2), der sich mit seinen technischen Spezifikationen und Möglichkeiten zur Vergleichsmessung hervorragend zu Komplettierung eines Referenzmesssystems eignet.

Generell besteht die Möglichkeit, die Messung von einem akkreditierten Labor mit dem Referenzteiler durchzuführen. Größere Labors und Prüffelder werden ein eigenes Referenzmesssystem unterhalten und eventuell selbst eine Akkreditierung anstreben.



Bild 2 Digitales-Impulsanalyse-System für Hochspannungsmessungen HIAS 742

4.0 Performance Test

Der Performance Test soll durch ein akkreditiertes Labor oder zumindest unter Beobachtung eines akkreditierten Labors durchgeführt werden. Nach dem ersten Performance Test, der das Messsystem für den täglichen Gebrauch qualifiziert, sollen diese Test in Abständen von minimal einem und maximal fünf Jahren wiederholt werden.

4.1 Messung des Skalierungsfaktors

Der Skalierungsfaktor ist definiert als der Faktor, mit dem der Ausgang oder die Anzeige eines Gerätes zu multiplizieren ist, um die Eingangsgröße zu erhalten. Gemessen wird der Skalierungs-

faktor, indem das zu kalibrierende Messsystem mit dem Referenzmesssystem verglichen wird. Für insgesamt 10 Messungen wird sodann der Mittelwert gebildet. Unter der Voraussetzung dass die Standardabweichung kleiner als 1 % ist, wird dieser Mittelwert als Skalierungsfaktors des Messsystem definiert.

Ein solcher Test kann mit dem oben erwähnten HIAS 742 problemlos durchgeführt werden. Dazu werden im Automatik-Modus die Impulse laufend aufgezeichnet und gespeichert, und am Ende des Test ein Protokoll mit allen gemessenen Werten erstellt. Ueber einen Konfigurationsfile können alle Einstellungen des Messsystems abgespeichert werden, um sie bei der nächsten turnusmäßigen Wiederholung der Skalierungsmessung sofort parat zu haben.

4.2 Interference Test

Dieser Test wird mit einem repräsentativen Impuls bei einer Spannung zwischen 50 % und 100 % der Nennspannung durchgeführt. Das Messkabel wird an der Teilerseite kurzgeschlossen ohne irgendwelche Änderungen am Erdsystem vorzunehmen. Der gemessene Störpegel darf 1 % der angelegten Stossspannungsamplitude nicht überschreiten.

Auch dieser Test lässt sich mit dem HIAS in einer Simultanmessung mit 2 Kanälen durchführen. Während ein Kanal die Stoßspannung aufzeichnet, dient der andere zur Störsignalmessung. Auf diese Weise sind alle Testinformationen direkt im Testprotokoll dokumentiert.

4.3 Dynamisches Verhalten

Zwei Prüfungen werden im Rahmen des Performance Tests zur Evaluation des dynamischen Verhalten eines Messsystems gefordert.

a) Vergleichsmessung gegen ein Referenzmesssystem.

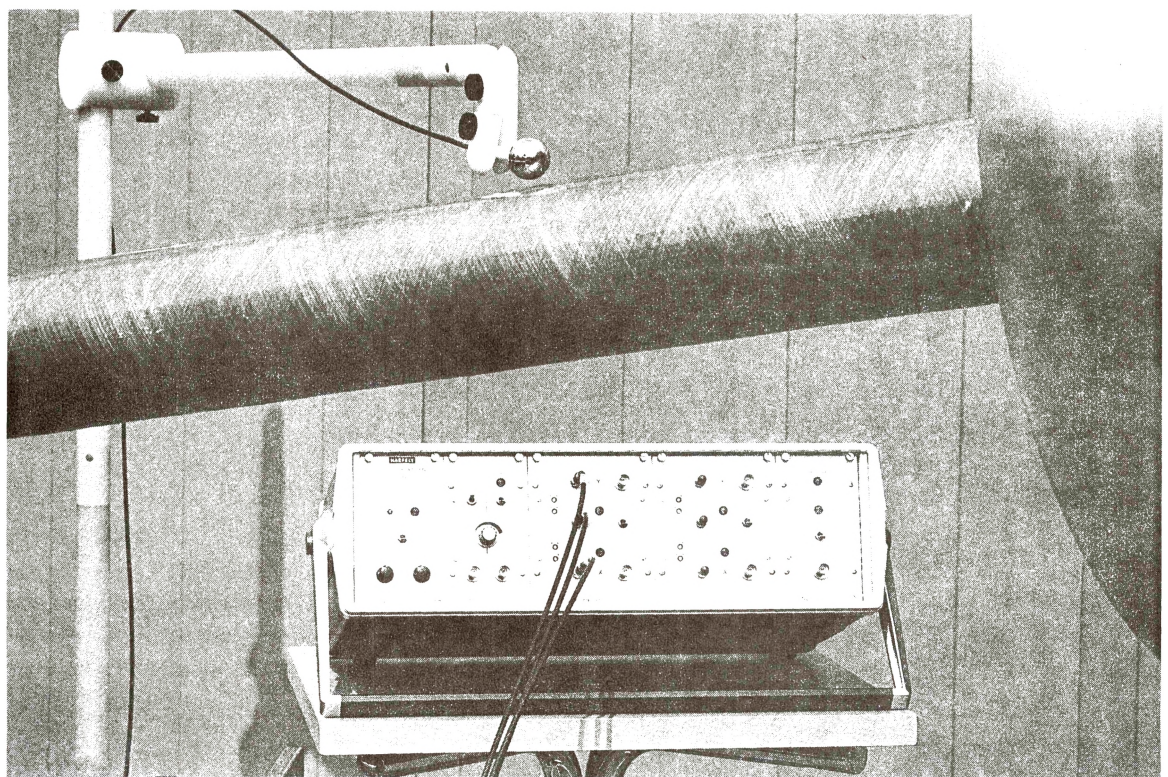
Der Testaufbau ist identisch zur Skalierungsfaktormessung, aber in diesem Fall werden die Zeitparameter erfasst.

Gegenüber dem Referenzmesssystem ist eine maximale Abweichung von 10 % zulässig, falls die Standardabweichung bei 10 Impulsen geringer als 5 % ausfällt.

In einer weiteren Bedingung wird das Messsystem als tauglich qualifiziert, wenn es in der Lage ist, dem Impuls überlagerte Oszillationen wirklichkeitsgetreu wiederzugeben. Diese Bedingung wurde aufgenommen, um nachweisen zu können, dass die möglichen Schwingungen in ihrer Amplitude nicht grösser sind, als es die IEC 60-1 fordert.

Diese allgemeine Aussage wird quantifiziert, indem die obere Bandbreite f_2 des Messsystems vorgeschrieben wird.

Bild 3 Feldmesssystem FM 501



Für Oszillationen im Scheitelwert gilt:

$$f_{\max}/\text{MHz} = 75 / (2 \cdot H) \quad (4.3.1)$$

mit H: Höhe der Schleife Generator-Lastkapazität. Maximal braucht f2 aber nicht grösser als 25 MHz zu sein.

Für Oszillationen in der Front sind die obigen Werte mit dem Faktor zwei zu multiplizieren, entsprechend einer maximalen Grenzfrequenz von 50 MHz.

Diese Forderung würde mit Sicherheit viele Stossspannungsteiler und Messsysteme disqualifizieren. Beispielsweise ergibt sich für einen Stossspannungsteiler mit 1600 kV Nennspannung und einer Höhe von 5 Metern daraus eine Bandbreite von 7,5 MHz bzw. 15 MHz. Dieser Wert ist mit einem bezahlbaren Teiler nicht zu erreichen. Aus diesem Grund wurde bewusst eine Ausnahmeregel geschaffen, die es erlaubt, die hochfrequenten Oszillationen mit einem anderen Messgerät nachzuweisen.

Geeignet für eine solche Messung ist beispielsweise ein Feldmesssystem wie in Bild 3 mit einer Bandbreite von 20 MHz. Die Impulsform wird mit einem kapazitiven Sensor gemessen und mit einem Lichtleiter zum Empfängermodul geleitet. Da nur eine Messung der Oszillationen erfolgt, kann in diesem Fall auf eine Amplitudeneichung verzichtet werden. Bild 4 zeigt eine Messung mit dieser Sonde zur Kontrolle der Schwingungen im Anstieg der Blitzstossspannung.

b) Messung der Sprungantwort

Die Sprungantwort des Messsystems wird gemessen und aufgezeichnet. Eine Auswertung der Sprungantwort erfolgt jedoch nicht, da dieses Oszillogramm lediglich als Referenz für spätere Messungen dient. Die Messung stellt somit praktisch einen Fingerabdruck des Messsystems dar, mit dem später Abweichungen und Fehler im Messsystem erkennbar sind.

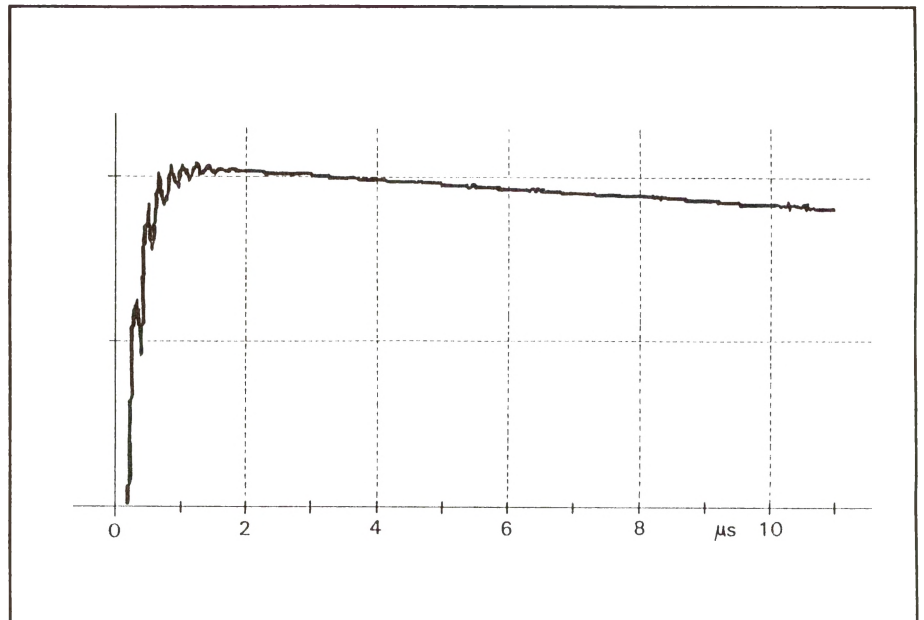


Bild 4 Blitzstoßspannung mit überlagerten Schwingungen, gemessen mit einem FM 501

5.0 Performance Check

Die Performance Checks finden im Gegensatz zu den Performance Tests sehr viel häufiger statt, in der Regel vor und nach jedem Tag, an dem das Messsystem benutzt wird, und jedesmal dann, wenn der Messaufbau wesentlichen Änderungen unterliegt. Insofern ist hier der Frage nach einem einfachen und zuverlässigen Testverfahren erhöhte Bedeutung beizumessen.

5.1 Skalierungs-Check

Dieser Check kann entweder durch eine Vergleichsmessung mit einem anderen qualifizierten Messsystem, einer Kugelfunkenstrecke, oder aber als Einzelmessung für Teiler und Digitalrekorder erfolgen. In Bezug auf eine effiziente und schnelle Durchführung erscheint die letzte Methode am einfachsten zu sein, da der Skalierungsfaktor des Teilers mit einem präzisen Übersetzungsmessgerät schnell und genau determinierbar ist.

Das Haefely Ratio Meter RM 430 (Bild 5) braucht keine externe Speisung und misst mit einer Frequenz von 1 kHz das reale Uebersetzungsverhältnis unter Berücksichtigung der Umgebung und des Messkabels.

Für den Skalierungs-Check des Digitalrekorders eignet sich der in Kapitel 5.3 beschriebene Impulskalibrator.

5.2 Dynamik-Check

Auch für den Dynamik-Check gibt es alternative Möglichkeiten. Entweder kann eine Vergleichsmessung mit einem anderen nach IEC qualifiziertem Messsystem durchgeführt werden, oder die Schrittantwort wird gemessen und mit früheren Oszillogrammen verglichen. Treten dabei grössere Abweichungen auf, ist ein erneuter Performance Test erforderlich.

Auch hier ist die Messung der Schrittantwort wohl schneller und mit weniger Aufwand zu erledigen als ein Vergleichstest. Dies trifft vor allem dann zu, wenn ein Generator zur Erzeugung des Einheitssprungs schon an einer festen Stelle,

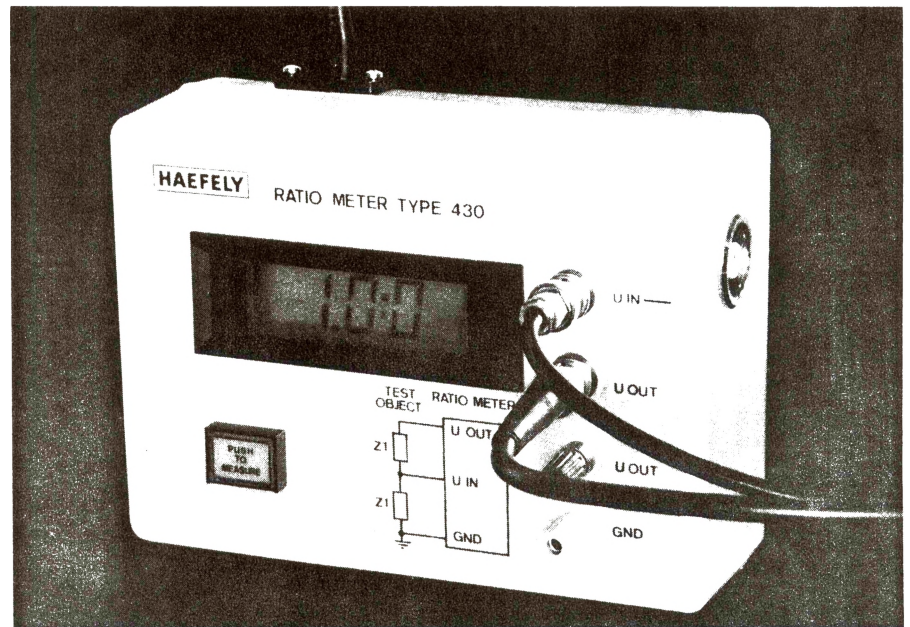


Bild 5 Übersetzungsmessgerät RM 430

z.B. an der Wand des Prüflabors in der richtigen Höhe befestigt ist und nur noch durch einen dünnen Draht mit dem Teiler verbunden werden muss. In Bild 6 ist ein geeigneter Generator dargestellt, der Rechteckimpulse mit Anstiegszeiten von unter 5 Nanosekunden bei einer Spannung von bis zu 90 V abgibt. Mit einer externen DC-Quelle können Spannungen bis 300 V geschaltet werden.

Bild 6 Einheitssprung-Generator USG 40

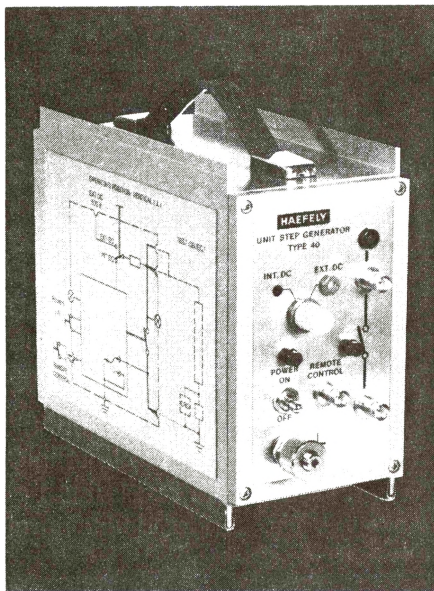


Bild 7 Sprungantwort eines 2400 kV gedämpft kapazitiven Teilers

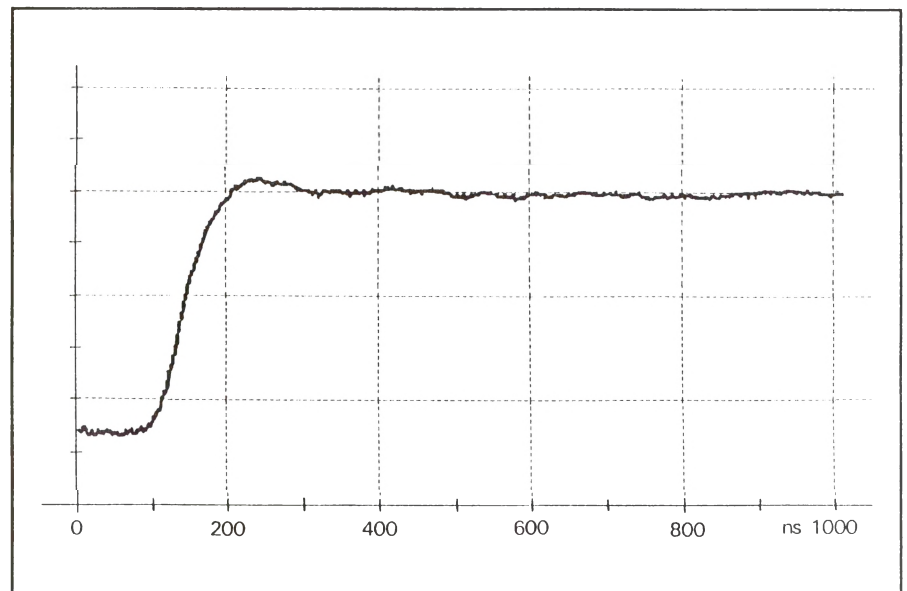


Bild 7 zeigt eine gemessene Sprungantwort, die während eines Performance Checks für einen gedämpft kapazitiven Stossspannungsteiler für 2400 kV gemessen wurde.

5.3 Performance Check des Digitalrekorders

Für Digitalrekorder wird ein sogenannter Impuls-Kalibrations-Check vorgeschrieben [3,4]. Anhand von genau definierten Referenzimpulsen werden sowohl die Amplituden als auch die Zeitparameter überprüft.

Da Digitalrekorder für Hochspannungsmessungen zur Erlangung eines günstigen Signal zu Störabstandes einen hohen Eingangspegel von ca. 1 bis 1,6 kV besitzen, war es bislang ein Problem, Referenzimpulse mit einem solch hohen Pegel zu generieren.

Inzwischen wurde ein Kalibrator entwickelt, der die IEC Anforderungen in allen Punkten erfüllt und die unterschiedlichsten Impulsformen erzeugt. Darüberhinaus erzeugt dieses Gerät automatisch die geforderten IEC Impulsfolgen zur Kalibration mit der Möglichkeit eines Protokolls auf einem angeschlossenen Drucker. Integriert im HIAS 742 vollführt dieser Kalibrator auf Softwareabruf eine vollständige Kalibration aller Kanäle inklusiv eines Protokolls. Die Umschaltung der Eingänge des HIAS auf den Kalibrator erfolgt dabei ebenfalls automatisch.

6.0 Zusammenfassung

Die zur Zeit in der Entstehung befindlichen neuen Empfehlungen der IEC-Norm 60-2 basieren auf dem Prinzip der Vergleichsmessungen. Als wichtigste Neuerung werden Referenzmesssysteme eingeführt, die die Genauigkeit und Stabilität von Impulsmesssystemen sicherstellen sollen. Dieses resultiert in aufwendigerer Messtechnik und höherem Prüfaufwand während der Abnahmeprüfungen, aber auch während des Betriebs der Messsysteme. Es wird gezeigt, dass professionelle und zuverlässige Messsysteme existieren, die leicht in der Handhabung sind und mit der sich die geforderten Tests in kurzer Zeit realisieren lassen.

7.0 Literatur

- [1] K. Schon et al, 'International Comparison of HV Impulse Dividers', International Symposium of High Voltage Engineering ISH, Dresden, Vol 6, pp.39-42.
- [2] IEC, High voltage test technique, IEC 42 (Secr) 71, Revision of IEC 60-3 and 60-4.
- [3] IEC, Digital Recorders for Measurement in high voltage impulse tests. Part I - Requirements for digital recorders, IEC Publication 1083-1, 1991.
- [4] IEEE Standard for digital recorders for measurements in high voltage impulse tests, STD 1122-1987