

HIAS: Ein hochauflösendes Impulsauswertesystem, Erfahrungen aus der Geräteentwicklung

Christian Josephy
Haefely Basel

■ Einleitung

In der Hochspannungstechnik sind analoge Messinstrumente immer noch sehr verbreitet, doch zeichnet sich seit einigen Jahren ab, dass diese 'konventionelle' und robuste Messtechnik durch eine neue Generation abgelöst wird, der Digitalmesstechnik. Was im Niederspannungsbereich seit langer Zeit als Stand der Technik gilt, ist im Hochspannungsprüffeld noch da und dort umstritten. Folgende Überlegungen spielen dabei eine Rolle:

- Digitaltechnik ist schwer durchschaubar
- EMV ist wichtigstes Kriterium bei der Messung von Hochspannungsimpulsen; Digitale Messtechnik ist empfindlicher als die Analogtechnik
- Signaltriggerung muss zuverlässig erfolgen
- Bedienung des Messsystems muss einfach und verständlich sein
- Zuverlässigkeit, Robustheit und lange Lebensdauer sind gefordert

Die in der Vergangenheit abwartende Haltung hat sich jedoch grundlegend geändert. Immer mehr Laboratorien und Prüffelder setzen Messsysteme auf digitaler Basis ein und neue, das Gebiet der Digitalmessung im Hochspannungsprüffeld betreffende Normen, entstehen. Die Vorteile eines digitalen Impulsanalysesystems lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Je nach Wandelprinzip höhere Genauigkeit als bei analoger Messtechnik, sowohl was den Amplitudenverlauf als auch die zeitliche Darstellung anbetrifft

- Zeitaufwendiges analysieren der Kurven auf (ungenauen) Polaroidfotos entfällt, da Berechnungen vom Prozessor erledigt werden

- Messungen können nach dem Aufnehmen beinahe beliebig dargestellt und begutachtet werden, beispielsweise stark vergrößert, als Punkte oder Linie, mit Gitternetz etc.

- Einfache Kurvenvermessung durch Cursors am Bildschirm möglich

- Mehrfarbige Darstellung erleichtert die Analyse von Mehrkanalmessungen

- Abspeichermöglichkeit der gemessenen Kurven auf Disketten, was eine schnelle und platzsparende Archivierung ermöglicht

- Vielfältige Protokollierungsmöglichkeiten, sowohl in numerischer als auch graphischer Form

- Erweiterte Analysemethoden, z.B. Differenzbildung, Transferfunktion (Lit. [1])

Auf der anderen Seite bringt die Digitalmesstechnik ganz neue Aspekte:

- Prinzipbedingtes Bitklappern z.B. der Nulllinie lässt die Vermutung aufkommen, das Messsystem als Ganzes sei ungenau (Anmerkung: bei einem 8-Bit-System entspricht das Klappern um ein Bit einer Amplitudenungenauigkeit von 0.4 %, bei einem 10-Bit-System von sogar nur 0.1 %)
- Stufenartige Linien anstatt glatter Kurven, wie man dies von der Analogtechnik gewohnt ist

- Die seit langem anerkannten Auswerteverfahren von Messkurven auf deren charakteristische Daten lassen sich nur mit Einschränkungen in digitalen Systemen implementieren. Wo befindet sich z.B. Tcr bei einem Schaltstoss, wenn sich Dutzende von Messwerten auf dem gleichen Bitlevel befinden?
- In der höchsten zeitlichen Auflösung und mit eventuellem Vergrössern der Kurvenverläufe wird das Messsignal in der unbearbeiteten Darstellung als Folge von Punkten angezeigt. Daraus wird oftmals abgeleitet, dass zwischen den Punkten Information verloren geht, die in der analogen Darstellung mit einem Stossoszillographen durch den stigen Kurvenzug scheinbar vorhanden ist.

Obigen Punkten ist eigentlich nur zu entgegnen, dass zur Anwendung der Digitaltechnik ein gewisses Verständnis eben dieser Technologie vorausgesetzt werden muss. Die scheinbare Ungenauigkeit z.B. der 'zerhackten' Kurvenverläufe ist, wenn man die Abweichungen von der idealen Kurve in Prozenten betrachtet, eigentlich eher klein, sicher jedoch kleiner als bei der Analogmesstechnik. Trotzdem zeigt eine Fülle von erscheinenden Artikeln in der internationalen Fachpresse, dass offenbar der Diskussionsbedarf noch recht hoch, was sich letztendlich auch in der Arbeit der Normengremien niederschlägt (Lit. [2], [3], [4]).

■ Erfahrungen aus der bisherigen HIAS-Serie

Die Firma Haefely stellt seit einiger Zeit digitale Impulsmesssysteme her, die in vielen Ländern mit Erfolg betrieben werden. In diesem Abschnitt ist ein kurzer Abriss zu finden, wie sich das 10-Bit Mess- und Analysesystem HIAS im Laufe der Jahre entwickelt hat.

Erste Entwicklungen in Richtung Digitalmesstechnik im Hochspannungsprüffeld wurden unter anderem in Kanada bei der Firma IREQ unternommen. In Bild 1 ist zu erkennen, dass dieser erste Prototyp noch sehr klobig wirkte, u.a. wegen der massiven Abschirmmassnahmen. In der Tat waren und sind die Verhinderung von störenden Einflüssen auf das Messsystem oberstes Entwicklungsziel. Ebenfalls zu erkennen ist der grosse Bildschirm, auf dem die Messungen dargestellt wurden und der Plotter zur graphischen Ausgabe der Kurven auf Papier.

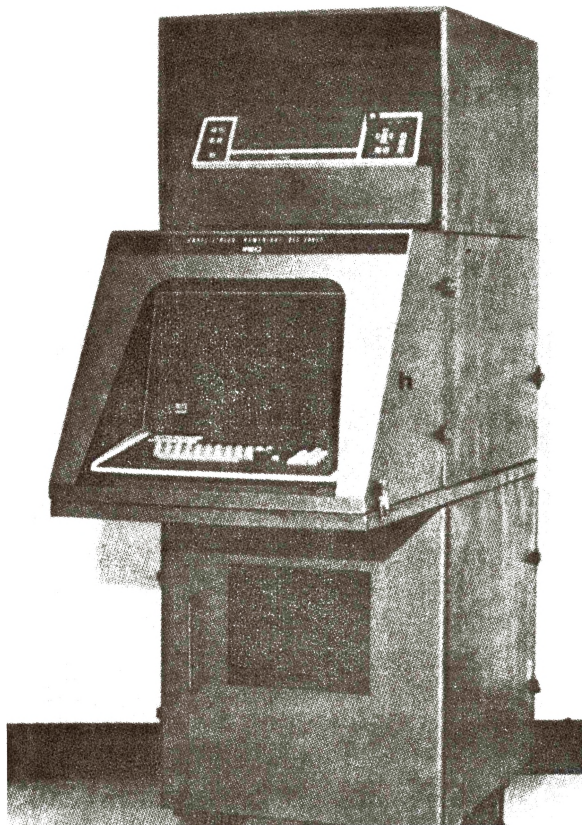


Bild 1: Digitales Messsystem der IREQ

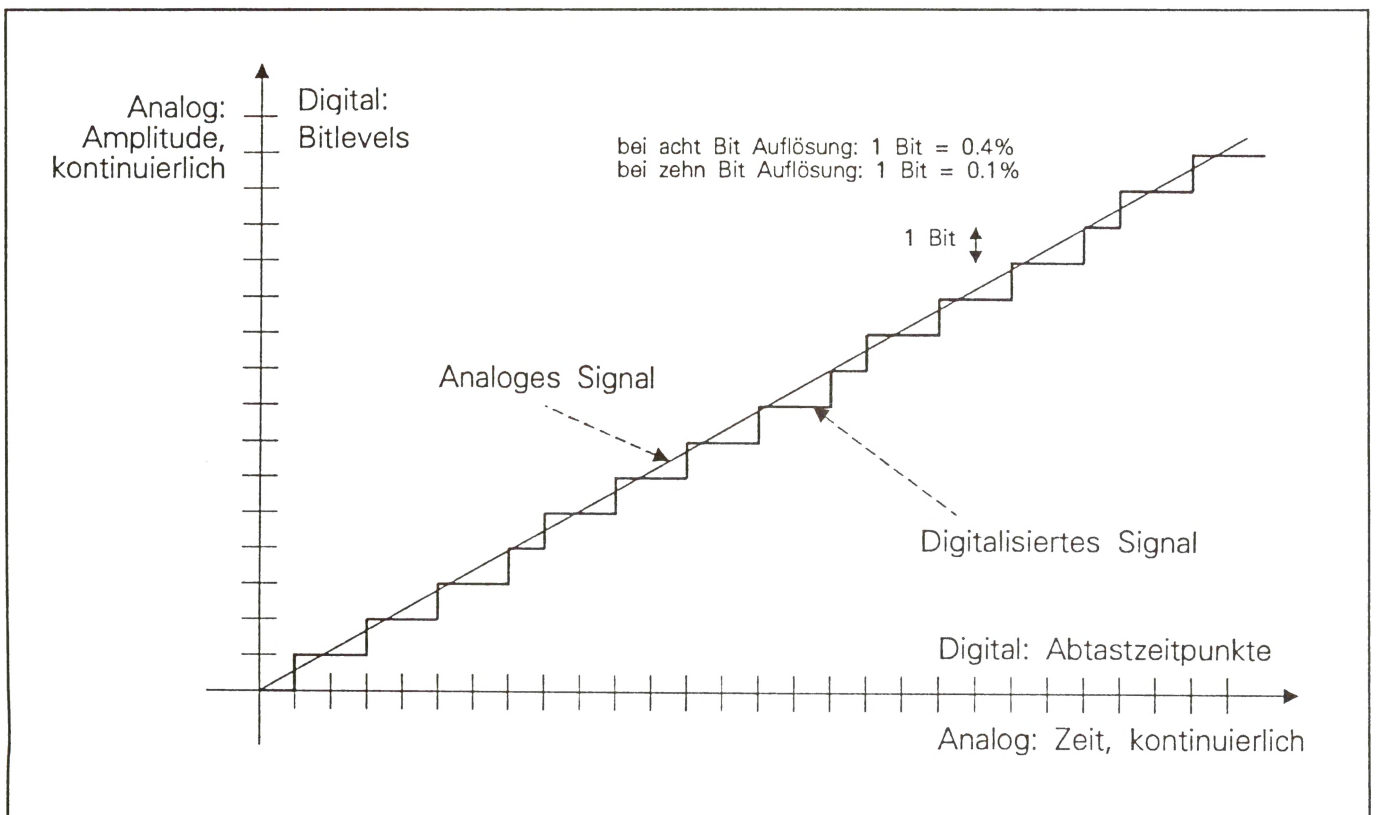
Ausgehend von diesem Ur-
typ entwickelte Haefely in
Zusammenarbeit mit IREQ
ein professionelles und
marktfähiges Produkt, wie
es in Bild 2 zu sehen ist. Der
HIAS 740 (Hochauflösendes
Impulsauswertesystem) ver-
fügte über folgende techni-
schen Eckdaten:

- Amplitudenauflösung
10 Bit (0.1 %), als Erklä-
rung siehe Bild 3
- Abtastung mit 30 MS/s
(Megsamples/sec)
- Speichertiefe 2 kDaten
(2000 10-Bit Mess-
punkte), d.h. Aufzeich-
nungsdauer bei 30 MS/s
= 66 μ s



Bild 2: HIAS 740, Produkt einer gemeinsamen Entwicklung bei Haefely und IREQ

Bild 3: Erklärung zur Umwandlung eines analogen Signals in diskrete Werte



- HP-Rechner mit Bildschirm (monochrom) und Diskettenlaufwerk

- Plotter und Printer

Das System HIAS 740 verfügte über Speicher- und Analysemöglichkeiten und konnte optional mit der Transferfunktion ausgerüstet werden. Zur Ausgabe von Daten auf Papier standen sowohl Printer als auch Plotter zur Verfügung.

Als der Hersteller des Transientenrecorders sein Produkt abkündigte, wurde auf einen neuen Recorder des gleichen Herstellers gewechselt und der HIAS 741 auf den Markt gebracht. Die technischen Daten blieben, was die Amplitudenauflösung, Speichertiefe und den Rechner anbetrafen, gleich. Deutlich zeigte sich die Innovation des Herstellers bei der Abtastfrequenz, gelang es doch in der Zwischenzeit, von 30 auf 100 MS/s aufzustocken. Die schnelle Entwicklung der Digitalmesstechnik zu gleichzeitig höheren Abtastraten und Auflösungen machte diesen Innovationsschritt möglich.

Es zeigte sich jedoch, dass dieses neue Transientenrecordermodell nicht die Qualität seines Vorgängers erreichte. Bei einigen Geräten traten Digitalisierungsprobleme auf, die jeweils von der Herstellerfirma beseitigt werden mussten.

Auch bei den verwendeten Rechnern gab es immer wieder Produkteabkündigungen, die Anpassungen in unserem Produkt zur Folge hatten.

Die in den letzten Jahren gesammelten Erfahrungen bei der Entwicklung von

digitalen Impulsmesssystemen sind im Folgenden stichwortartig zusammengefasst:

- Die besonderen Randbedingungen der Hochspannungsmesstechnik, insbesondere die EMV-Probleme sind mit entsprechendem Know-How beherrschbar
- Eine automatische Kurvenauswertung lässt sich in guter Qualität realisieren
- Die graphische Ausgabe von Messkurven auf einem Plotter ist einem Foto, wie es in der Analogtechnik angewendet wird, mehr als ebenbürtig
- Neue Analysetools wie die Transferfunktion können zusätzliche Informationen liefern
- Die Messsysteme arbeiten sehr zuverlässig und triggern dann und nur dann, wenn dies der Bediener auch wirklich wünscht
- Die Abhängigkeit von Drittlieferanten bei schnellebigen Schlüsselkomponenten birgt Produkterisiko bei Modellabkündigungen
- Die Marktentwicklung erfolgt dynamisch, eine zunehmende Akzeptanz der Digitaltechnik ist festzustellen
- Die Grenzdaten der Analog-Digitalwandler bezüglich Abtastfrequenzen, Genauigkeit, Speichertiefe etc. sind inzwischen so verbessert worden, dass diese Daten für eine optimale Systemauslegung gewählt werden können

■ Der neue HIAS 742

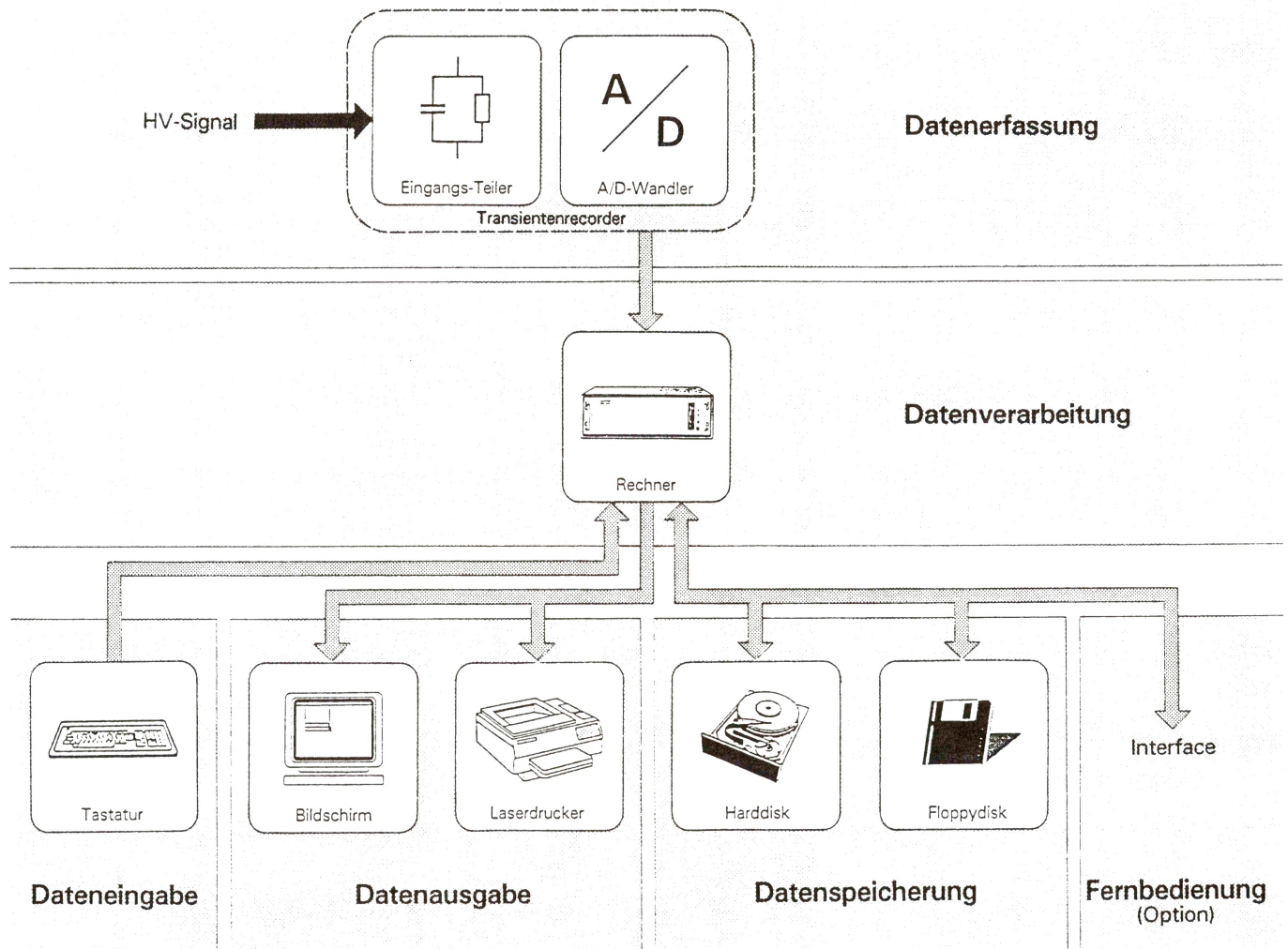


Bild 4: Blockschaltbild HIAS 742

Zur Zeit wird bei Haefely die dritte Generation von digitalen 10-Bit-Messsystemen entwickelt und produziert. Die massgeblichen Gründe für eine Neuentwicklung sind bereits weiter oben zu erkennen. Dieses Kapitel beschäftigt sich daher kurz mit der Blockstruktur des HIAS 742 und zeigt dann die gemachten Erfahrungen bei der Entwicklung auf.

■ Blockschaltbild

In Bild 4 ist die Struktur des neuen HIAS dargestellt.

Das Hochspannungssignal gelangt auf einen Teiler, der die Eingangsspannung (maximal 1900 Vpp) auf ca. 8 Vpp herunterteilt. Ein sauberes Layout und

langjährige Erfahrungen sichern die Langzeitstabilität des Teilers und verhindern das Eindringen von hochfrequenten Störungen in den nachfolgenden AD-Wandler. Im AD-Wandler wird das Niederspannungssignal digitalisiert und zwischengespeichert. Die Datenerfassung (Teiler und AD-Wandler) hat folgende Grobspezifikation:

- Eingangsspannung 150 Vpp bis 1920 Vpp, einstellbar in 12 Stufen, abgestuft mit Faktor 1.26
- Amplitudenauflösung 10 Bit (= 0.1 %)
- Abtastrate maximal 60 MS/s, was einer Aufzeichnungsdauer von 135 μ s entspricht

- Die Speichertiefe beträgt 8 kDatenpunkte (Speichertiefe = Aufzeichnungsdauer \times Abtastrate = $135 \mu\text{s} \times 60 \text{ MS/s} = \text{ca. } 8100 \text{ S(amples)}$)

Der AD-Wandler ist über eine interne Schnittstelle mit einem Rechner verbunden. Im HIAS 742 kommt ein IBM-kompatibler PC zum Einsatz, der auch die Auswertung und Analyse der Kurven vornimmt. Die Dateneingabe erfolgt mittels Tastatur, die Ausgabe auf einem Farbbildschirm resp. Laserdrucker zur graphischen Kurvenausgabe auf Papier. Zur Abspeicherung der Kurven sind eine Harddisk und ein Diskettenlaufwerk vorgesehen. Mit der optionalen Fernbedienungseinheit kann der HIAS 742 in übergeordnete Systeme integriert werden, wobei sämtliche Einstellungen über die Schnittstelle (RS 232 C oder IEEE 488) vorgenommen werden. Die Messdaten und charakteristischen Daten können nach einer Messung vom übergeordneten Rechner wieder eingelesen und weiter bearbeitet werden.

AD-Wandler seinerseits muss dafür ausgelegt sein, Singleshot-Messungen (Einzelmessung) ohne dynamische Verfälschungen ausführen zu können. Zuverlässige Triggerung und gute Schirmung sind ebenfalls unabdingbar, um gute Systemresultate zu erzeugen.

Auch der Rechner, als Herz des ganzen HIAS, muss extreme Zuverlässigkeitsanforderungen erfüllen. Probleme bereiten hier vor allem die Einstreuungen, weshalb nach intensiven Tests käuflicher PCs im Hochspannungsprüffeld eine Eigenentwicklung erfolgte. Der entwickelte Rechner (PCI 800) verwendet Standardkomponenten, ist jedoch extrem geschirmt und an den Schnittstellen speziell geschützt. Das Produkt ist voll IBM-PC-kompatibel, d.h. es können alle kommerziell für PC's erhältlichen Programme, z.B. zum Nachbearbeiten von Daten, verwendet werden.

Bild 5: HIAS 742

■ Erfahrungen der Systementwicklung

Eingangsteiler, AD-Wandler und IBM-kompatibler Rechner sind Eigenentwicklungen von Haefely. Bei der Entwicklung konnte somit ein auf die Bedürfnisse im Hochspannungsprüffeld zugeschnittenes System aufgebaut werden. Ein weiterer Vorteil der Eigenentwicklung liegt darin, dass die Abhängigkeit von Drittlieferanten bei Schlüsselkomponenten reduziert wird (Produktstabilität).

Beim Design des Eingangsteilers wurde darauf geachtet, dass hochfrequente Störungen möglichst vollständig eliminiert werden und dass das Messsignal unverfälscht zum AD-Wandler gelangt. Der



Der Monitor wurde aus mehreren Produkten durch EMV-Tests selektiert und hat eine Auflösung von 640 x 480 Punkten, bei einer Bildschirmdiagonale von 14 Zoll. Als Graphikausgabegerät dient ein Laserdrucker, der im Vergleich zu einem Plotter zwar nur einfarbig drucken kann, jedoch bei vergleichbarer Auflösung deutlich schneller ist.

Insgesamt resultiert aus dieser Neuentwicklung ein zeitgemässes, auf die Messung von Hochspannungsimpulsen zugeschnittenes Messsystem.

■ Neue Möglichkeiten

Bei der Entwicklung des neuen HIAS wurde speziell darauf geachtet, vorhandenes Know-How aus den bisherigen HIAS-Serien konsequent zu berücksichtigen und weiterzuentwickeln. Eine wesentliche Verbesserung ist ein flexibles Konzept, das sowohl eine standardmässige Auswertung und Analyse gewährleistet, wie auch dem erfahrenen Anwender erweiterte Möglichkeiten bietet. Wesentliche Neuerungen gegenüber dem Vorgängermodell sind:

- Erweiterte und in der Darstellung verbesserte Kurvenanalysemethoden
- Flexible Protokollierung, sowohl bei der Graphikausgabe als auch im Textprotokoll
- IBM-kompatibles Diskettenformat, somit Weiterverarbeitung von Messdaten auf anderen Rechnern möglich
- Offengelegte Datenstruktur, um den Anwendern statistische Auswertungen der gemessenen Daten, Ablegen in Datenbanken, Übernahme von Kurven in Dokumente u.a. zu ermöglichen

- Optionale Fernbedienung zur Integration des HIAS in übergeordnete und automatisierte Mess- und Steuerungssysteme
- Optionaler Einbezug eines Impulskalibrators zum vollautomatischen Performance-Check nach IEC 1083, was das HIAS 742 als Referenzmessgerät zur Messung in der Impulsprüftechnik qualifiziert
- Für jeden Messkanal separat einstellbare Abtastfrequenz, somit können z.B. Spannung und Strom mit unterschiedlicher Länge aufgezeichnet werden

■ Schlussfolgerung

Dank der erhöhten Akzeptanz digitaler Messtechnik und deren aufgezeigten Vorteile war die Weiterentwicklung des Messsystems HIAS eine logische Konsequenz. Allfällig vorhanden gewesene Kinderkrankheiten der Digitaltechnik sind heutzutage dank moderner und zuverlässiger Bausteine, speziell der AD-Wandler-Chips, ausgeremert. Nach wie vor höchste Entwicklungspriorität hat, soll das Produkt im Hochspannungsprüfgebiet angewendet werden, die Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit, was aufgrund der bisher gemachten Erfahrungen mit dafür ausgelegtem Schaltungsdesign sowie entsprechenden Schirm- und Schutzmassnahmen erreicht wurde. Dem Wunsch nach mehr Flexibilität bei der Kurvenanalyse und der Nachbearbeitung von Messreihen konnte mit einem leistungsfähigen Rechner zusammen mit einer benutzerfreundlichen und einfach handhabbaren Software nachgekommen werden. Die einfache, automatische Auswertung der Kurvenparameter ermöglicht eine reproduzierbare und effiziente Analyse von Hochspannungsimpulsen.

■ Literatur

[1] Malewski, R., Poulin, B., 'Impulse Testing of Power Transformers using the Transfer Function Method'. IEEE Trans. Vol. PWDR-3, 1988, S. 476

[2] Gockenbach, E., 'Influence of Digitizer Performance and Evaluation Procedures on Errors in High Voltage Impulse Measurements', International Symposium of High Voltage Engineering ISH, Dresden, Paper 62.01

[3] Deschamps, F., 'Theoretical Calculation of Uncertainties of Digital

Measurements in HV Impulse Tests', Proceedings of the Conference: International Symposium on Digital Techniques in High Voltage Measurements, Toronto, Canada 1991

[4] Czerniakow, C., Kuffel, J., Ontario Hydro, 'Assessment of the Dynamic Errors of Digital Recorders Used in Impulse Measurements', Proceedings of the Conference: International Symposium on Digital Techniques in High Voltage Measurements, Toronto, Canada 1991