Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 83 (1992)

Heft: 11

Artikel: Messung von schnellen Transienten und Teilentladungen in einem 110/16-kV-Unterwerk

Autor: Marti, Ueli / Baumgartner, Hans

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902835

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Messung von schnellen Transienten und Teilentladungen in einem 110/16-kV-Unterwerk

Ueli Marti und Hans Baumgartner

Nach dem Auftreten unerklärbarer Störungen an 110-kV-SF_6-Spannungswandlern einer GIS-Anlage (Gas Insulated Switchgear) wurden in der betroffenen Anlage umfangreiche Transienten-Messungen durchgeführt. Da bisherige Pflichtenhefte für GIS-Spannungswandler lediglich ihren Schutz gegenüber Blitzschlag berücksichtigten, sollten die Messungen auch die Ausarbeitung eines Pflichtenheftes bezüglich ihres Verhaltens gegenüber HF-Störungen, wie sie bei Schalthandlungen in GIS-Anlagen entstehen, ermöglichen.

Après l'apparition de perturbations inexplicables sur les transformateurs de tension 110 kV d'une installation isolée au SF_6 (GIS), de nombreuses mesures ont été effectuées dans l'installation impliquée. Les cahiers de charges précédents pour transformateurs de tension GIS ne tenant compte que de leur protection contre les coups de foudre, les mesures devaient donc permettre l'élaboration d'un cahier de charges concernant leur tenue aux perturbations HF dues aux manœuvres dans les installations GIS.

Adresse der Autoren

Hans Baumgartner, Elektrizitätswerke des Kantons Zürich EKZ, Dreikönigstrasse 18, 8022 Zürich, und *Ueli Marti*, beratender Ingenieur, EMC Fribourg SA, Centre technologique de Montenaz, 1728 Rossens.

Das Unterwerk Zumikon ist mit einer 110-kV-GIS-Anlage ausgestattet. Die Anlage ist einphasig gekapselt. Sie beinhaltet drei Transformatoren 110 kV/16 kV sowie die Schaltelemente zweier 110-kV-Leitungen. Die Speisung des Werkes erfolgt über unterirdische HS-Kabel.

Seit der Inbetriebnahme dieser Anlage ereigneten sich bereits vier Defekte von Spannungswandlern. In einer Messkampagne ging es nun darum, festzustellen, ob beim Schalten besonders hohe Überspannungen entstehen, die zu diesen Defekten führen könnten. Vor und nach den Schalthandlungen waren auch Teilentladungsmessungen vorgesehen, um festzustellen, ob der Wandler auf der entsprechenden Leitung korrekt funktioniert.

In einer zweiten Phase ging es darum, den Impedanzgang des Spannungswandlers zu messen. Eine Spektralanalyse der Transienten ermöglichte anschliessend eine Evaluation des Stromes, der während des Schaltvorganges im Wandler fliesst, sowie der transienten Energie, die vom Wandler aufgenommen wird.

Methode zum Messen von schnellen Transienten

Zuerst galt es, eine brauchbare Messmethode zu finden. Bedingt durch den Aufbau der SF_6-Anlage kam am ehesten eine Feldsonde, welche als kapazitiver Spannungsteiler wirkt, in Frage [1]. Als gute Lösung bot sich die von ABB und der ETHZ [2] entwickelte Pick-up-Elektrode an. Diese hat auch den Vorteil, dass sie sowohl für die Messung der schnellen Transienten als auch für die Teilentladungsmessung verwendet werden kann. Es handelt sich dabei um eine Metallplatte, die zum Beispiel anstelle eines Erdungstrenners in die GIS-Leitung eingebaut wird (siehe Bild 1). Dadurch entsteht eine Hochspannungskapazität *C1* zwischen der Platte (vom Aussenrohr isoliert) und dem Innenleiter. Die Niederspannungskapazität *C2* wird durch die Streukapazität zwischen Platte und Sondengehäuse gebildet. Der Spannungsteiler muss ein hohes Teilungsverhältnis *C1/(C1+C2)* haben, um eine genügend hohe Empfindlichkeit für die Teilentladungsmessung sowie einen ausreichenden Frequenzgang und eine genügend kleine Ausgangsspannung für die Messung der schnellen Transienten zu erreichen.

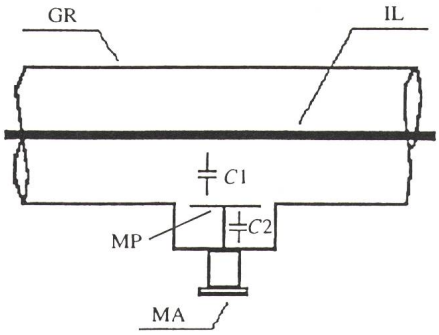

Bild 1 Pick-up-Elektrode
GR GIS-Rohr
IL Innenleiter
MA Messanschluss
MP Metallplatte

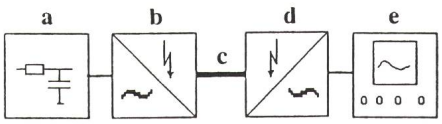

Bild 2 Messkette
a Integrator
b elektro-optischer Wandler
c Lichtleiter
d opto-elektrischer Wandler
e Digital-Speicher-Oszilloskop

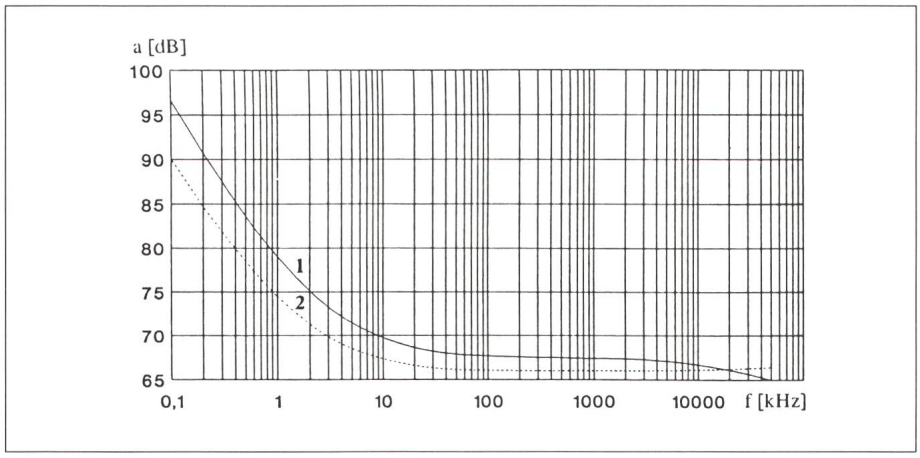

Bild 3 Übertragungskennlinie
a Dämpfungsmass: $a = 20 \lg (U_f/U_{fm})$
f Frequenz
U_f Spannungsamplitude am GIS-Innenleiter bei der Frequenz f
U_{fm} Spannungsamplitude am Eingang des Oszilloskops bei der Frequenz *f*
1 gemessene Werte
2 berechnete Werte

Messkette

Die Sonde wirkt für die Messung der schnellen Transienten als Differenzierglied; deshalb muss ein Integrator zugeschaltet werden, um über die ganze Bandbreite die gleiche Dämpfung zu erhalten [2].

Um aus Gründen der Sicherheit die Messungen ausserhalb des 110-kV-Feldes durchführen zu können und um die Einkopplung von Störungen zu vermeiden, kommt ein Lichtleitersystem zur Anwendung. Bild 2 zeigt ein Schema der Messkette und Bild 3 die berechnete und die gemessene Übertragungskennlinie des Gesamtsystems.

Aufbau der Messausrüstung

Die Sonde wird anstelle des Erdungstrenners (am nächsten beim Wandler gelegene Einbaumöglichkeit) auf der Zuleitung zum Transformator *T1* eingebaut (siehe Bild 4).

Der Einsatz des Lichtleiters ermöglicht den Aufbau der Messausrüstung im Kommandoraum, wo das transiente elektrische Feld niedrig ist (6V/m) [3], ein niedriger Rauschpegel herrscht und die Vibrationen, welche bei den Schalthandlungen entstehen, gedämpft sind. Zudem kann die Sicherheit der anwesenden Personen voll gewährleistet werden.

Im 110-kV-Feld befinden sich lediglich die Pick-up-Sonde, der Integrator und der elektro-optische Wandler, welcher in einem Faraday-Käfig untergebracht wurde, um die Einkopplung von Störungen zu vermeiden (Bild 5). Die Transienten werden mit einem Le Croy Digital-Oszilloskop aufgezeichnet. Anschliessend wird jede Messung auf dem PC abgespeichert, um eine spätere Auswertung der Messdaten zu ermöglichen (Bild 6).

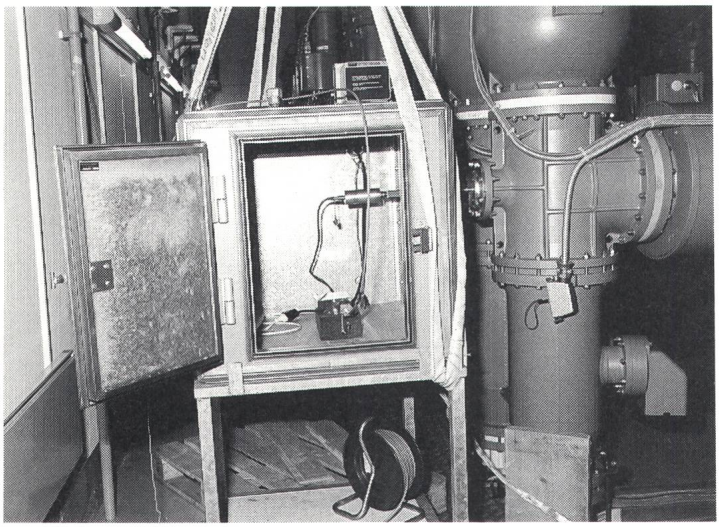

Bild 5 Hochspannungsseitiger Teil der Messkette
In der Messzelle (Faraday-Käfig) sichtbar sind der Integrator (oben) und der elektro-optische Wandler (unten)

Ergebnisse

Zur Messung der schnellen Transienten wurde der Leistungsschalter *S* auf der Zuleitung zum Transformator *T1* ein- und ausgeschaltet. Es traten jeweils nur beim Einschalten messbare Transienten auf.

Das Bild 7 fasst die Ergebnisse der Messungen tabellarisch zusammen. Δu und Δt sind diejenigen Werte, welche für die Berechnung der Steilheit verwendet werden. Sie ergeben die Tangente an die Kurve. Hier die Extremwerte der verschiedenen Parameter:

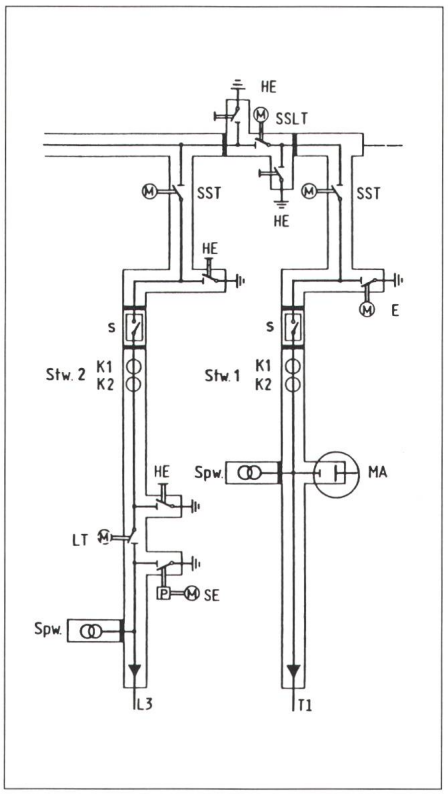

Bild 4 110-kV-Anlage Zumikon
Teil der einpoligen GIS-Anlage
E, (*HE*) (Hand-)Erdungstrenner
LT Linientrenner
L3 Leitung *3*
MA Messanschluss
S Leistungsschalter
SE Schnellerdungstrenner
SST, (*SSLT*) Sammelschienen-(Längs-)trenner
Spw Spannungswandler
Stw 1/2 Stromwandler *1* und *2*
T1 Transformator *1*

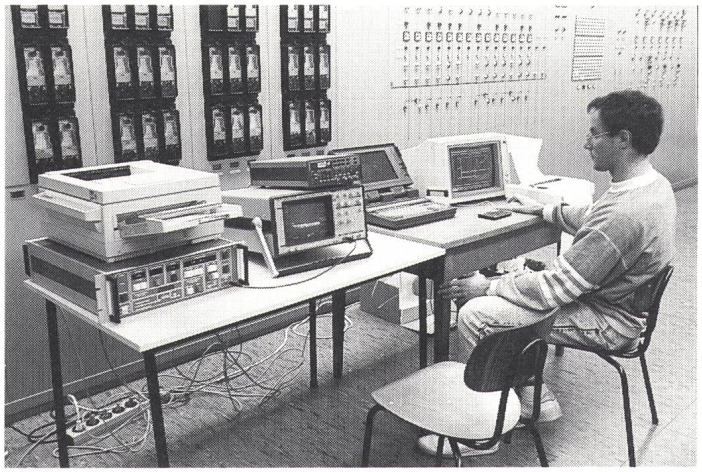

Bild 6 Kommandoraum, niederspannungsseitiger Teil der Messkette

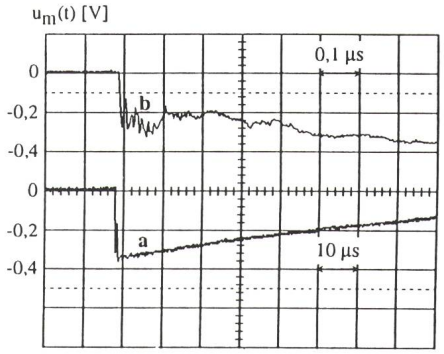

Bild 8 Beispiel eines Einschaltvorganges

$u_m(t)$ Messspannung am Eingang des Oszilloskops, aufgezeichnet mit einer Empfindlichkeit von 0,2 V/Skaleneinheit, entsprechend einer HS von 52,93 kV/Skaleneinheit bei einer Dämpfung von 108 dB

t Zeit

a Aufzeichnung des Signals mit einer Zeitauflösung von 10 µs/Skaleneinheit

b Aufzeichnung des Signals mit einer Zeitauflösung von 0,1 µs/Skaleneinheit (gegenüber Kurve a 100fach gezoomt)

$\Delta u_{max} = 125$ kV

$\Delta t_{min} = 5$ ns

$(\Delta u/\Delta t)_{max} = 14{,}3$ kV/ns

Das Bild 8 zeigt ein typisches Beispiel einer gemessenen Transienten: $\Delta u = 71{,}7$kV, $\Delta t = 7{,}6$ ns, $\Delta u/\Delta t = 9{,}43$ kV/ns, $\hat{U} = 97$ kV. Die Kurve a zeigt dabei die gemessene Spannung, und die Kurve b stellt ein Zoom im Zeitbereich dar. Die 50-Hz-Nennspannung wird vom Messsystem (kapazitive Sonde) stark gedämpft und ist deshalb nicht ersichtlich.

Impedanzmessung

In einer zweiten Phase ging es darum, den Impedanzgang des Spannungswandlers auszumessen, um eine spätere Berechnung des Stromes und der Energie, welche vom Wandler aufgenommen wird, zu ermöglichen. Dies geschah im Labor der EMC Fribourg SA in Rossens.

Messung	Δu [kV]	Δt [ns]	Δu/Δt [kV/ns]	Û [kV]	1/πΔt [MHz]
1	117	105	1.11	141	3
2	26	46	0.56	41	6.9
3	50	108	0.46	64	2.9
4	49	52	0.94	41	6.1
5	58	96	0.60	75	3.3
6	85	87	0.98	99	3.7
7	48	16	3	80	19.9
8	65	10	6.5	92	31.8
9	86	6	14.3	109	53
10	53	5	10.6	76	63.6
11	87	11	7.9	118	28.9
12	100	8	12.5	145	39.8
13	76	110	0.69	62	2.9
14	113	200	0.57	101	1.6
15	72	8	9	97	39.8
16	39	5	7.8	62	63.6
17	125	79	1.58	115	4
18	76	8	9.5	119	39.8

Bild 7 Gemessene Parameter schneller Transienten

Δu siehe Text

Δt siehe Text

$\hat{U}$ Scheitelwert der Überspannung

Messaufbau

Die Speisung für die Impedanzmessung erfolgte mittels eines Sinusgenerators. Gemessen wurde mit einem Vektor-Analyzer, der das Erfassen von Amplitude und Phase der gemessenen Signale ermöglicht. Der eine Kanal des Gerätes wurde für die Spannungsmessung verwendet und der andere über eine Stromzange für die Strommessung. Die Messung wurde von einem PC über die GPIB-Schnittstelle gesteuert.

Das Bild 9 zeigt den Impedanzgang des Wandlers im Bereich von 100 kHz bis 50 MHz. Diese Messungen wurden im Leerlauf gemacht, das heisst der Sekundärkreis des Wandlers war nicht belastet. Im Bereich bis 25 MHz verhält sich der Wandler rein kapazitiv mit einer Serieresonanz bei ungefähr 25 MHz. Die Streukapazität, die aus der Impedanzkurve abgeleitet werden kann, beträgt zirka $C = 100$ pF und die Streuinduktivität, welche anhand der Resonanzfrequenz berechnet wird, beträgt $L = 0{,}4$ µH. Der Seriewiderstand beträgt ungefähr $R = 6{,}3$ Ohm. Es wird davon ausgegangen, dass sich der Wandler in Funktion der Spannung linear verhält, dass also die ermittelte Ersatzschaltung mit den genannten Werten für C, R und L auch für die Betriebsspannung anwendbar ist.

Auswertung

Berechnung des Stromes

In dem Bereich, welcher für die schnellen Transienten massgebend ist, kann also der Wandler durch die Serieschaltung $R = 6{,}3$ Ohm, $L = 0{,}4$ µH, $C = 100$ pF ersetzt werden. Um den Strom zu berechnen, welcher im Wandler während des Einschaltvorgangs fliesst, wurde zuerst eine Berechnung im Frequenzbereich in Erwägung gezogen. Man gab dann jedoch der Auswertung im Zeitbereich den Vorrang, da sich dies als die einfachere Lösung erwies. Das heisst, die Differentialgleichung, welche anhand der oben genannten Elemente aufgestellt werden kann, wurde mit dem

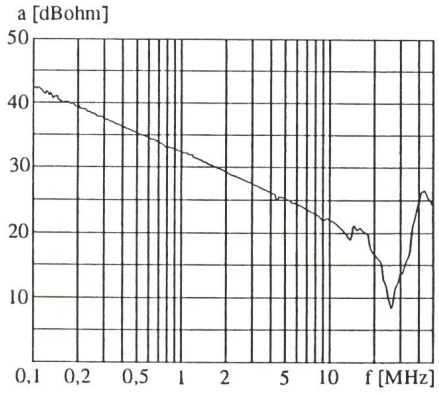

Bild 9 Impedanzgang des Spannungswandlers

a Impedanz $|Z|$ in dB_{Ohm}: $a = 10 \lg (|Z|/1\,\Omega)$

f Frequenz

Plot Nr. (U)	Plot Nr. (I)	Plot Nr. (E)	Δu/Δt [kV/ns]	Δu [kV]	Δt [ns]	$\hat{i}_{max}$ [A]	$\hat{E}$ [J]
1	38	39	1,12	117	105	172	0,2
7	40	41	3	47	15,9	650	0,15
9	32	33	14,3	93	6,5	927	0,1
10	34	35	10,6	53	5	693	0,3
18	36	37	10	76	7,6	930	0,18

Δu Spannungsanstieg
Δt Anstiegszeit
$\hat{i}_{max}$ berechneter Spitzenwert des ersten Strompeaks
$\hat{E}$ berechnete Energieaufnahme

Bild 10 Berechnete Belastungen des Wandlers

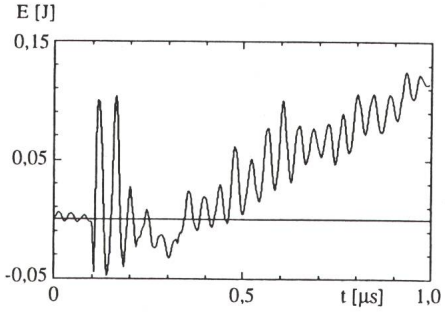

Bild 13 Energieaufnahme bei typischem Einschaltvorgang
E vom Wandler aufgenommene Energie, berechnet aus dem Spannungsverlauf
t Zeit

Rechner integriert (Berechnung von *i(t)* aus *u(t)*). Für *u(t)* wurden die in Zumikon gemessenen Werte eingesetzt.

$$u(t) = R \cdot i + L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int i \cdot dt \qquad (1)$$

Berechnung der transienten Energie

Anhand des Stromes kann nun die Energie *E* berechnet werden, welche während des Einschaltvorgangs vom Wandler aufgenommen wird. Dies geschieht, indem das Produkt von Strom und Spannung über die Dauer der Aufzeichnung t_1 integriert wird.

$$E = \int u \cdot i \cdot dt \qquad (2)$$

Analyse von Strom und Energie

Das Bild 10 zeigt eine Zusammenfassung der Berechnungen von Strom und Energie. Es werden der Spitzenwert des Stromes und derjenige des ersten Peaks der Energie unmittelbar nach dem Einschaltvorgang aufgeführt. Gleichzeitig enthält Bild 10 auch die entsprechenden Werte der Steilheit des Spannungsanstiegs Δu, dessen Anstiegszeit Δt und den Spitzenwert des ersten Strompeaks.

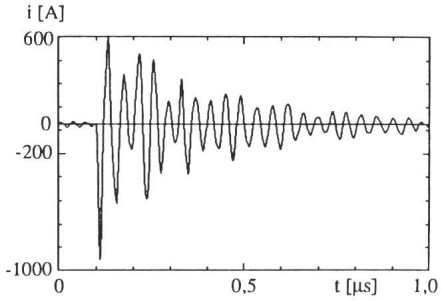

Bild 12 Stromverlauf bei typischem Einschaltvorgang
i Wandlerstrom, primärseitig, berechnet aus dem Spannungsverlauf
t Zeit

Die Betrachtung dieser Werte erlaubt den Schluss, dass nicht die Höhe der Überspannung allein für die Grösse des Stromes verantwortlich ist. Entscheidend ist vor allem die Steilheit der Überspannung. Die Frequenz der Schwingungen des Stromes entspricht der Resonanzfrequenz der Serieschaltung $L = 0{,}4\ \mu H$, $C = 100$ pF. Die Energie, die der Wandler während des Einschaltvorgangs aufnehmen muss, ist verhältnismässig gering. Es handelt sich also mehr um eine dynamische (mechanische) Belastung. Die thermische Beanspruchung der Wicklung ist klein.

Die Bilder 11 bis 13 zeigen Spannung, Strom und die vom Wandler aufgenommene Energie während eines typischen Einschaltvorgangs.

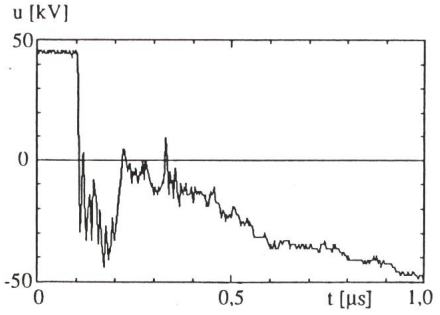

Bild 11 Spannungsverlauf bei typischem Einschaltvorgang
u gemessene Spannung am Wandler
t Zeit

Schlussfolgerung

Die durchgeführten Messungen zeigen, dass die Dynamik des Einschaltvorgangs für die Wandler massgebend ist. Die Energie, die aufgenommen werden muss, ist klein. Diese hohe Dynamik hat eine grosse mechanische Belastung des Wandlers zur Folge. Auch die Isolation (Dielektrikum) wird dadurch stark beansprucht.

Aufgrund der durchgeführten Messungen wurde der Teil HF des Pflichtenhefts für GIS-Spannungswandler überarbeitet. Damit sollte es möglich sein, die Wandler so zu dimensionieren, dass sie den Beanspruchungen des Schaltvorganges genügen. Natürlich müssen die in diesem Bereich üblichen Normen (Blitzschutz etc.) weiterhin berücksichtigt werden.

Literatur

[1] *A. Cattaneo, F. Cremonesi, G. Rizzi*: Measurement of overvoltages during disconnecting of capacitive currents. Proc. of Fifth International Symposium on High Voltage Engineering, Braunschweig 1987, 12.02.
[2] *M. Albiez, W. Zängl, K. Diederich, J. Meppelink*: Design and calibration of an universal sensor for the measurement of partial discharges and very fast transients in GIS. Proc. of Sixth International Symposium on High Voltage Engineering (ISH 89), New Orleans, 1989, 42.28.
[3] EMV-Messungen in den 110/16-kV-Unterwerken Opfikon und Zumikon vom 12.–16. Juni 1989. EMC Fribourg SA, Rossens.

Dank: Die Autoren danken der ETHZ, Fachgruppe Hochspannungstechnik, sowie der Firma ABB Hochspannungstechnik AG, Zürich, für ihre Mitarbeit.

Technologiestandort Schweiz

Ulrich N. Kull

Geschäftsleiter
UB Energietechnik

Die schweizerische Elektroindustrie und die Elektrizitätswirtschaft haben gemeinsam über Generationen die Basis für saubere und zuverlässige Energie geschaffen. Von der Erzeugung, der sinnvollen Anwendung, bis hin zur Energierückgewinnung wird diese traditionelle Zusammenarbeit fortgesetzt. **MGC** Moser-Glaser & CO. AG leistet auf dem Gebiet der Energietechnik auf **nationaler** sowie **internationaler** Ebene ihren Beitrag dazu.

MGC
MOSER-GLASER

Moser-Glaser & Co. AG
Energie- und Plasmatechnik
Hofackerstrasse 24
CH-4132 Muttenz / Schweiz