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: 72 (1981)

Heft: 9

Artikel: Entwicklungstendenzen der Kenndaten von Hochspannungsmesswandlern

Autor: Bouchoms, J. M. / Denoël, H. / Kirschvink, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905102

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: 08.12.2025

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

Entwicklungstendenzen der Kenndaten von Hochspannungsmesswandlern

Von J. M. Bouchoms, H. Denoël, M. Kirschvink und P. Mahy

621.317.3.027.3;

Der Einsatz von schnellem Netzschutz in den Hochspannungsnetzen zwingt den Messwandlerhersteller, seine Geräte den neuen Anforderungen anzupassen. Das transiente Übertragungsverhalten von Spannungswandlern wird durch auftretende Eigenfrequenzen beeinträchtigt. Ziel der Entwicklung ist es, deren Amplitude klein zu halten. Das Verhalten der Stromwandler bei höheren Frequenzen wird kurz angedeutet. Es werden die Einkopplung von Hochfrequenzen auf die Sekundärwicklungen erläutert und Zahlenwerte angegeben.

La réponse rapide des protections de réseaux à HT exige une adaptation des performances des transformateurs de mesure. Le comportement transitoire des transformateurs de tension inductifs est influencé par la présence de fréquences propres. Le développement poursuit le but de réduire l'amplitude des ces oscillations propres. Le comportement des transformateurs de courant aux fréquences supérieures aux fréquences industrielles est mentionné. La transmission des surtensions transitoires aux enroulements secondaires est expliqué et des valeurs numériques sont données.

1. Einleitung

Das Verhalten des schnellen Netzschutzes im Störfall hängt in besonderem Masse vom dynamischen Verhalten der Messwandler ab. Dieses Verhalten wird durch die Art und die Grösse des Vorganges beeinflusst, welcher im Hochspannungsnetz durch den Fehler ausgelöst wird. Die Kenntnis der dynamischen Kenndaten der Hochspannungsmesswandler ist für den Netzschutzfachmann also von grösster Bedeutung. Für den Messwandlerhersteller sowie für den Netzbetreiber ist die Kenntnis der Hochspannungsvorgänge im Netz zu vertiefen, so dass die Eigenschaften der Messwandler bzw. deren Auswahl den Anforderungen der heutigen Netzführung gerecht werden.

Die Fehler und die Schalthandlungen im Netz rufen Veränderungen im Netzaufbau hervor. Durch das Vorhandensein kapazitiver und induktiver Energiespeicher muss der Eingriff mit einem *transienten Vorgang* begleitet sein. Dies ruft transiente Ströme und Spannungen hervor:

1. *sehr schnelle Vorgänge,* die mit der Ausbreitung von Wanderwellen verbunden sind. Diese Ausbreitungsvorgänge werden durch eine fortschreitende und eine reflektierte Welle dargestellt. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wanderwellen entspricht etwa der Lichtgeschwindigkeit. Bei Kurzschluss stellt sich ein Ausschwingvorgang ein, dessen Frequenz umgekehrt proportional zur Leitungslänge ist. Sie liegt entsprechend den Leitungslängen im Bereich von einigen hundert Hz bis einigen MHz. Zu beachten ist, dass diese Vorgänge mit sehr schnellen Spannungsänderungen ablaufen.

2. *schnelle Vorgänge,* die durch Zusammenwirken der induktiven, kapazitiven und Widerstandskomponenten des Netzes zu Schwingungen führen. Diese Vorgänge liegen bei Frequenzen von einigen hundert Hz bis hinunter zu aperiodischen Anteilen, welche besonders im Kurzschlußstrom auftreten. Dieser aperiodische Vorgang wird in bekannter Weise durch eine abklingende Exponentialfunktion dargestellt; deren Zeitkonstante wird durch die Induktivität und den Widerstand der Kurzschlußschleife bestimmt und beträgt in Hochspannungsnetzen 10...300 ms. Beim metallischen Kurzschluss im Nulldurchgang des Stromes kann eine hundertprozentige Verlagerung auftreten; in den meisten Fällen wird eine fünfzigprozentige Verlagerung des Stromes als praxisgerecht angesehen.

3. Vorgänge, die durch das *Abschalten der fehlerbehafteten Leitung* auftreten. Da der Leistungsschalter den Strom im Nulldurchgang unterbricht, muss die Querkapazität der Leitung durch den entstehenden Spannungssprung wieder aufgeladen werden. Hierdurch werden wiederum Frequenzen von einigen hundert Hz bis einigen kHz hervorgerufen. Der Spannungssprung kann unter bestimmten Bedingungen zu Kippschwingungen führen. Dies ist der Fall, wenn eine nicht lineare Induktivität in Reihen- oder Parallelresonanz mit einer Kapazität fällt; die Schwingung kann gedämpft abklingen oder durch eine Kapazität ausreichend Energie zum Weiterschwingen zugeführt bekommen.

Entsprechend den einschlägigen Vorschriften und Normen ist die Genauigkeit der Messwandler für einen engen Frequenzbereich definiert. Es sind Vorbereitungen im Rahmen der IEC im Gange, welche für den Schutzstromwandler das Verhalten bei aperiodischen Vorgängen festlegen. Beim induktiven Spannungswandler sowie zu den meisten angesprochenen Vorgängen im Netz gibt es keine Vorschriften, und es bedarf der Absprache zwischen dem Kunden und dem Hersteller, um die gewünschten dynamischen Eigenschaften entsprechend bestimmter Messmethoden festzulegen.

In der folgenden Abhandlung werden einige Betrachtungen angestellt, welche zum Verständnis der frequenzabhängigen Vorgänge im Strom- und Spannungswandler beitragen sollen.

2. Induktive Hochspannungswandler

2.1 Eigenfrequenzen der induktiven Hochspannungswandler

Die genaue Kenntnis der Eigenfrequenz ist bei der Entwicklung und der Berechnung eines Hochspannungswandlers unerlässlich. Das Ziel der Überlegungen ist immer die möglichst vollkommene Unterdrückung der Eigenfrequenzen unter-

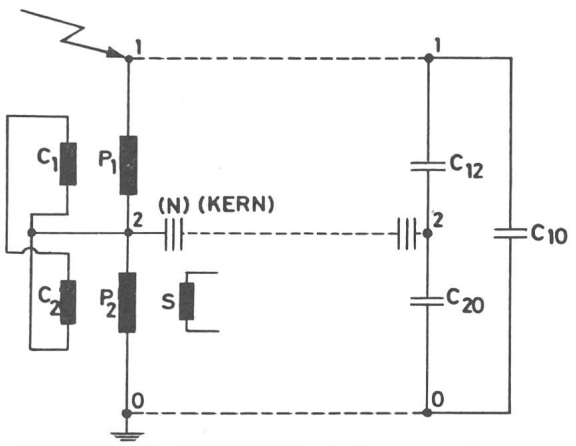

Fig. 1 Schema eines induktiven Hochspannungswandlers mit einem Kern und zwei Hochspannungsspulen

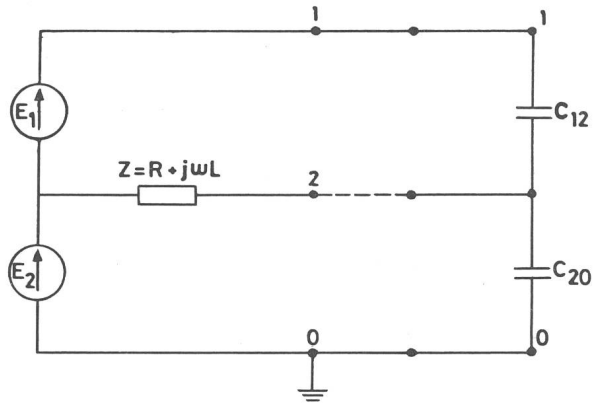

Fig. 2 Ersatzschaltbild zu Schema Fig. 1 zur Berechnung der Schwingungen

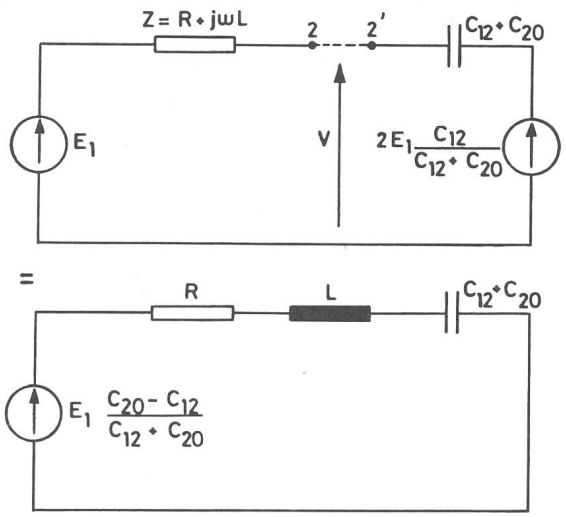

Fig. 3 Umgerechnete Ersatzschaltbilder von Fig. 2

halb 1000 Hz; Frequenzen oberhalb 1000 Hz sind nicht von besonderem Interesse, da sie auch beim schnellen Netzschutz nicht mehr von Bedeutung sind.

Am Beispiel eines Wandlers mit einem Kern und zwei Hochspannungsspulen sollen das Auftreten der Eigenfrequenzen, die Faktoren, welche die Amplitude beeinflussen, und das Verhalten des Spannungswandlers im Frequenzbereich nahe der Eigenfrequenz gezeigt werden. Ein derartiger Hochspannungswandler umfasst folgende Bauteile (Fig. 1):

- zwei identische, resonanzfreie Hochspannungswicklungen P_1 und P_2,
- zwei Schubwicklungen C_1 und C_2,
- eine oder mehrere Sekundärwicklungen S,
- einen Eisenkern, der isoliert aufgestellt ist und sich im eingeschwungenen Zustand auf der Hälfte der angelegten Spannung befindet.

Es sei angenommen, dass der Wandler von einer Hochspannungsquelle mit vernachlässigbarer Quellimpedanz betrieben werde, die Sekundärwicklungen nicht bebürdet und die Hauptinduktivität unendlich gross sei. Unter diesen Annahmen ist nur der Mittelpunkt, d.h. der Kern, zu Schwingungen anzuregen. Das Ersatzschaltbild nach Figur 1 stellt mit C_{12} und C_{20} die Kapazität der Wicklung P_1 bzw. P_2 zum Eisenkern und C_{10} die Kapazität der Hochspannungselektrode in bezug zur Erde dar.

Zeichnet man das Ersatzschaltbild der Ersatzspannungsquellen für die Punkte 1–2 bzw. 2–0 auf, so erhält man Figur 2, wo Z die Impedanz der Wicklungen darstellt, welche sich bei Kenntnis der Wicklungen P und C bestimmen lässt. Dieses Ersatzschaltbild kann umgerechnet werden und führt zum endgültigen Ersatzschaltbild, Figur 3; hier lässt sich die Eigenfrequenz f_0 leicht errechnen:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{L\,(C_{12}+C_{20})} - \frac{R^2}{4\,L^2}} \tag{1}$$

Zu bemerken ist, dass die Amplitude der Schwingung durch den Widerstandsanteil und die angelegte Spannung begrenzt ist (Fig. 3). Diese lässt sich durch die Konstruktion des Wandlers beeinflussen; es wird $C_{20} = C_{12}$ angestrebt, so dass die Amplitude der Schwingung gleich null wird, der Schwingkreis selbst aber noch existiert.

2.2 *Verhalten in Nähe der Eigenfrequenzen*

Die Spannung an der Kapazität C_{20} entsprechend Figur 2 werde mit $U_{20} = V$ bezeichnet. Man erhält dann mit Hilfe von Figur 2

$$\frac{\underline{V}}{\underline{E}_1} = \frac{1 - 2\,\omega^2 L\,C_{12} + 2\,\mathrm{j}\omega R\,C_{12}}{1 - \omega^2 L\,(C_{12}+C_{20}) + \mathrm{j}\omega R\,(C_{12}+C_{20})} \tag{2}$$

Bei der Resonanzkreisfrequenz ω_0 ergibt sich

$$\frac{\underline{V}}{\underline{E}_1} = \frac{2\,C_{12}}{C_{12}+C_{20}} - \mathrm{j}\,\frac{C_{20}-C_{12}}{\omega_0\,R\,(C_{12}+C_{20})^2} \tag{3}$$

Diese Gleichung lässt sich in zwei Anteile spalten:

- ein Term V_r, der gleichphasig zu E_1 ist und nur von der kapazitiven Spannungsverteilung abhängt:

$$V_r = \frac{2\,C_{12}}{C_{12}+C_{20}} \cdot E_1 \tag{4}$$

- ein um 90° phasenverschobener Term V_i, dessen Amplitude durch den Widerstandsanteil R begrenzt wird:

$$V_i = \frac{\omega_0 L}{R} \cdot \frac{C_{20}-C_{12}}{C_{12}+C_{20}} \cdot E_1 \tag{5}$$

Wenn, wie schon angeführt, $C_{12} = C_{20}$ ist, erhält man $V_r = E_1$ und $V_i = 0$.

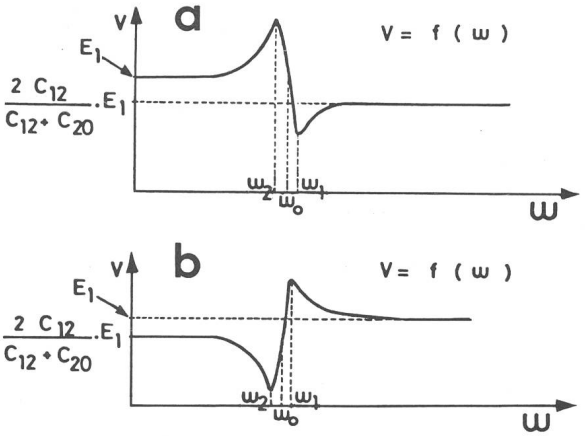

Fig. 4 Frequenzgang der Spannung an C_{20} (Fig. 2)
a Für $C_{20} > C_{12}$ b Für $C_{20} < C_{12}$

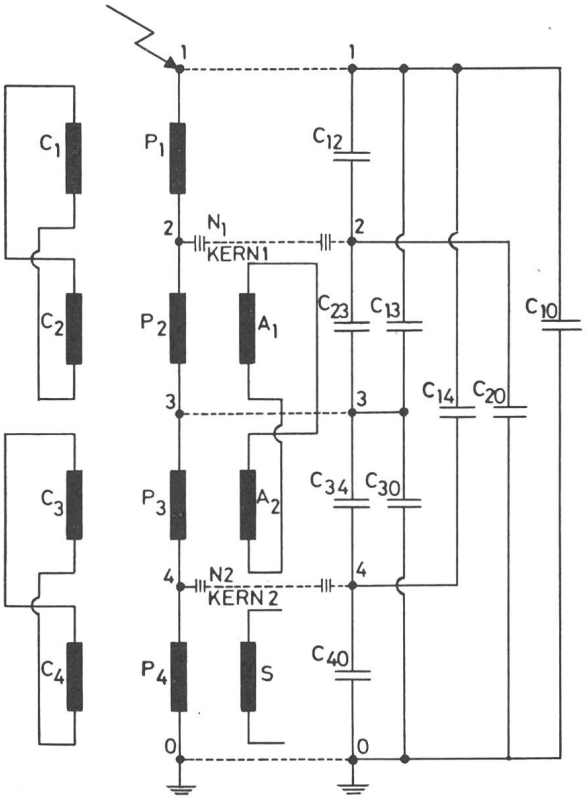

Fig. 5 Schema eines Spannungswandlers mit 2 Kernen und 4 Hochspannungswicklungen

Zeichnet man die Funktion (3) $V = f(\omega)$ auf, so erhält man den Verlauf entsprechend Figur 4a für $C_{20} > C_{12}$ und Figur 4b für $C_{20} < C_{12}$.

2.3 Spannungswandler in Kaskadenbauweise

Das Ersatzschaltbild eines Spannungswandlers mit 2 Kernen und 4 Hochspannungsspulen ist in Figur 5 dargestellt. A_1 und A_2 stellen die Kopplungswicklungen dar, die anderen Bezeichnungen entsprechen der Figur 1.

Die Anzahl der auftretenden Eigenfrequenzen ist gleich der Zahl der Punkte, wo eine oder mehrere der eingezeichneten Kapazitäten angeschlossen sind, deren Spannung nicht durch eine unendlich leistungsstarke Spannungsquelle bestimmt ist. Im angeführten Fall treten also 3, den Punkten 2, 3 und 4 entsprechende Resonanzfrequenzen auf. Durch rechnergestützte Matrizenrechnung lässt sich auch ein solcher Wandler oder ein Wandler mit n Kernen und $2n$ Hochspannungsspulen berechnen. Die Resultate für die Praxis gehen aus den folgenden Bildern hervor: ein 400-kV-Spannungswandler üblicher Bauart zeigt das errechnete und gemessene Frequenzverhalten entsprechend Figur 6. Für besondere Ansprüche bezüglich des transienten Verhaltens wurde eine neue Wandlertype geschaffen, deren Frequenzverhalten in Figur 7 dargestellt ist. Ein Vergleich der Figuren 6 und 7 zeigt die hervorragenden Eigenschaften dieser neuen Wandlergeneration.

3. Stromwandler

Das Übertragungsverhalten von Stromwandlern ist in bezug auf aperiodische Gleichstromkomponenten schon oft beschrieben worden. Im folgenden soll das Verhalten bei höheren Frequenzen untersucht werden.

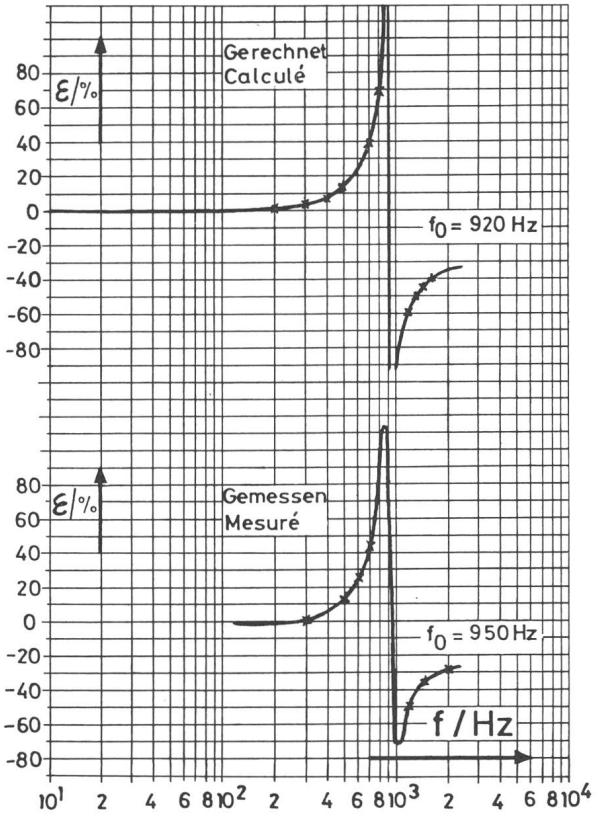

Fig. 6 Frequenzverhalten der Sekundärspannung eines 400-kV-Spannungswandlers normaler Ausführung

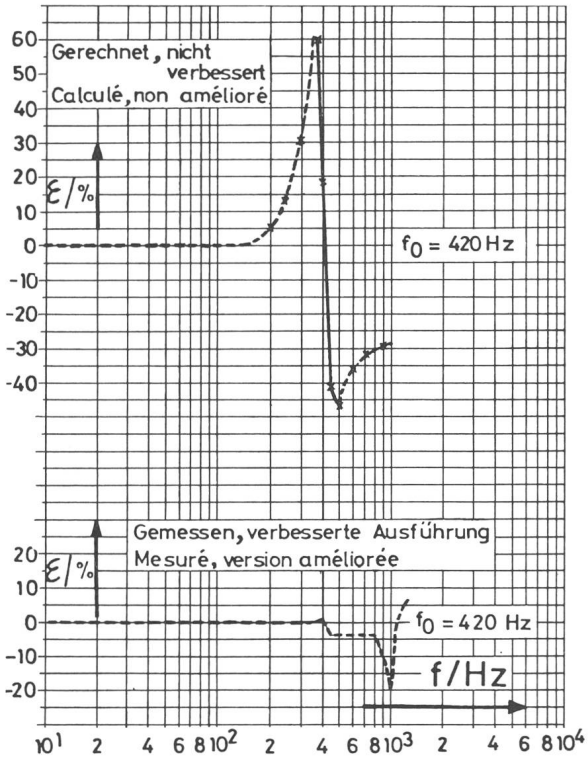

Fig. 7 Frequenzverhalten an einem speziell für transientes Verhalten ausgelegten 400-kV-Spannungswandler analog zu Fig. 6

3.1 *Das Übertragungsverhalten des Stromwandlers*

Das klassische Ersatzschaltbild des Stromwandlers entspricht der Figur 8. Bei der Netzfrequenz weisen die Reaktanz der Hauptinduktivität L_0 und der Widerstand R_F, der die Eisenverluste darstellt, etwa einen Wert der gleichen Grössenordnung auf. Die Impedanz Z_0 der Hauptinduktivität und des Widerstandes R_F ist bedeutend grösser als die Impedanz der Bürde Z_2. Die Reaktanz der Hauptinduktivität steigt proportional zur Frequenz. Der Widerstand R_F setzt sich aus zwei parallelgeschalteten Anteilen zusammen; der erste stellt die Wirbelstromverluste dar, die bei gleichbleibender induzierter Spannung frequenzunabhängig sind; der zweite stellt die Hystereseverluste dar, welche mit der Frequenz abnehmen. Das Ersatzschaltbild für hohe Frequenzen entspricht also der Figur 9, wobei R_F als frequenzunabhängig angesehen werden kann. Es kann mit Hilfe der Ersatzstromquelle umgeformt werden und ergibt dann das Ersatzschaltbild Figur 10a, welches für (ausreichend) hohe Frequenzen gültig ist.

3.2 *Stromwandler mit Kernen ohne Luftspalt*

Für Figur 10a gilt

$$\underline{I}_2 = \frac{R_F}{R_F + R_2 + j\omega L_2} \cdot \underline{I}_1 \tag{6}$$

Der Stromfehler beträgt

$$\frac{\underline{I}_2 - \underline{I}_1}{\underline{I}_1} = -\frac{R_2 + j\omega L_2}{R_F + R_2 + j\omega L_2} \tag{7}$$

Solange $\omega L_2 \ll R_F$, gilt

$$(I_2 - I_1)/I_1 \approx -R_2/(R_F + R_2) \tag{8}$$

und da $R_F \gg R_2$:

$$(I_2 - I_1)I_1 \approx -R_2/R_F \tag{9}$$

d.h., der Fehler ist frequenzunabhängig.

Der Winkelfehler δ ist dagegen der Frequenz proportional, da

$$\delta = -\frac{j\omega L_2}{R_F + R_2 + j\omega L_2} \approx -\frac{j\omega L_2}{R_F} \tag{10}$$

Die Ortskurve von I_2 ergibt unter der Annahme $R_F \gg R_2$ einen Halbkreis mit dem Durchmesser I_1 (Fig. 10b). Diese Darstellung entspricht bei hohen Frequenzen nicht der Wirklichkeit; das Ersatzschaltbild muss entsprechend Figur 11 mit einer Kapazität C, welche die Wicklungskapazität und die Kapazität der Bürde darstellt, vervollständigt werden; es tritt also eine Resonanz auf. Bei der Resonanzfrequenz stellt der Parallelschwingkreis der Elemente L_2, R_2 und C einen Widerstand R_L dar:

$$R_L = L_2/(CR_2) \tag{11}$$

Der Strom I_2 ist in diesem Fall

$$I_2 = \frac{R_F}{R_F + R_L} \cdot I_1 \tag{12}$$

Die Spannung an der Bürde beträgt

$$I_2 \cdot R_L = \frac{R_F \cdot R_L}{R_F + R_L} \cdot I_1 \tag{13}$$

Durch die Bürde $\underline{Z}_2 = R_2 + j\omega L_2 \approx j\omega L_2$ fliesst ein Strom I_B:

$$\underline{I}_B = \frac{R_F \cdot R_L}{R_F + R_L} \cdot \frac{\underline{I}_1}{Z_2} \tag{14}$$

Dies kann paradoxerweise zu einer Stromvergrösserung in der Bürde führen, wie folgendes Zahlenbeispiel zeigt:

Es sei angenommen, dass $R_2 = 10\,\Omega$, $L_2 = 19{,}1$ mH (d.h.: $X = 6\,\Omega$ bei 50 Hz), $R_F = 5000\,\Omega$, $C = 5$ nF. Daraus ergibt sich die Resonanzfrequenz $f_0 = 16290$ Hz und nach Gleichung (11): $R_L = 382000\,\Omega$, $Z_2 = 1955\,\Omega$ bei f_0. Der Strom I_B in der Bürde wird dann nach Gleichung (14) zu $I_B = 2{,}52\,I_1$.

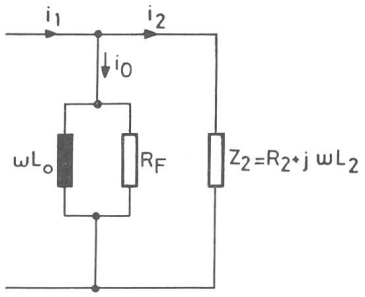

Fig. 8 Klassisches Ersatzschaltbild des Stromwandlers

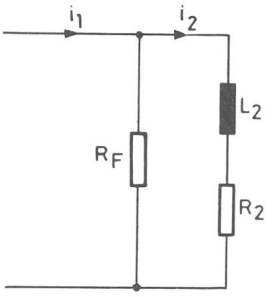

Fig. 9 Ersatzschaltbild für hohe Frequenzen

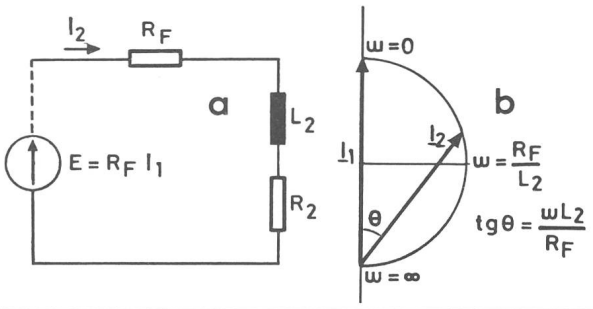

Fig. 10 Weiterentwickeltes Ersatzschaltbild für hohe Frequenzen mit Stromquelle
a Schaltbild b Zeigerdiagramm

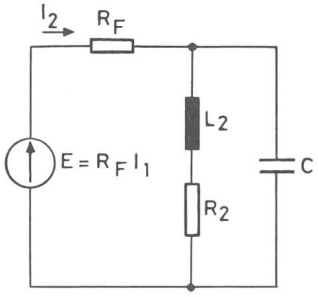

Fig. 11 Mit der Kapazität der Wicklung und der Bürde ergänztes Ersatzschaltbild

3.3 Stromwandler mit linearisierten Kernen

Das Ersatzschaltbild des Stromwandlers mit linearisiertem Kern ist in Figur 12 dargestellt. Bei aperiodischen Vorgängen und bei Netzfrequenz können die Eisenverluste im Vergleich zu der durch die Luftspalte hervorgerufenen Blindleistung vernachlässigt werden. Figur 12 kann mit Hilfe einer Ersatzspannungsquelle umgeformt werden und ergibt Figur 13. Dieses Ersatzschaltbild ist gültig, solange die Eisenverluste vernachlässigt werden können. Daraus folgt mit $\omega L_0 \gg R_2$

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_1 \left(\frac{L_0}{L_0 + L_2} + \mathrm{j} \frac{L_0 R_2}{\omega (L_0 + L_2)^2} \right) \tag{15}$$

Der Realteil des Stromes i_2 ist frequenzunabhängig, während der 90° phasenverschobene Anteil umgekehrt proportional zur Frequenz ist.

Für höhere Frequenzen müssen die Eisenverluste berücksichtigt werden. Das geschieht, indem man den Strom I_2 in die Rechnung nach Abschnitt 3.2 und Bild 10a einführt. Man erhält dann eine vollständige Gleichung der Form:

$$\underline{I}_2 = \underline{I}_1 (a + \mathrm{j}b) \tag{16}$$

welche die Eisenverluste berücksichtigt.

3.4 Schlussbetrachtung zum Stromwandler

Mit Hilfe einfacher Rechnungen kann das Übertragungsverhalten von Stromwandlern abgeschätzt werden. Im Bereich von 50...1000 Hz ist die Kapazität der Sekundärwicklung und der Bürde ganz zu vernachlässigen. Für den Stromwandler mit Kern ohne Luftspalt ist der Fehler praktisch frequenzunabhängig; der induktive Anteil der Bürde ruft einen frequenzproportionalen Winkelfehler hervor, der im betrachteten Frequenzbereich klein ist. Für den Stromwandler mit linearisiertem Kern ist der Stromfehler zwar verhältnismässig grösser, aber ebenfalls frequenzunabhängig. Der Winkelfehler ist dem Wirkanteil der Bürde proportional und umgekehrt proportional der Frequenz.

4. Das Verhalten der Messwandler bei transienten Überspannungen

Die Stellung der Messwandler in der Nähe der Schaltgeräte der Hochspannungsanlagen einerseits und die Stellung in Nähe des Endes der Hochspannungsleitung anderseits ruft bei transienten Vorgängen am Messwandler immer sehr schnelle Spannungsänderungen hervor. Besonders ist hier das Öffnen und Schliessen der Trennschalter anzuführen, welches entsprechend der Spannungsdifferenz zwischen den Schaltpolen, zu Spannungssprüngen bis zur doppelten Spitzenspannung der Netzspannung führen kann. Wie in der Einleitung angegeben, treten Vorgänge im MHz-Bereich auf; in gekapselten Anlagen werden sogar Frequenzen von einigen 10 MHz gemessen.

Bei diesen Hochfrequenzbeanspruchungen kann der Stromwandler nicht mehr als reine Kapazität und der Spannungswandler nicht mehr entsprechend den Schaltbildern 1 und 5 dargestellt werden. Besonders bezüglich der Einwirkungen der Hochfrequenz auf die Sekundärwicklungen muss das Ersatzschaltbild

- die Kapazitäten zwischen den Hochspannungselektroden und den Abschirmelektroden der Sekundärwicklungen,
- die Kapazitäten zwischen diesen Abschirmelektroden und den Sekundärwicklungen,
- die Induktivität der Anschlüsse der Sekundärwicklungen,
- die Induktivitäten der Anschlüsse der geerdeten Abschirmelektroden und
- die Wicklungskapazitäten

berücksichtigen.

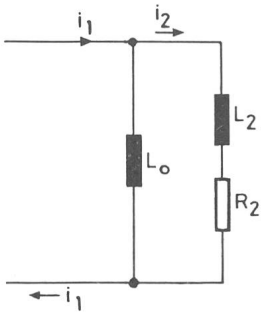

Fig. 12 Ersatzschaltbild des Stromwandlers mit linearisiertem Kern

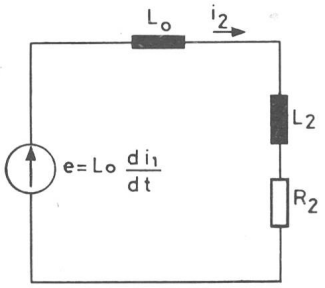

Fig. 13 Umgeformtes Ersatzschaltbild nach Figur 12 mit Spannungsquelle

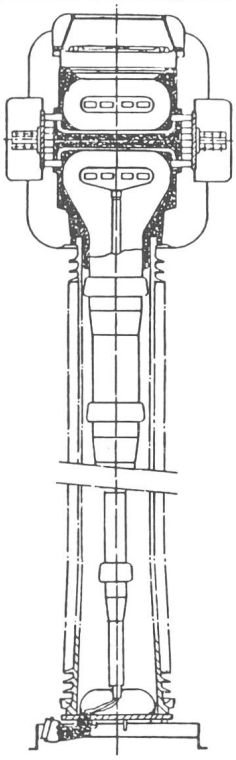

Fig. 14 Schnittbild eines Hochspannungsstromwandlers

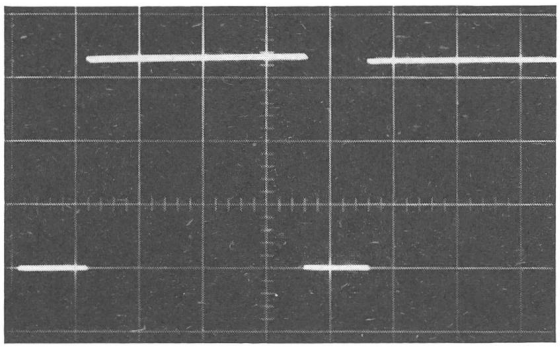

Fig. 15 Angelegter Spannungssprung
x-Achse: 2 ms/Skalenteil
y-Achse: 100 V/Skalenteil

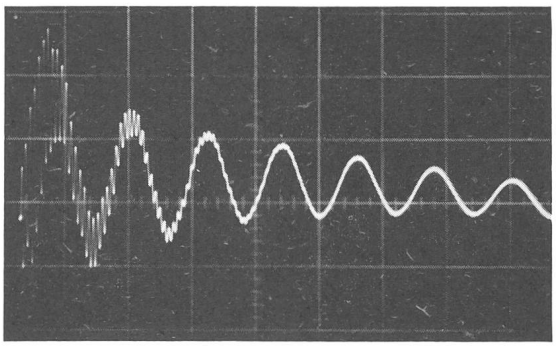

Fig. 16 Sekundäre Störspannung
x-Achse: 2 µs/Skalenteil
y-Achse: 100 mV/Skalenteil

Um die Hochfrequenzbeeinflussung der Sekundärwicklungen und von deren Anschlüssen so gering wie möglich zu halten, muss die Impedanz der Ableitungen der geerdeten Abschirmung so gering wie möglich sein.

Figur 14 zeigt ein Schnittbild eines Kopfstromwandlers. Der Aktivteil ist in einem metallischen Gehäuse eingebaut, welches über ein metallisches Rohr geerdet ist. Die Sekundäranschlüsse werden durch das Rohr bis zum Klemmenkasten durchgehend abgeschirmt. Eine solche Ausführung stellt sicher, dass die eingekoppelte Hochfrequenzleistung gering ist und die Schutzrelais weder in ihrer Funktion gestört noch zerstört werden. Bei Freiluftwandlern wird die Abschirmung durch Anlegen eines Spannungsstosses mit etwa 100 ns Anstiegszeit gemessen. Nur 0,1% der Stoßspannung und 0,2% des Stoßstromes werden bei Anwendung der erwähnten Massnahmen in die Sekundärwicklungen eingekoppelt. Bei Spannungswandlern für gekapselte Anlagen wird diese Messung ebenfalls durchgeführt. Die Anstiegszeit des angelegten Impulses beträgt etwa 1 ns. Figur 15 zeigt die angelegte Rechteckspannung. Die eingekoppelte Hochfrequenz wird beim schnellen Spannungsabschalten gemessen; Figur 16 zeigt die in die Sekundärwicklung eingekoppelte Störspannung; das Spannungsverhältnis beträgt ebenfalls nur 0,1%.

5. Schlussbetrachtung

Die Weiterentwicklung der Kenndaten von Messwandlern geht eindeutig in die Richtung eines verbesserten dynamischen Übertragungsverhaltens. Durch besondere Rechen- und Messverfahren gelingt es, die gewünschten Eigenschaften der Messwandler weiter zu entwickeln, so dass in einem relativ grossen Frequenzbereich eine gute Genauigkeit und eine störsichere Übertragung der Messdaten sichergestellt ist.

Adresse der Autoren
J. M. Bouchoms, H. Denoël, M. Kirschvink, P. Mahy, Balteau S. A.,
B-4610 Beyne-Heusay.