

|                     |   |
|---------------------|---|
| <b>Zeitschrift:</b> | Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses |
| <b>Herausgeber:</b> | Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen  |
| <b>Band:</b>        | 87 (1996)   |
| <b>Heft:</b>        | 1   |
| <b>Artikel:</b>     | Problematische Stromwandler-Typenprüfung : der "Factor of Construction" $F_c$ : was ist das eigentlich?   |
| <b>Autor:</b>       | Korponay, Miklos E.   |
| <b>DOI:</b>         | <a href="https://doi.org/10.5169/seals-902286">https://doi.org/10.5169/seals-902286</a>   |

### 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:** 23.01.2026

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

Die neue internationale Norm IEC 44-6 schreibt für Stromwandler der Typen TPX, TPY und TPZ die Messung (Typenprüfung) des sogenannten Konstruktionsfaktors  $F_c$  (engl.: factor of construction) vor und verlangt dessen Angabe auf dem Leistungsschild, falls der Messwert über 1,1 liegt. Die damit zusammenhängende Streureaktanz von Stromwandlern hängt aber nicht nur von deren Konstruktion, sondern auch stark von der momentanen Betriebsinduktion ab, so dass ein gegebener Wandler nicht mit einem eindeutigen Wert für  $F_c$  charakterisiert werden kann. Der vorliegende Aufsatz behandelt die theoretischen Grundlagen des Konstruktionsfaktors und bringt Lösungsvorschläge zu den aufgeworfenen Fragen.

# Problematische Stromwandler-Typenprüfung

## Der «Factor of Construction» $F_c$ – was ist das eigentlich?

■ Miklos E. Korponay

Obwohl Leistungstransformatoren, Spannungswandler und Stromwandler nach dem gleichen (Transformator-)Prinzip funktionieren, zeigen letztere ein grundsätzlich verschiedenes Betriebsverhalten. Im Gegensatz zu den Leistungstransformatoren und Spannungswandlern fühlen sich Stromwandler um so wohler, je «satter» sie sekundärseitig kurzgeschlossen sind. Aus physikalischen Gründen sind bei Stromwandlern auch die Streureaktanzverhältnisse anders als bei den übrigen Transformatoren. Ihre Streureaktanz hängt nicht nur von der Konstruktion, sondern in grossem Massen auch von der aktuellen Betriebsinduktion ab. Dies hat Konsequenzen bei der Auslegung von Stromwandlern, welchen aber leider bei der Normung zuwenig Rechnung getragen wurde.

Solche Probleme zeigen sich insbesondere im Zusammenhang mit der Norm IEC 44-6. Als Ergänzung zum existierenden Standard IEC 185 für Stromwandler wurde sie im Jahre 1992 als neuer Standard für

das transiente Verhalten von Stromwandlern rechtskräftig. Dieses Dokument enthält eine grosse Anzahl neuer Definitionen, die aber vielfach nur kurz oder teilweise sogar schlecht beschrieben werden. Dadurch wird die Anwendung des Standards erschwert, und Fehlinterpretationen führen in der Praxis häufig zu überhöhten Kosten.

Eine zentrale Grösse in dieser Norm ist der *Factor of Construction*  $F_c$ , welcher auf Deutsch *Konstruktionsfaktor*  $F_c$  genannt wird. Dieser soll die konstruktiv bedingten Einflüsse auf das Übertragungsverhalten berücksichtigen. Er dient als Massstab für die Beurteilung, ob ein Wandler aufgrund der Grösse der sekundären Streureaktanz  $X_s$  als sogenannter Niedrigreaktanztyp ( $F_c \leq 1,1$ ) oder als Hochreaktanztyp ( $F_c > 1,1$ ) gilt.

Nun kann aber der Konstruktionsfaktor für einen Stromwandler nur für einen definierten Betriebszustand ermittelt werden. Die erwähnte Norm IEC 44-6 schreibt jedoch für manche Stromwandlerarten die Angabe eines einzigen Wertes für den Konstruktionsfaktor  $F_c$  vor, was vielfach zu Widersprüchen oder anderen Schwierigkeiten führt. Es ist das Ziel dieses Artikels, zu zeigen, wie Hersteller und Anwender von Stromwandlern diese Probleme trotzdem meistern können.

### Adresse des Autors:

Miklos E. Korponay, Instrument Transformers IT  
Consult Korponay, Postfach 104, 5412 Gebenstorf.

## Normen

Der Niedrigreaktanztyp ist im allgemeinen bevorzugt, weil sein Übertragungsverhalten unter den verschiedensten Betriebsbedingungen im voraus berechnet werden kann. Leider ist die direkte Messung von  $X_s$  nicht möglich. Im IEC-Dokument werden Methoden zu seiner indirekten Bestimmung angegeben. Dabei wird aber übersehen, dass  $X_s$ , und damit auch  $F_c$ , von sehr vielen Faktoren abhängt und somit keine Konstante ist. Deshalb kann für ihn kein einzelner, allein gültiger Wert ermittelt und (gar auf dem Leistungsschild) angegeben werden, wie in der Norm für diverse Wandlertypen verlangt wird.

Die Ermittlung von  $F_c$  ist zeitraubend und kostspielig, und das Resultat ist höchst fragwürdig. Andererseits würde eine Änderung des Standards, wenn überhaupt möglich, viele Jahre in Anspruch nehmen. Ein Weg zur Lösung des Problems ist für

Anwender – und zu denen gehören Erzeuger, Verteiler, Benutzer von elektrischer Energie, Hersteller und Anbieter von Schutzsystemen, Ingenieurbüros, die solche Systeme einsetzen, und viele andere mehr – und Wandlerhersteller die sogenannte Design Review. Ihr Ziel ist die Überprüfung der Wandlerkonstruktion und der zur Reduktion der Streureaktanz getroffenen Massnahmen. Sie soll gemeinsam, das heißt durch den Wandleranwender zusammen mit dem Wandlerhersteller, durchgeführt werden. Was dabei zu beachten ist, wird in diesem Aufsatz beschrieben.

1, sind die vom Primärstrom und vom Sekundärstrom erzeugten Flüsse  $\Psi_p$  und  $\Psi_s$  gleich gross, jedoch einander entgegengerichtet. Ihre Summe, der resultierende Fluss  $\Psi$ , ist deshalb Null, weil, um den Sekundärstrom zu treiben, keine Spannung  $U_s$  benötigt wird:  $\Psi=0$ . Tatsächlich sind es nicht die Ströme  $I_p$  und  $I_s$ , die für den Fluss massgebend sind, sondern die Amperewindungszahlen  $I_p \cdot n_p$  und  $I_s \cdot n_s$ . Für alle weiteren Betrachtungen wird angenommen, dass  $n_s = n_p$  ist. Damit gelten die Gleichungen (1) und (2):

$$I_s = I_p \quad (1)$$

$$\Psi = \Psi_s + \Psi_p = 0 \quad (2)$$

wobei  $\Psi$  der resultierende Kernfluss ist.

### Grundbegriffe für Stromwandler

Bei einem idealen Stromwandler, das heißt bei einem verlustfreien Wandler ohne Streuung und mit Nullbürde nach Bild

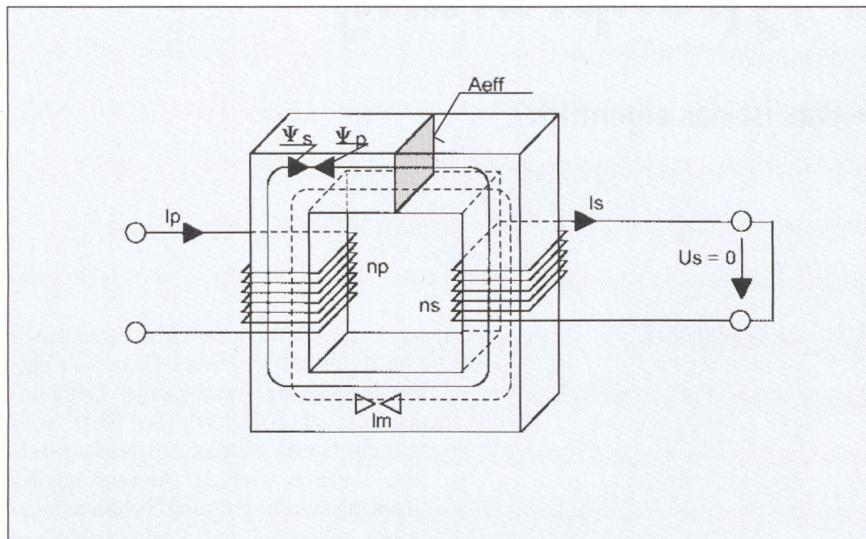


Bild 1 Prinzip und Kenngrößen eines idealen Stromwandlers

|          |                        |           |                           |
|----------|------------------------|-----------|---------------------------|
| $I_p$    | Primärstrom            | $\Psi_s$  | Sekundärfluss             |
| $I_s$    | Sekundärstrom          | $\Psi$    | resultierender Kernfluss  |
| $n_p$    | primäre Windungszahl   | $U_s$     | sekundäre Klemmenspannung |
| $n_s$    | sekundäre Windungszahl | $A_{eff}$ | Kernquerschnitt           |
| $\Psi_p$ | Primärfluss            | $I_m$     | Eisenlänge                |

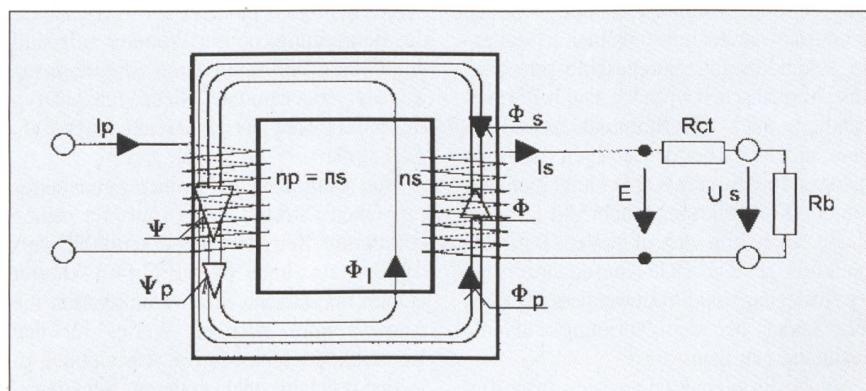


Bild 2 Kenngrößen eines realen Stromwandlers

|          |                              |          |                                 |
|----------|------------------------------|----------|---------------------------------|
| $E$      | sekundär induzierte EMK      | $\Psi$   | primärer verketteter Fluss      |
| $\Phi$   | sekundärer verketteter Fluss | $R_b$    | angeschlossene Bürde            |
| $\Phi_I$ | Streufluss                   | $R_{ct}$ | Widerstand der Sekundärwicklung |

In der Praxis existiert ein solcher idealer Stromwandler nicht, weil an die Sekundärklemmen immer eine Last (Bürde)  $R_b$  angeschlossen wird. Ferner besitzt die Sekundärwicklung einen Widerstand  $R_{ct}$ , was bedingt, dass eine EMK  $E$  induziert werden muss, um den Sekundärstrom zu bewirken. Damit die notwendige EMK erzeugt wird, kann der resultierende Fluss  $\Psi$  nicht mehr Null sein, sondern muss einen endlichen Wert annehmen. Dieser Fluss  $\Psi$  wird durch einen Magnetisierungsstrom  $I_m$  erzeugt, der von  $I_p$  abgezweigt wird und bei  $I_s$  fehlt (siehe Bild 2):

$$I_m = I_p - I_s \quad (3)$$

Hinzu kommt, dass nicht alle Feldlinien des Flusses  $\Psi$  mit der Sekundärwicklung verkettet sind. Einige von ihnen schliessen sich ausserhalb der Sekundärwicklung und bilden den Streufluss  $\Phi_I$ . Demnach ist der mit der Sekundärwicklung verkettete Fluss  $\Phi$  kleiner als der von  $I_m$  induzierte Kernfluss  $\Psi$ .

$$\Phi = \Psi - \Phi_I < \Psi \quad (4)$$

Die Konsequenz ist, dass in der Sekundärwicklung die von  $\Phi$  induzierte EMK kleiner ist, als wenn sie von  $\Psi$  induziert würde. Die Differenz kommt einem durch  $I_s$  an einer fiktiven Induktivität  $L_\sigma$  (der sekundären Streuinduktivität) oder an ihrer Reaktanz  $X_s$  (der sekundären Streureaktanz) verursachten Spannungsabfall  $U_I$  gleich:

$$U_I = L_\sigma \cdot \omega \cdot I_s = X_s \cdot I_s \quad (5)$$

Die Einführung von  $X_s$  bedeutet nichts anderes, als anzunehmen,  $\Psi$  sei komplett mit der Sekundärwicklung verkettet und die Streuung durch die Reihenschaltung von  $X_s$  zu  $R_{ct}$  und  $R_b$  zu berücksichtigen (siehe Bild 3). Diese Annahme ist not-

wendig, um ein allgemeingültiges Ersatzschaltbild erstellen zu können.

*Bemerkung:* Die sekundär angeschlossene Bürde  $R_b$  ist immer als rein ohmscher Widerstand angenommen, zumal IEC 44-6 nur für Wandler mit einer solchen Bürde gilt!

## Der Konstruktionsfaktor $F_c$ als Kenngröße für Stromwandler

Zur Charakterisierung der Abweichungen eines Stromwandlers von der Fiktion eines idealen Wandlers wird in der Norm IEC 44-6, Absatz 3.29, die Kenngröße des Konstruktionsfaktors  $F_c$  (factor of construction) eingeführt. Gemäß Definition in dieser Norm ist der Konstruktionsfaktor  $F_c$  ein vom Hersteller angegebener Faktor für die technische Ausführung (factor declared by the manufacturer for the design) und gegeben durch das Verhältnis:

$$F_c = U_{alc} / E_{alc} \quad (6)$$

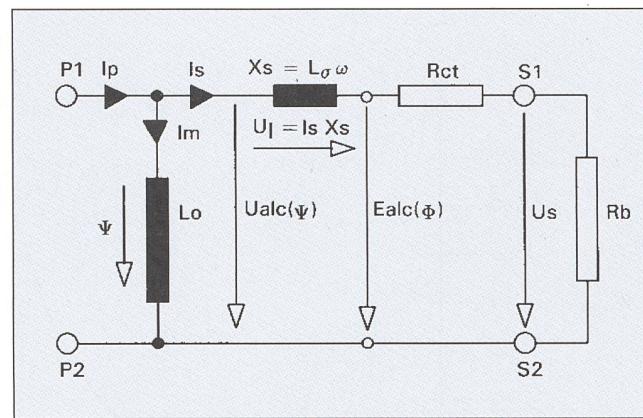
Die Größen  $U_{alc}$  und  $E_{alc}$  sind dabei wie folgt definiert:

$U_{alc}$  ist der Effektivwert einer äquivalenten sinusförmigen, nennfrequenten Spannung, welche – wenn sie an die Sekundärklemmen eines Stromwandlers gelegt wird – einen Magnetisierungsstrom erzeugt, der dem erlaubten Höchstwert der betrachteten Wandlerklasse entspricht. Diese Definition setzt stillschweigend voraus, dass bei der Erregung des Kerns von der Sekundärseite her alle induzierten Feldlinien mit allen Sekundärwindungen verkettet sind. Das heißt, die Streuung wird als Null angenommen.  $U_{alc}$  erzeugt demnach den Kernfluss  $\Psi$ .

$E_{alc}$  ist der Effektivwert einer äquivalenten sinusförmigen, nennfrequenten EMK, bei der – in einem Direktversuch – ein Magnetisierungsstrom beobachtet wird, der dem erlaubten Höchstwert der entsprechenden Wandlerklasse entspricht. Der Magnetisierungsstrom ist der vom Primär-

Bild 4 Ersatzschaltbild eines realen Stromwandlers

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| $P_1, P_2$                            | Primäranschlüsse                          |
| $S_1, S_2$                            | Sekundäranschlüsse                        |
| $L_o$                                 | Hauptinduktivität                         |
| $I_m$                                 | Magnetisierungsstrom                      |
| $U_1$                                 | Spannungsabfall an $X_s$ (Streureaktanz)  |
| $U_{alc}$                             | äquivalente sekundäre Fehlergrenzspannung |
| $E_{alc}$                             | äquivalente sekundäre Fehlergrenz-EMK     |
| übrige Bezeichnungen siehe Bilder 1-3 |   |



strom abgezweigte Strom, der den Kernfluss  $\Psi$  erzeugt. Dieser Fluss ist jedoch in der Realität, das heißt bei vorhandener Streuung, gemäß Gleichung (4) nicht vollständig mit allen Sekundärwindungen verkettet. Die an der Sekundärwicklung ermittelte EMK  $E_{alc}$  wird demnach geringer sein als die zum gleichen Magnetisierungsstrom gehörende Spannung  $U_{alc}$ .

Diese Definitionen lassen sich am besten anhand einer Ersatzschaltung verdeutlichen (Bild 4). Als Grundlage für diese Ersatzschaltung dient Bild 3 mit den zugehörigen Annahmen: der Strom  $I_m$  mit dem von der Klasse erlaubten Maximalwert (z. B.  $I_m = 0,05 \cdot I_s$  für Wandler der Klasse TPX) erzeugt einen Fluss  $\Psi$ , der vollständig mit der Sekundärwicklung verkettet ist und die EMK  $U_{alc}$  induziert. Diese Spannung ist deshalb eine Funktion von  $\Psi$ . Besitzt der Wandler eine Streureaktanz  $X_s$ , so entsteht über sie nach Gleichung (5) ein Spannungsabfall  $U_1$ , welcher dem Streufluss  $\Phi_1$  in Bild 2 entspricht. Dadurch ist die nun verbleibende EMK  $E_{alc}$  eine Funktion von  $\Phi$  und kleiner als  $U_{alc}$ . Das Verhältnis zwischen  $U_{alc}$  und  $E_{alc}$  ist definiitionsgemäß der Konstruktionsfaktor  $F_c$ . Damit ist leicht einzusehen, dass der Konstruktionsfaktor in einem *streuungsfreien Stromwandler* gerade den Wert  $F_c = 1$  annimmt. Im Grunde genommen ist der

Konstruktionsfaktor  $F_c$  nichts anderes als das Verhältnis von  $\Psi$  und  $\Phi$  unter Fehlergrenzbedingungen:

$$F_c = \Psi / \Phi = (\Phi + \Phi_1) / \Phi \quad (7)$$

## Experimentelle Bestimmung des Konstruktionsfaktors $F_c$

Um  $F_c$  zu bestimmen, muss man die Werte  $U_{alc}$  und  $E_{alc}$  kennen. Allerdings kann keiner von ihnen direkt gemessen werden, so dass indirekte Methoden angewandt werden müssen. Dazu bedient man sich der Gleichung (6). In einem ersten Schritt bestimmt man  $\Phi$ , indem man in einem Direktversuch den Wandler von der Primärseite her (vielfach mit Gleichstrom) erregt, die sekundäre Klemmenspannung  $U_s$  integriert und das Ergebnis aufgrund der Gleichungen (8) und (9) mit einem Faktor  $k$  korrigiert:

$$k = (R_{ct} + R_b) / R_b \quad (8)$$

$$\Phi = k \int U_s(t) dt \quad (9)$$

Gleichzeitig wird der Magnetisierungsstrom  $I_m$  gemessen und die Integrationszeit  $t$  so bestimmt, dass  $I_m$  zur Zeit  $t$  gerade dem für die Klasse maximal erlaubten Wert entspricht.

Für die Bestimmung von  $\Psi$  geht man von der Annahme aus, dass die sekundäre Streuinduktivität eines Wandlers – bei Erregung von der Sekundärseite her – Null ist. Man legt daher bei offenen Primärklemmen eine sinusförmige Spannung an die Sekundärklemmen des Wandlers und misst den dem Magnetisierungsstrom  $I_m$  entsprechenden Strom. Man erhöht dabei die Spannung, bis  $I_m$  gerade dem oben erwähnten Wert der Klasse entspricht. Die dann gemessene Spannung ist  $U_{alc}$ . In der Praxis ist ein Anlegen von  $U_{alc}$  allerdings meistens nicht möglich, da ihr Wert gewöhnlich weit oberhalb des Isolations-

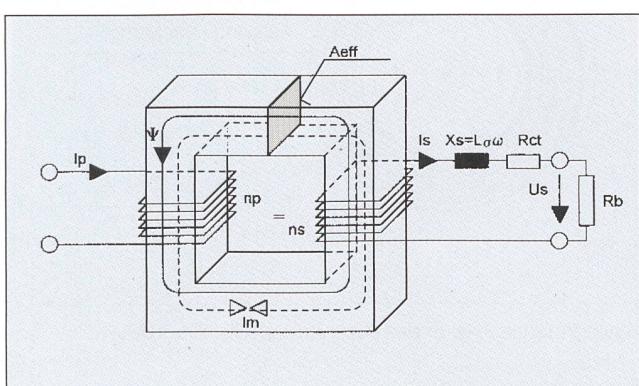


Bild 3 Ersatzschaltbild eines realen Stromwandlers

Der Einfluss des Streuflusses  $\Phi_1$  wird durch eine sekundäre Streureaktanz  $X_s = L_o \omega$  berücksichtigt.

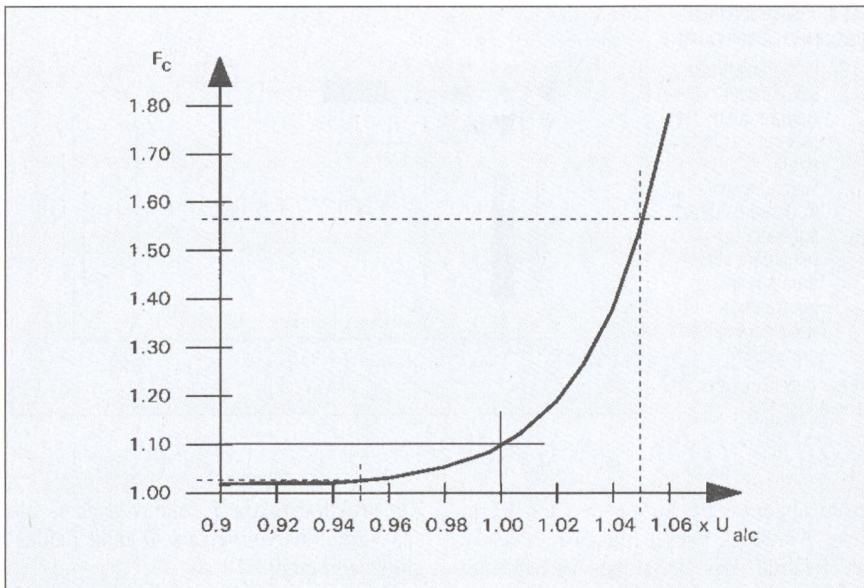


Bild 5 Variation von  $F_c$  in der Nähe des Kniepunktes der Magnetisierungskennlinie

niveaus der Sekundärwicklung liegt! In solchen Fällen erregt man die Sekundärwicklung mit einer Gleichspannung, bis  $I_m$  den Grenzwert erreicht hat, notiert die Zeit  $t$  und integriert die Sekundärspannung bis zum Zeitpunkt  $t$ . Das so erhaltene Integral entspricht dann dem Fluss  $\Psi$ . Aus dem Verhältnis  $\Psi/\Phi$  lässt sich nun ein Wert für den Konstruktionsfaktor  $F_c$  berechnen. Dabei ist aber zu betonen, dass dies nur einer unter verschiedenen möglichen Werten ist.  $F_c$  ist nämlich alles andere als konstant und deshalb nicht eindeutig bestimmt. Die erhaltenen Werte für  $U_{alc}$  und  $E_{alc}$  und damit auch für  $F_c$  gelten nur für den einen, gemessenen Kern und für keinen anderen!  $F_c$  hängt nämlich nicht nur von der Konstruktion ab, sondern auch von vielen anderen Parametern, deren Beschreibung den Rahmen dieses Aufsatzes sprengen würde.

Ein wichtiger, für alle Stromwandler gültiger Aspekt soll jedoch noch erläutert werden: Der Streufluss  $\Phi_I$  ist zum Magnetisierungsstrom  $I_m$  proportional, weil er hauptsächlich in Luft verläuft, während der verkettete Fluss  $\Phi$  von ihm (aufgrund der nichtlinearen Magnetisierungskurve des Kernmaterials) im höchsten Masse nichtlinear abhängt. Dies bedeutet, dass  $\Phi$  nach dem «Kniepunkt» im B-H-Diagramm des Kernmaterials kaum mehr ansteigt, während  $\Phi_I$  weiter zunimmt. Somit nimmt das Verhältnis dieser Flüsse, und damit auch  $F_c$ , ebenfalls stark nichtlinear zu. In Bild 5 ist die Variation von  $F_c$  in der Nähe des Kniepunktes für einen realisierten Wandler dargestellt. Der Kern eines TPX-Typ-Wandlers wurde dabei so getrimmt, dass der Wandler bei  $U_{alc}$  gerade einen Konstruktionsfaktor von  $F_c = 1,1$  hatte.

Erhöhte man die angelegte Spannung um 5%, was bei den üblichen Herstelltoleranzen durchaus vorkommen kann, so stieg  $F_c$  auf den Wert von  $F_c = 1,57$  an. Eine Reduktion der Spannung auf nur 95%, andererseits, ergab einen Konstruktionsfaktor von  $F_c = 1,03$ .

Bei den sogenannten Antiremanenzspaltkernen des Typs TPY ist die Nichtlinearität im Kniebereich noch ausgeprägter; die Magnetisierungskennlinie gleicht hier vielmehr einer Knickgeraden. Dadurch können in der Nähe des Fehlergrenzfaktors in  $U_{alc}$  und damit in  $F_c$  ähnlich grosse oder gar noch grössere Differenzen auftreten. Gerade bei Typen wie TPX, TPY und TPZ verlangt aber die Norm IEC 44-6 in Fällen, wo der Konstruktionsfaktor

$F_c$  grösser als 1,1 ist, seine Angabe auf dem Leistungsschild.

Bei allen Haarnadel-, Augbolzen- und Mittelspannungs-Giessharzwandlern sowie bei vielen Kopfstromwandlern mit Primärumschaltung ist die Primärwicklung einseitig, das heisst unsymmetrisch angebracht. Die Folge ist eine örtliche Sättigung des Kerns bei Überströmen, was ein  $F_c > 1,1$  bedeutet. Als Gegenmassnahme wird besonders bei höheren Nennströmen eine «ungleichmässig verteilte Sekundärwicklung» verwendet. Dadurch wird erreicht, dass der im Normalbetrieb von der Primärseite her erregte Wandler sich wie ein Niedrigreaktanztyp verhält (Bild 6). Durch den Rückleiter werden dabei zusätzliche Feldlinien erzeugt, die zum Teil den Kern zur willkommenen Wegverkürzung benutzen und damit die magnetische Induktion im Bereich I, das heisst im Bereich mit erhöhtem Strombelag, erhöhen. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, werden im Bereich I zur Erhöhung der Amperewindungszahl mehr Windungen pro Längeneinheit aufgebracht als im Bereich II. Damit lässt sich zwar keine vollkommene Kompensation erreichen, aber das Resultat ist ein Niedrigreaktanzwandler.

Wird nun ein solcher Wandler von der Sekundärseite erregt, so entsteht im Bereich I ein Fluss, der den Sättigungswert noch vor dem Erreichen von  $U_{alc}$  überschreitet (es fehlen die entgegenwirkenden primären Amperewindungen). Der Magnetisierungsstrom steigt plötzlich an, und es werden Werte für  $U_{alc}$  gemessen, welche kleiner sind als jene für  $E_{alc}$ ! Daraus resultieren Konstruktionsfaktoren von  $F_c < 1,0$  (Bild 7). In der Praxis wurden so schon Werte von 0,85 gemessen!

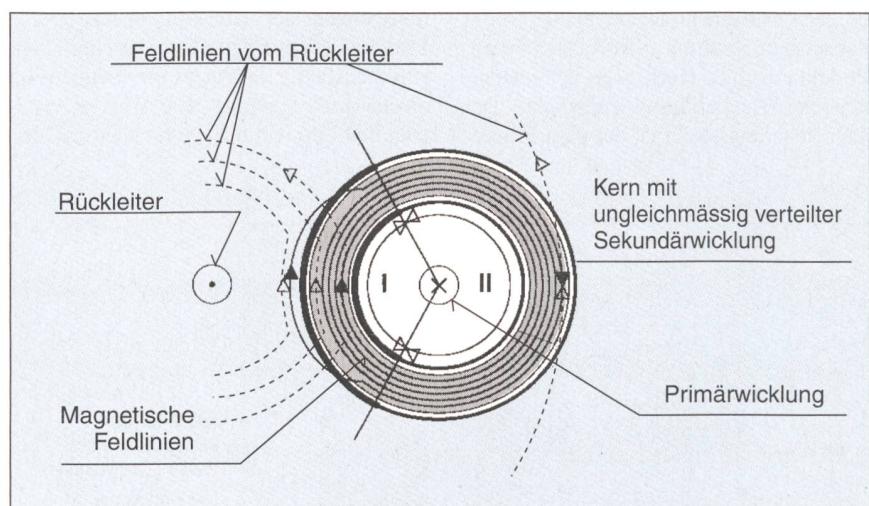


Bild 6 Verbesserung des Konstruktionsfaktors  $F_c$  durch eine asymmetrische Sekundärwicklung

- I Bereich mit erhöhtem Strombelag
- II Bereich mit reduziertem Strombelag

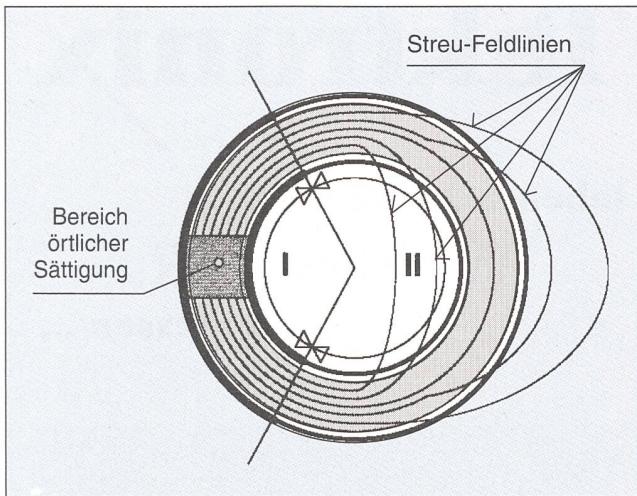


Bild 7 Feldverteilung bei sekundärseitig erregtem Stromwandler

- I Bereich mit erhöhtem Strombelag
- II Bereich mit reduziertem Strombelag

tanztyp gilt, soll durch eine ausreichend grosse Anzahl von Prüfungen mit verschiedenen Erregerströmen, Einschaltzyklen und Bürdenkombinationen erbracht werden. Bei der Konzeption der Norm wurde wohl vergessen, dass die Kosten für ein Hochstromlabor sich zwischen 40 000 und 60 000 Franken pro Tag bewegen!

### Konkreter Fall eines 240-kV-Kesselwandlers

Zur Veranschaulichung der Problematik des Konstruktionsfaktors als Wandlerkenngröße wird noch kurz der Fall eines 240-kV-Kesselwandlers mit einer 800/1A-Übersetzung beschrieben. Für diesen Wandler wurde ein Kern mit einem mittleren Durchmesser von  $D=40$  cm eingesetzt. Um die Kernabmessungen im normalen Rahmen zu halten, wurde der Wandler mit doppelten Windungszahlen, das heisst mit 1600 Sekundärwindungen, ausgeführt. Der Bereich I (40% des Kernumfangs) wurde mit 1200 Windungen, der Bereich II (restliche 60% des Umfangs) mit 400 Windungen bewickelt. Das Kernmaterial aus Silizium-Eisen erreicht bei einem Strombelag von ungefähr 1,5 AW/cm die Sättigung. Wäre der Kern gleichmässig bewickelt, so würde er bei einem Magnetisierungsstrom von 0,118 A ( $I_m/A = 1,5 \cdot 40 \cdot \pi / 1600$ ) gesättigt. Im vorliegenden Fall sind aber 40% des Kerns (d. h. 50,2 cm) mit 1200 Windungen bewickelt. Dies ergibt bei einem Strom von 0,118 A einen Strombelag von 2,82 A/cm. Der Kern muss also längst in der Sättigung sein, wenn der Magnetisierungsstrom 0,118 A erreicht. Die Messung führte in diesem Fall auf einen Konstruktionsfaktor von  $F_c=0,78$ !

Solche Resultate sind der Grund, warum der Standard IEC 44-6 unter Paragraph 7.3.3 zur Bestimmung des Konstruktionsfaktors  $F_c$  sagt: Wenn der Konstruktionsfaktor den Wert von 1,1 nicht überschreitet, kann die Ausführung den Anforderungen des Niedrigreaktanztyps entsprechen, muss es aber nicht! Das oben angeführte Beispiel und das Zitat aus der Norm zeigen, wie unsinnig die (zeitraubende und kostspielige) Messung des Konstruktionsfaktors  $F_c$  ist. Für die Beurteilung, ob ein Stromwandler tatsächlich zum Niedrigreaktanztyp gehört oder nicht, reicht jeden-

falls die Bestimmung von  $F_c$  nicht aus. Den Beweis dafür gibt IEC 44-6 unter Paragraph 7.4 selber: «Direct tests to verify that a current transformer will satisfy the basic requirements of a low leakage flux design, shall be made at a sufficiently large number of energising current, duty cycle and burden combinations as can reasonably establish that the deviation between the theoretical equivalent secondary e.m.f. and the measured value does not exceed 10%». Auf gut Deutsch heisst dies: Der Beweis, dass ein Stromwandler als Niedrigreak-

### Schlussfolgerungen

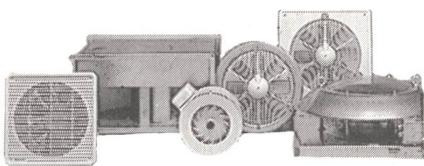
Zusammenfassend kann man sagen, dass die experimentelle Bestimmung des Konstruktionsfaktors  $F_c$  nicht geeignet ist, um die Konstruktion eines Wandlers objektiv zu beurteilen. Als bessere Lösung wird daher eher empfohlen, durch einen Spezialisten eine Design Review durchzuführen zu lassen. Aufgrund einer Konstruktionsbeurteilung kann dabei ein erfahrener Experte relativ schnell sagen, ob ein Stromwandler ein Niedrigreaktanztyp ist oder nicht. Zu den wichtigsten Kriterien, welche es dabei zu beurteilen gilt, gehören die vom Konstrukteur getroffenen Massnahmen wie Ausgleichswicklungen, asymmetrische Sekundärwicklung, parallel geschaltete Sektoren der Sekundärwicklung usw., um die Streufelder auch bei unsymmetrischen Wicklungsanordnungen in den Kern zurückzuzwingen.

## Expertise-type problématique des transformateurs d'intensité

### Le «Factor of Construction» $F_c$ – qu'est-ce que c'est au fond?

La nouvelle norme internationale CEI 44-6 prescrit pour les transformateurs d'intensité des types TPX, TPY et TPZ la mesure (expertise-type) du facteur de construction  $F_c$  (anglais: factor of construction) et en exige l'indication sur la plaquette signalétique, si la grandeur mesurée est supérieure à 1,1. Mais la réactance de fuite y rattachée des transformateurs d'intensité ne dépend pas que de leur construction, mais aussi fortement de l'induction de service momentanée, de sorte qu'un transformateur d'intensité donné ne peut pas être caractérisé sans équivoque par la valeur de  $F_c$ . L'article traite des bases théoriques du facteur de construction et montre que la détermination expérimentale du facteur de construction  $F_c$  ne se prête pas à une appréciation objective de la construction d'un transformateur d'intensité.

En s'appuyant sur des exemples et sur des citations tirées de la norme s'y rapportant on montre que la mesure (coûteuse en temps et argent) du facteur de construction  $F_c$  n'est pas utile, vu qu'elle ne suffit pas pour évaluer si un transformateur d'intensité appartient ou non réellement au type à basse réactance. On recommande plutôt la solution consistant à mandater un spécialiste pour faire une «Design Review». Sur la base d'une évaluation de la construction, un expert confirmé peut dire relativement vite si un transformateur d'intensité est ou n'est pas du type à basse réactance. Parmi les critères essentiels qu'il convient d'évaluer on compte les mesures prises par le constructeur – par exemple les enroulements équipotentiels, l'enroulement secondaire asymétrique, des secteurs de l'enroulement secondaire branchés en parallèle, etc. – pour forcer les champs de fuite à retourner dans le noyau même aussi en cas de dispositions asymétriques de l'enroulement.



### die besten Ventilatoren jeder Art, für jeden Verwendungszweck

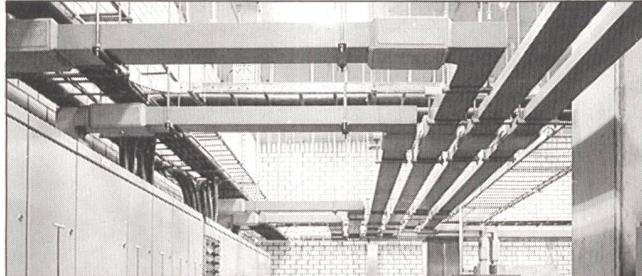
für Gewerbe, Industrie, Wohnbau und Sonderanwendungen komplett mit Schalter + Steuerungen. Telefonieren Sie, faxen Sie oder verlangen Sie einen Besuch von ANSON. — ANSON die führende Firma mit kompetenter Beratung, für rasche und preisgünstige Lieferung von Ventilatoren und Zubehör:

**ANSON AG 01/461111**  
8055 Zürich  
Friesenbergstr. 108  
Fax 01/463 09 26

**Jeder dritte BULLETIN-Leser arbeitet  
auf der obersten Geschäftsebene.**



Werbung auf fruchtbarem Boden.  
Tel. 01/207 86 34



### LANZ Stromschienen BETOBAR

Für die sichere Strom-Übertragung und Strom-Verteilung von 380—6000 A. Schutzart IP 68.7

- Hohe Kurzschlussfestigkeit
- wartungsfrei
- maximaler Personenschutz
- korrosionsfest
- komplett mit Montagematerial, Wand- und Deckendurchführungen, Anschlüssen, Abgangskästen etc.
- preisgünstig, platzsparend und rasch montiert

Rufen Sie **lanz oensingen ag** an für Beratung, Offerte, preisgünstige und rasche Lieferung

**Tel. 062/388 21 21 Fax 062/388 24 24**

— — — — — LANZ Produkte interessieren mich! Bitte senden Sie Unterlagen:

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> LANZ Stromschienen<br>BETOBAR 380—6000 A            | <input type="checkbox"/> LANZ G-Kanäle und<br>kleine Gitterbahnen |
| <input type="checkbox"/> Verteil-Stromschienen                               | <input type="checkbox"/> Schienenmontage-<br>system MULTIFIX      |
| <input type="checkbox"/> Beleuchtungs-Stromschienen                          | <input type="checkbox"/> Doppelböden für techn.<br>Räume          |
| <input type="checkbox"/> LANZ Kabelträgersystem aus<br>Stahl und Polyester   |   |
| <input type="checkbox"/> Könnten Sie mich besuchen? Bitte tel. Voranmeldung! |   |
| Name/Adresse/Tel.:   |   |



**lanz oensingen ag**  
CH-4702 Oensingen · Telefon 062 388 21 21

20

# Tektronix

sehen was anliegt ...

## WAVEMETER

und messen ...



**Multimeter:**

- Spannung: 600 V AC
- 850 V DC
- Strom: 10A AC/DC
- Widerstand: 40 MΩ
- Diodentest
- Frequenzmessung bis 1 MHz

**Oszilloskop:**

- AutoSet-Funktion
- Trigger
- 5 MHz Bandbreite
- 16 MS/s Abtastung
- Signalspeicher
- Eingang 1 M/17 pF

Bitte verlangen Sie Unterlagen und Beratung bei:

Your Specialists for Test & Measurement, EDA-Software, Communication and Semiconductor

### COMPUTER CONTROLS AG

Av. Longemalle 7, CH-1020 Renens, Tel. 021/636 28 28, Fax 021/636 28 30  
Neunbrunnenstr. 55, CH-8057 Zürich, Tel. 01/308 66 66, Fax 01/308 66 65

