



Istnieje wiele funkcjonalnych zasad stosowania przetworników prądowych, gdzie wykorzystanie przekładnika prądowego o rdzeniu toroidalnym, z niewielkim rezystorem obciążającym ma kilka wyraźnych zalet. Zamknięty obwód magnetyczny czyni go mniej wrażliwym na pole zakłócające i zazwyczaj nie jest koniecznym stosowanie ekranowania, o ile licznik ma właściwą konstrukcję. Czysto magnetyczna zasada działania nie wymaga elementów półprzewodnikowych i z tego powodu osiąga się przy niewielkich dodatkowych kosztach wysoką długoterminową stabilność obwodu. Prosty montaż kilku zaledwie elementów (rdzeń z uzwojeniem, przewody łączące i obudowa) pozwala małym nakładem pracy zmontować przekładnik oraz umożliwia jego zwartą konstrukcję. Te cechy prowadzą w całości do atrakcyjnej ceny tych przekładników prądowych.

Właściwości przekładnika z rdzeniem toroidalnym, takie jak błąd amplitudowy i fazowy oraz ich liniowość, jak również maksymalny prąd pierwotny zależą przede wszystkim od:

- zmiennych układu takich jak częstotliwość działania  $f$  i wymagane napięcie na obciążeniu (na oporności obciążenia  $R_B$ );
- właściwości materiału użytego na rdzeń magnetyczny (indukcja nasycenia  $B_{sat}$ , przenikalność magnetyczna  $\mu$  i kąt strat  $\delta$  jako funkcja poziomu wzbudzenia);
- zmiennych projektowych takich jak liczba zwojów wtórnych  $N_{sec}$ , oporność uzwojenia wtórnego  $R_{Cu}$ , przekrój rdzenia  $A_{Fe}$  oraz długość drogi magnetycznej  $l_{Fe}$ .

Równania opisujące własności elektryczne transformatora prądowego mogą być wyprowadzone z teoretycznych podstaw teorii obwodów magnetycznych, przy czym bez znacznych zmian dokładności można przyjąć pewne przybliżenia upraszczające obliczenia:

Błąd fazowy:

$$\tan \varphi = \frac{R}{\omega L} \cdot \cos \delta$$

Błąd amplitudy:

$$F(I) = -\frac{R}{\omega L} \cdot \sin \delta$$

Maksymalny prąd pierwotny:

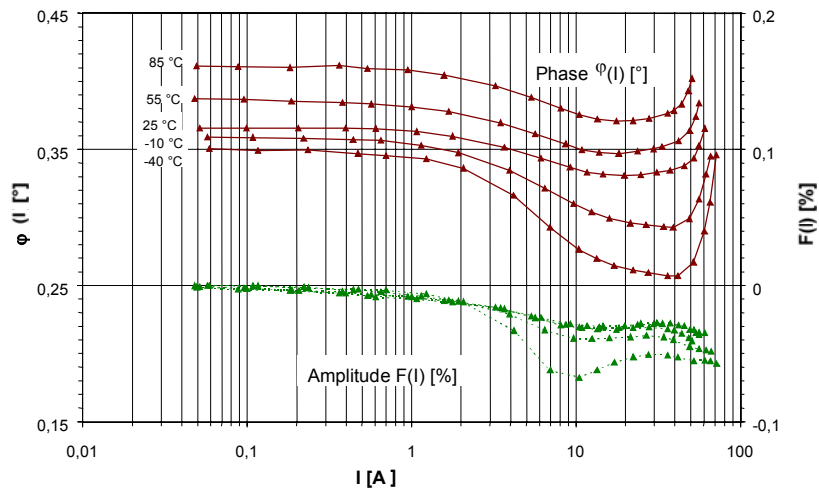
$$I_{max} \approx \frac{\omega \cdot N_{sec}^2}{R} \cdot B_{sat} \cdot A_{Fe}$$

przy czym  $R = R_{Cu} + R_B$ ,  $L = N_{sec}^2 \cdot \left( \mu' \cdot 12,57 \cdot \frac{A_{Fe}}{l_{Fe}} \right)$  i  $\omega = 2\pi \cdot f$

Zoptymalizowane rozwiązania mogą być adaptowane szybko i prosto do wymagań konkretnego klienta, przy pomocy nowego programu obliczeniowego wykorzystującego powyższe związki.

Wymagania stawiane materiałom magnetycznym dla trzech wspomnianych obszarów zastosowań przedstawiają się następująco:

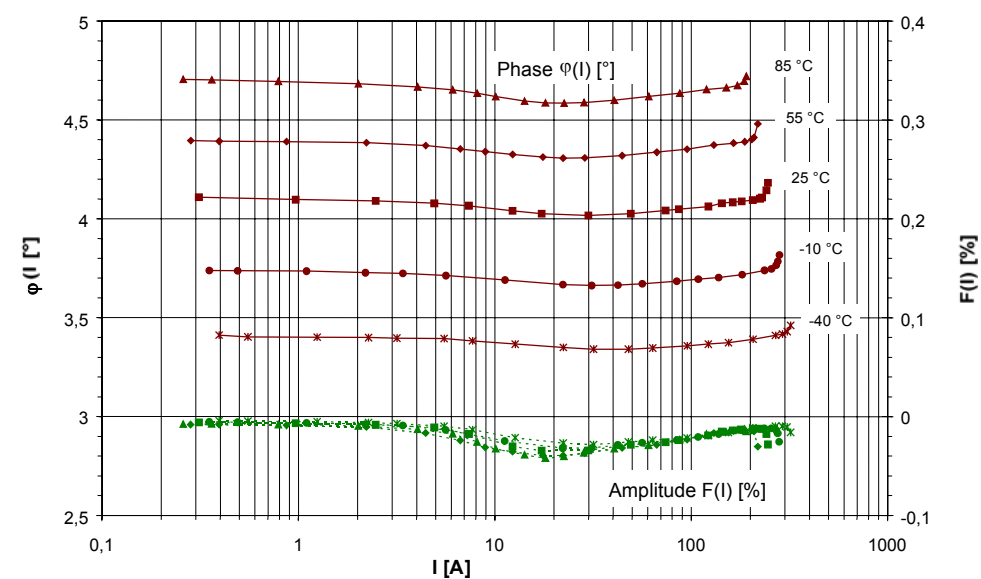
**Dla liczników spełniających wymagania norm IEC 687 i ANSI C12.xx** są to głównie materiały o dużej przenikalności magnetycznej i liniowej charakterystyce, w połączeniu ze względnie wysokim zakresem indukcji magnetycznej, jak również niewielkimi zmianami właściwości w funkcji temperatury. Przekładniki prądowe, w których zastosowano wysokiej jakości stopy krystaliczne NiFe (ULTRAPER<sup>®</sup>) a szczególnie amorficzne (VITROVAC<sup>®</sup>) lub nanokrystaliczne (VITROPER<sup>®</sup>) produkowane przez VACUUMSCHMELZE GmbH & Co. KG, Hanau, posiadają zalety szczególnie godne uwagi Klientów. Wysoka i prawie stała przenikalność tych stopów, w szerokim zakresie zmian pola magnetycznego prowadzi do bardzo małego, łatwego do skompensowania błędu fazowego. Niewielka grubość taśmy, z której zbudowany jest rdzeń (typowo 22  $\mu$ m) i bardzo małe straty na prądy wirowe w rdzeniu magnetycznym wywołują bardzo mały błąd amplitudowy. Szczególne cechy struktury amorficznej i nanokrystalicznej prowadzą do niewielkich wartości natężeń pola koercji i małej zależności temperaturowej własności magnetycznych. Skutkuje to zależnością temperaturową błędów transformatora, określoną przede wszystkim przez liniową zależność temperaturową uzwojenia miedzianego. Rysunek 3 przedstawia wykres błędów w funkcji prądu pierwotnego (błąd fazowy w stopniach i błąd amplitudowy w %) dla przekładnika prądowego z rdzeniem wykonanym z taśmy nanokrystalicznej VITROPER<sup>®</sup> dla temperatury przykładowo zmieniającej się od  $-40^\circ\text{C}$  do  $+85^\circ\text{C}$ . Transformator ten zaprojektowano dla licznika przemysłowego pośrednio podłączanego do sieci zgodnie z normą IEC 687 i prądu pierwotnego 6 A przy 50 Hz.



Rys. 3. Wykres błędów przekładnika w funkcji prądu pierwotnego dla przekładnika prądowego z rdzeniem wykonanym z nanokrystalicznej taśmy VITROPERM®

Godnymi uwagi są błąd amplitudy poniżej – 0,1 % i liniowość błędu fazowego, którego zakres zmian w temperaturze pokojowej wynosi jedynie 0.03°. Przy zastosowaniu tego materiału i odpowiedniej konstrukcji, kompensacja błędów może być dokonana bardzo prosto nawet w bardzo precyzyjnych licznikach. W przekładnikach wykonanych na rdzeniach NiFe lub ferrytowych czy przetwornikach z czujnikami Halla kompensacja urządzenia jest skomplikowana i zwykle jej koszt jest nie do oszacowania.

**Liczniki wykonane zgodnie z normą IEC 1036** powinny być nieczułe na pewien poziom składowej stałej prądu (“tolerancja składowej stałej”), która może prowadzić do nasycenia magnetycznego konwencjonalnych przekładników prądowych, gdy wystąpi jednokierunkowy prąd zmienny, np. z zasilacza z diodami umieszczonymi po stronie pierwotnej. Do tych liczników wykorzystywane są rdzenie magnetyczne wykonane z wyjątkowo liniowych, a mimo wszystko bardzo czułych na zmiany pola magnetycznego stopów amorficznych produkowanych w VACUUMSCHMELZE GmbH & Co. KG, Hanau. Cechy te nadają przekładnikom prądowym doskonałe własności. Standardowa wielkość tolerancji na prąd stały jest osiągana bez szczeliny powietrznej, co minimalizuje podatność na pola zakłócające. Doskonałe własności materiałów magnetycznie miękkich na rdzenie magnetyczne prowadzą do małego błędu amplitudowego w zakresie ppm, jak również niezwykle słabej i liniowej zależności od temperatury. Z powodu małej przenikalności, występuje błąd fazowy ok. 4° do 5°, który jest łatwy do skompensowania ze względu na jego stałość, typowo  $\pm 0.05^\circ$ . Kompensacja może być wykonana cyfrowo poprzez odpowiednią korekcję w mikroprocesorze i analogowo, dolnoprzepustowym filtrem RC na wejściu przetwornika A/C. Przykład typowych wartości błędów przekładnika 60A podłączanego bezpośrednio do sieci zgodnie z IEC 1036 pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Wykres błędów transformatora z rdzeniem wykonanym z taśmy amorficznej VITROVAC® w funkcji prądu pierwotnego

## Prognozy

Tendencja do stosowania elektronicznych systemów rozliczania energii elektrycznej wymaga nowych przekładników prądowych o dużej dokładności, a jednocześnie tanich. Optymalnie zaprojektowane przekładniki prądowe, dzięki doskonałym właściwościom szybkościadanych materiałów magnetycznie miękkich, oferują kupującemu zalety godne uwagi. Zalety te oraz stosowanie nowatorskich, przyszłościowych opracowań opartych na funkcjonalnym wykorzystaniu przekładników prądowych zachęcają do technologicznej zmiany liczników indukcyjnych (Ferraris'a) na elektroniczne liczniki energii elektrycznej.

Dalsze informacje są dostępne w broszurze o nowych produktach VACUUMSCHMELZE GmbH & Co. KG, Grüner Weg 37, D-63450 Hanau, tel. (+49) 6181/380, fax (+49)6181/ 38-26 45, na stronie internetowej [www.vacuumschmelze.pl](http://www.vacuumschmelze.pl) oraz w K.B.R. Magneto, Al. Wyzwolenia 9 lok. 21, skr. poczt. 1145, 42-224 Częstochowa, tel./fax: (034)364-20-66, strona internetowa: [www.magneto.pl](http://www.magneto.pl) e-mail: [magneto@magneto.pl](mailto:magneto@magneto.pl)