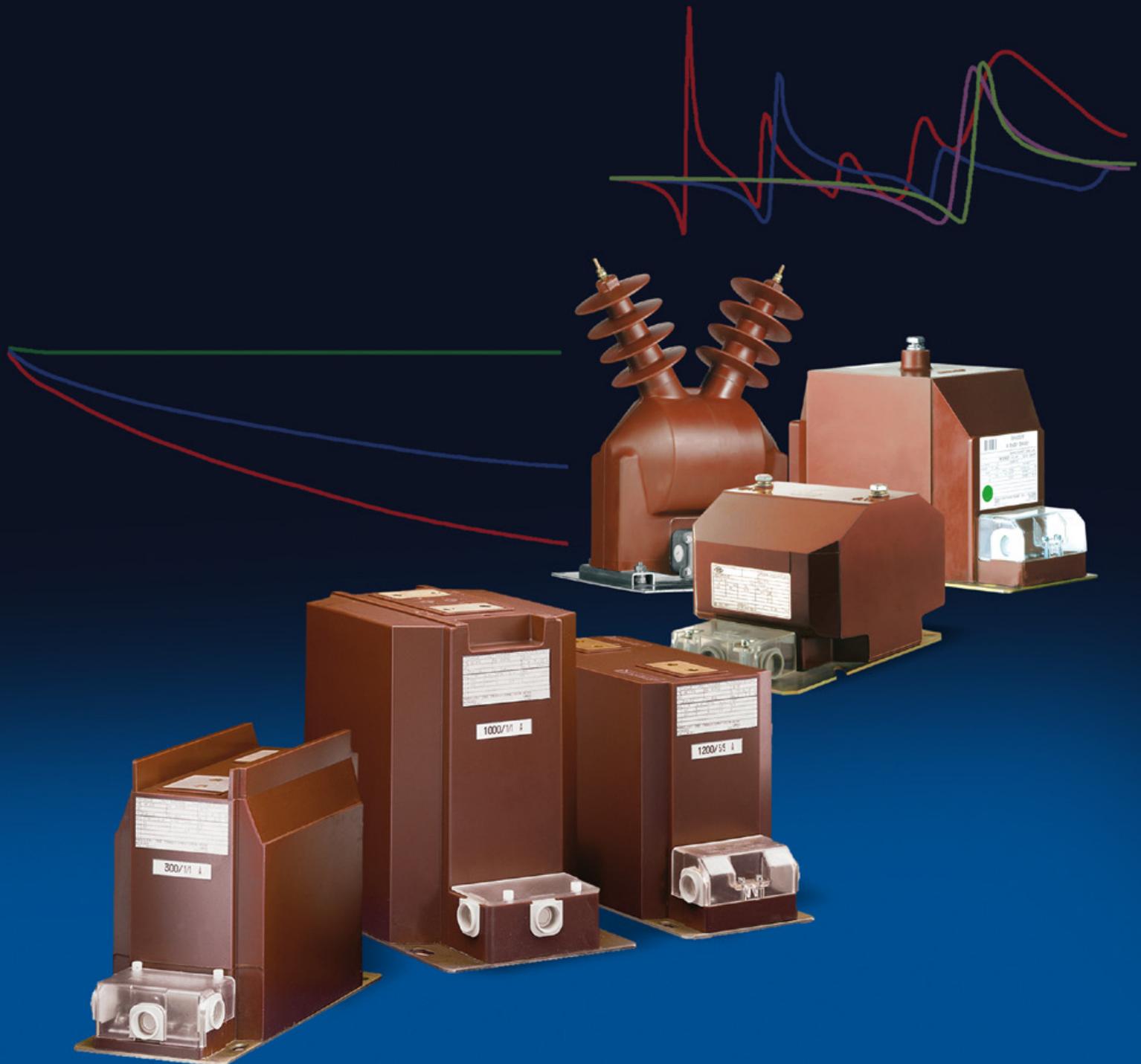




*Instrument Transformers*

## Frequenzabhängiges Übertragungsverhalten von Strom- und Spannungswandlern



# Frequenzabhängiges Übertragungsverhalten von Mittelspannungs-Spannungswandlern

Induktive Spannungswandler werden im Allgemeinen für eine Bemessungsfrequenz  $f_f$  ausgelegt. Es wächst der Wunsch, meist im Rahmen der Überprüfung der Versorgungsqualität (PQ-Messungen), mit den im Energieversorgungsnetz installierten Wandlern auch Harmonische und Zwischenharmonische der Spannungen zu messen.

Hierfür muss das frequenzabhängige Übertragungsverhalten der Wandler bekannt sein. Präzise Aussagen über diese Eigenschaft eines konkreten Wandlers können nur durch Messungen gewonnen werden.

Es ist jedoch möglich, anhand von bestimmten Parametern eine erste Abschätzung des Übertragungsverhaltens vorzunehmen. Nachfolgend werden die wichtigsten Einflussgrößen für einpolig isolierte Spannungswandler beschrieben.

## Abhängigkeit von der Spannungsebene

Messungen und Berechnungen zeigen, dass mit zunehmender Bemessungsspannung und damit verändertem internen Aufbau der Wandler die erste Resonanzstelle zu kleineren Frequenzen verschoben wird (Bild 1).

Für 35-kV-Wandler tritt die erste Resonanzstelle deutlich unterhalb von 5 kHz auf. Im Gegensatz dazu liegt diese bei 10-kV-Wandlern deutlich oberhalb von 10 kHz.

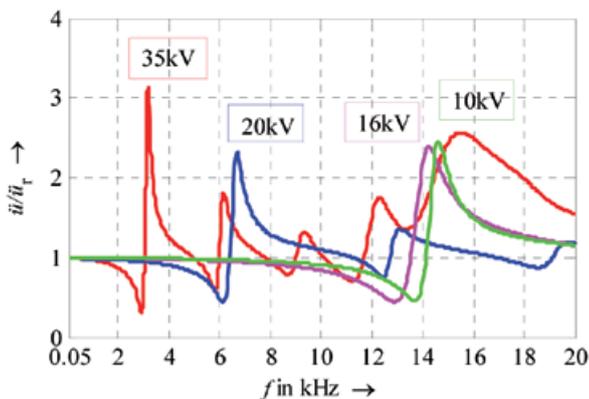


Bild 1: Frequenzgänge ausgewählter Spannungswandler

## Abhängigkeit von der Bürde

Vereinfacht wird festgestellt, dass mit zunehmender Bürde das Minimum der Übertragungsfunktion stärker ausgeprägt ist.

Dies kann sowohl durch Messungen (Bild 2) als auch durch Berechnungen gezeigt werden. Wandler bei normgerechter Beibürdung ( $S_r$  und  $\cos(\beta)=0,8$ ) weisen ein ähnliches Frequenzverhalten wie bei Betrieb im Leerlauf auf.

## Abhängigkeit von Umgebungsbedingungen

Hierbei ist besonders die Umgebungstemperatur zu nennen. Untersuchungen in einem Klimaschrank zeigen, dass eine Veränderung dieses Parameters zu einer Verschiebung der Resonanzstellen im Frequenzgang führt (Bild 3).

Dies gilt entsprechend auch für andere Umgebungsbedingungen. Daher ist eine allgemeine Fehlerkorrektur durch die Sekundärtechnik nicht möglich.

## Quelle:

M. Klatt, J. Meyer, M. Elst, P. Schegner, 2010, "Frequency Responses of MV voltage transformers in the range of 50 Hz to 10 kHz", International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), IEEE, Bergamo (Italy)

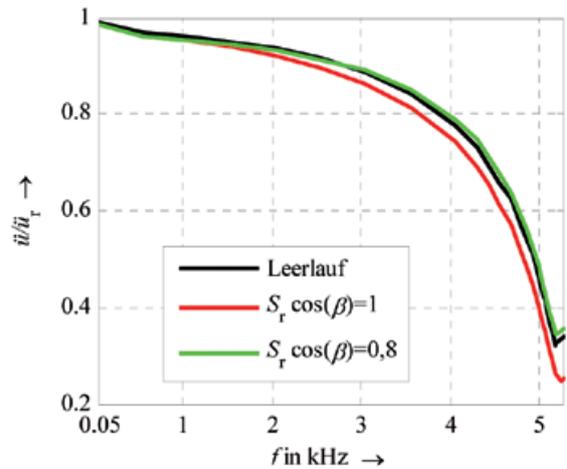


Bild 2: Frequenzgänge eines 20-kV-Spannungswandlers bei unterschiedlicher Beibürdung

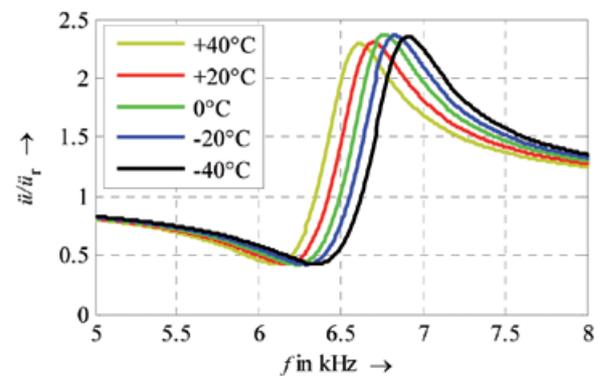


Bild 3: Frequenzgänge eines 20-kV-Spannungswandlers bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen

## Fazit

Allgemein, ohne Bezug auf einen konkreten Wandler, können für die Genauigkeit der heute eingesetzten Spannungswandler bis  $U_f = 20$  kV die folgenden Richtwerte für Frequenzanteile oberhalb der Bemessungsfrequenz  $f_f$  angegeben werden (Tabelle 1). Der Anwender sollte bei PQ-Messungen den Spannungswandler mit normgerechter Bürde betreiben. Um präzise Aussagen treffen zu können, ist eine messtechnische Überprüfung des entsprechenden Wandlers erforderlich. Für Spannungswandler mit  $U_f > 20$  kV können im Frequenzbereich bis 2,5 kHz keine Richtwerte angegeben werden, da in diesem Frequenzbereich bereits die erste Resonanzstelle zu erwarten ist.

Tabelle 1: Abschätzung der Spannungsmessabweichung in Abhängigkeit der Frequenz für einpolig isolierte Spannungswandler bis  $U_f = 20$  kV

Frequenzbereich	< 1 kHz	< 2 kHz	< 2,5 kHz
Spannungsmessabweichung	< 2 %	< 4 %	< 6 %

## Alternativen

Es werden induktive Spannungswandler mit einem erweiterten Frequenzübertragungsbereich von Ritz entwickelt, die den Anforderungen der neuesten PQ-Normen bis 9 kHz gerecht werden. Weiterhin können Spannungssensoren, z.B. ohmsche Teiler, mit einem nahezu frequenzunabhängigen Übertragungsverhalten bis 10 kHz eingesetzt werden.



# Frequenzabhängiges Übertragungsverhalten von Mittelspannungs-Stromwandlern

Im Gegensatz zu induktiven Spannungswandlern sind im Frequenzbereich bis 10 kHz bei induktiven Stromwandlern keine Resonanzstellen zu erwarten. Das Frequenzübertragungsverhalten von Stromwandlern mit gleichmäßig verteilter Sekundärwicklung auf Ringkernen kann daher als unabhängig von der Spannungsebene betrachtet werden.

Nachfolgend werden wesentliche Einflussfaktoren auf die Genauigkeit von Stromwandlern im Frequenzbereich bis 10 kHz näher erläutert.

## Abhängigkeit von der Gesamtbürde

Die Bemessungsbürde des Wandlers  $S_r$  gilt für den Betrieb bei der Bemessungsfrequenz  $f_r$ . Bei ohmsch-induktiven Bürden steigt die Reaktanz, und damit in erster Näherung die induzierte Spannung proportional mit der Frequenz an, d.h. die Gesamtbürde und deren Impedanzwinkel  $\beta$  vergrößern sich. Um diesen Einfluss zu minimieren, ist für die externe Bürde  $\cos(\beta) = 1$  zu wählen.

## Abhängigkeit vom Magnetmaterial

Bei Standardmaterialien steigen mit wachsender Frequenz und bei konstanter Induktion die Verluste im Eisenkreis, woraus eine Erhöhung des Magnetisierungsstromes und damit des Fehlers resultiert. Spezielle Magnetmaterialien weisen eine wesentlich größere Unabhängigkeit der magnetischen Parameter von der Frequenz und der Induktion auf. Zusätzlich ist der Remanenzeinfluss sehr gering.

## Abhängigkeit von Induktion

Die Induktion im Eisen ist direkt proportional zur induzierten Spannung und indirekt proportional zur Frequenz, zur Windungszahl und zum Eisenquerschnitt.

Für Bürden mit  $\cos(\beta) = 1$  sinkt bei steigender Frequenz die Induktion im Eisen. Dies bewirkt eine Reduzierung des Magnetisierungsstromes und damit der Amplitudenmessabweichung des Wandlers (Bild 4, grüne Kurve).

Für Bürden mit  $\cos(\beta) < 1$  ist die Induktion für hinreichend große Frequenzen als konstant anzusehen. Bei konventionellen Materialien wird daher der Magnetisierungsstrom und damit der Fehler durch das abnehmende  $\mu_T$  mit der Frequenz größer (Bild 1, rote und blaue Kurve).

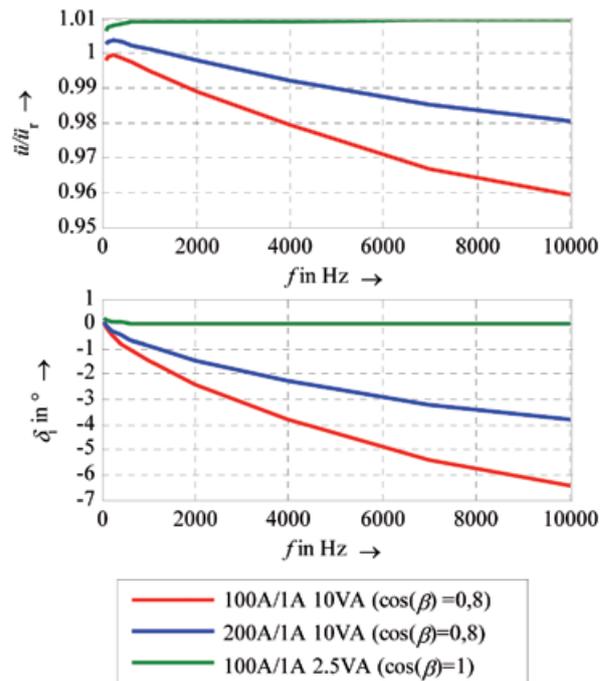


Bild 4: Berechnete Frequenzgänge von Stromwandlern

## Abhängigkeit vom Messaufbau

Die Messung des Sekundärstroms erfolgt in der Regel mit Hilfe von Messshunts. Für Messungen im Frequenzbereich bis 10 kHz muss dessen Frequenzgang bekannt sein, um zusätzliche Messungenauigkeiten zu vermeiden. Aufgrund der hohen Feldbelastungen in Umspannstationen ist auf einen EMV-gerechten Messaufbau zu achten. Hierfür werden doppeltgeschirmte, verdrehte Messkabel sowie eine fachgerechte Erdung empfohlen.

## Fazit

Induktive Stromwandler der Mittelspannungsebene weisen üblicherweise keine Resonanzerscheinungen im Frequenzbereich bis 10 kHz auf. Entscheidend für die erreichbare Genauigkeit sind die Gesamtbürde und das verwendete Magnetmaterial. Es ist davon auszugehen, dass die im Netz installierten Wandler einen Eisenkreis aus konventionellem Magnetmaterial besitzen. Dies erfordert zur Messung von Stromharmonischen eine möglichst kleine Gesamtbürde mit  $\cos(\beta) = 1$ . Unter dieser Voraussetzung ist eine Messung von Frequenzanteilen bis zu 10 kHz mit einer Strommessabweichung von  $< 6\%$  möglich.

## Alternativen

Mit den heute verfügbaren optimierten Kernmaterialien ist Ritz in der Lage, Mittelspannungsstromwandler zu fertigen, welche deutlich unempfindlicher gegenüber ohmsch-induktiven Bürden sind. Weiterhin ist der Einsatz von induktiven Stromsensoren möglich, bei denen der Sekundärstrom über einem fest eingebauten Shunt messbar ist.

# Vertrieb

<b>RITZ HAMBURG</b> <b>RITZ Instrument Transformers GmbH</b> Wandsbeker Zollstraße 92-98 22041 Hamburg GERMANY Tel +49 40 51123-0 Fax +49 40 51123-333 Medium Voltage Fax +49 40 51123-111 Low Voltage	Niederspannungswandler		Mittelspannungswandler		Gießharzisierte Stromschiensysteme		Gießharz-Leistungstransformatoren		Elektronische Messwandler und Sensoren		Kundenspezifische Gießharzteile
<b>RITZ WIRGES</b> <b>RITZ Instrument Transformers GmbH</b> Siemensstraße 2 56422 Wirges GERMANY Tel +49 2602 679-0 Fax +49 2602 9436-00					Gießharzisierte Stromschiensysteme		Gießharz-Leistungstransformatoren		Elektronische Messwandler und Sensoren		Kundenspezifische Gießharzteile
<b>RITZ DRESDEN</b> <b>RITZ Instrument Transformers GmbH</b> Bergener Ring 65-67 01458 Ottendorf-Okrilla GERMANY Tel +49 35205 62-0 Fax +49 35205 62-216											
<b>RITZ KIRCHAICH</b> <b>RITZ Instrument Transformers GmbH</b> Mühlberg 1 97514 Oberaurach-Kirchaich GERMANY Tel +49 9549 89-0 Fax +49 9549 89-11											
<b>RITZ MARCHTRENK</b> <b>RITZ Instrument Transformers GmbH</b> Linzer Straße 79 4614 Marchtrenk AUSTRIA Tel +43 7243 52285-0 Fax +43 7243 52285-38											
<b>RITZ KECSKEMÉ</b> <b>RITZ Instrument Transformers Kft.</b> Technik-Park Heliport 6000 Kecskemét-Kadafalva HUNGARY Tel +36 76 5040-10 Fax +36 76 470311											
<b>RITZ SHANGHAI</b> <b>RITZ Instrument Transformers</b> Shanghai Co. Ltd. 99 Huajia Road, Building 1-3, Huabin Industrial Park Songjiang Industrial Zone Shanghai, 201613 P.R. China Tel +86 21 67747698 Fax +86 21 67747678											
<b>RITZ HARTWELL</b> <b>RITZ Instrument Transformers Inc.</b> 25 Hamburg Avenue Lavonia, GA 30553 USA Tel +1 706-356-7180 Fax +1 866-772-5245											