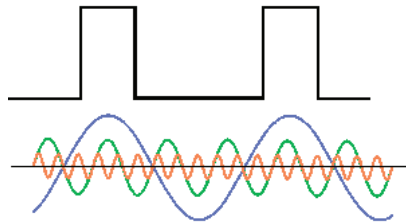


Frequenzoptimierte Mittelspannungs-Wandler

Wir machen Energie messbar und sichern Ihre Zukunft



Neue Messanforderungen an induktive Strom- und Spannungswandler in der Mittelspannung

Änderungen in der Erzeugungs- und Verbraucherstruktur

In den letzten Jahren wurde der Anteil der erneuerbaren Energien in Deutschland massiv gesteigert. Mittlerweile sind Windkraftanlagen, Biomassekraftwerke, Photovoltaikanlagen und Wasserkraftwerke mit ca. 30 Prozent am Strommix in Deutschland beteiligt.

Anders als in herkömmlichen Kern- oder Kohlekraftwerken werden hier für die Bereitstellung der elektrischen Energie keine reinen Synchrongeneratoren sondern Frequenzumrichter bzw. Wechselrichter eingesetzt. Eine saubere Sinuskurve wird hierbei oftmals nicht erreicht.

Die Verzerrungen sind auf die schaltenden Halbleiterbauelemente im Wechselrichter zurückzuführen. Bei den so generierten Oberschwingungen handelt es sich um ganzzahlige Vielfache der Grundschwingung und können weit in den einstelligen Kiloherzbereich reichen. Der Total Harmonic Distortion (THD) Faktor¹ gibt den unerwünschten Verzerrungsgrad der 50 Hz Sinusschwingung an und erreicht nicht selten Werte zwischen 10 und 30 %.

Die derzeit gültige „Technische Richtlinie Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“ vom BDEW sieht hier Messungen und Grenzwerte von Oberschwingungsströmen bis 9 kHz vor und ist Grundlage für die Anlagenzertifizierungen von beispielsweise Windenergieanlagen. Daneben erlaubt die Produktnorm EN 50160 für elektrische Energie in Europa einen maximalen THD_U bei Oberschwingungsspannung bis 2 kHz von 8 %. Dieser Wert ist im internationalen Vergleich als nicht sehr restriktiv einzuordnen. Beispielsweise begrenzt der vergleichbare IEEE-Standard 519 in den USA den THD_U für kritische Infrastruktureinrichtungen wie Krankenhäuser und Flughäfen auf 3 %.

Neben den auf der Erzeugerseite generierten Oberschwingungen durch Wechselrichter fand in den letzten Jahren auf der Verbraucherseite ebenfalls ein Wandel statt. Nicht-lineare Verbraucher wie LED- oder Energiesparlampen verdrängen lineare Verbraucher, wie die herkömmliche Glühbirne, fast gänzlich aus unserem Alltag.

Auch Steckernetzteile von Handys und Laptops bestehen nicht mehr aus kleinen Transformatoren sondern aus Halbleiterschaltungen, so genannten Schaltnetzteilen. Anders wären die kleinen und leichten Netzteile nicht zu realisieren. Neben diesen Vorteilen gibt es aber einen entscheidenden Nachteil. Die Stromentnahme aus dem öffentlichen Stromversorgungsnetz erfolgt nicht wie bei einem herkömmlichen Transformator sinusförmig sondern impulsartig. Dies verdeutlicht die folgende Abbildung.

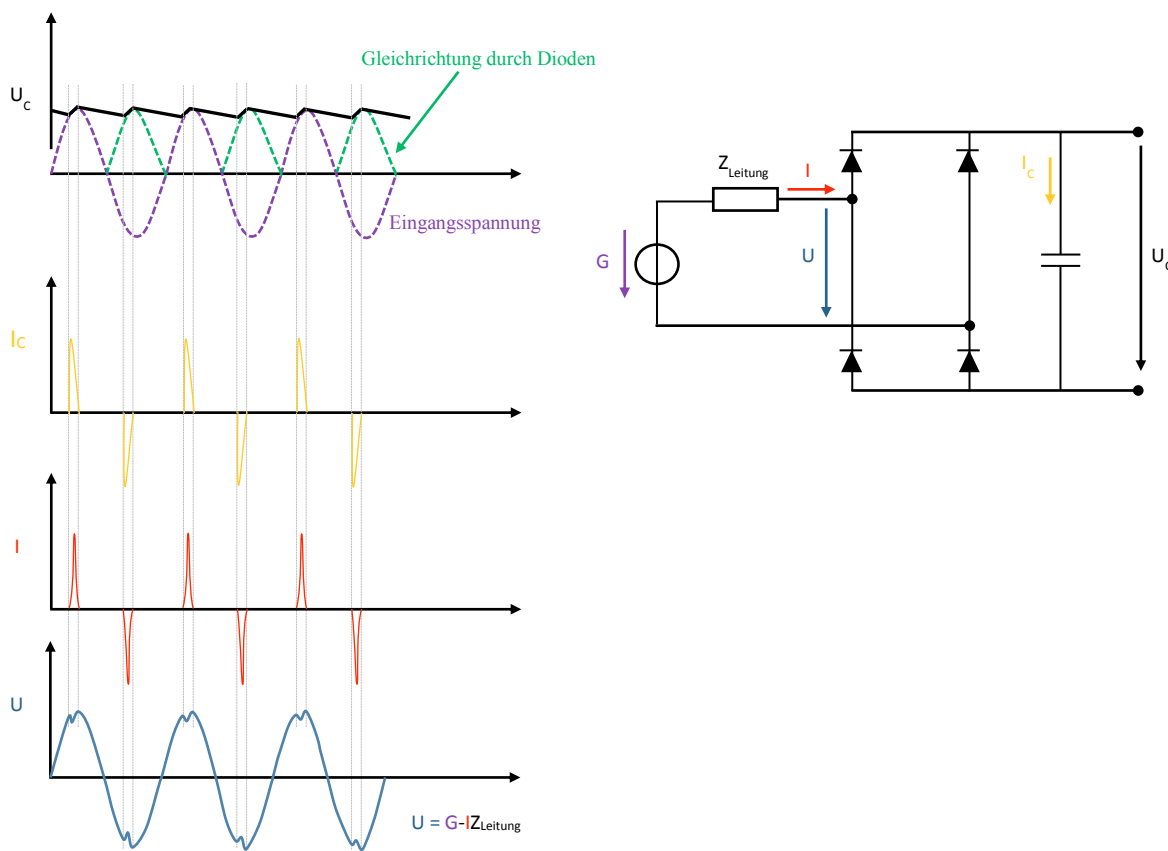


Abbildung 1: Brückengleichrichter mit impulsartiger Stromentnahme

¹ Der THD setzt den Anteil der Oberschwingungen ins Verhält zur Grundschwingung

Der im Schaltbild erkennbare Siebkondensator glättet nicht nur die gewünschte Ausgangsspannung sondern wird auch von den Gleichrichterioden impulsartig nachgeladen. Diese steilen Stromspitzen erzeugen zum einen Blindleistung und zum anderen Oberschwingungen.

Auch haben die Stromspitzen durch die Leitungsimpedanz Einfluss auf die Spannungsqualität. Die charakteristische „Delle“ in der Spitze der Spannungsamplitude ist mittlerweile in vielen MS-Netzen in Europa erkennbar. Liegt der THD_U-Wert im Bereich der Sammelschiene aber noch unter 8 % gibt es meist für keinen der Beteiligten einen Grund zu handeln.

Normen regeln Grenzwerte – nicht immer!

Es gibt bereits ein entsprechendes internationales Normgerüst, welches die Oberschwingungsströme bei Endgeräten mit einer Leistungsaufnahme von > 75 W begrenzt. Geräte unter 75 W werden normativ derzeit nicht erfasst. Aus Kostengründen verzichten die Hersteller meist auf Filtermaßnahmen oder aufwendige Power Factor Correction. Auch bei Leuchtmitteln greift das Normenwerk EN 61000-3-2 erst ab 25 W. Bei Energiesparlampen sind beispielsweise THD_I Werte von 30 bis 70 % und mehr während der Anlaufzeit und im Dauerbetrieb keine Seltenheit. Zusätzlich muss beachtet werden, dass die Normen, wenn sie denn greifen, nur Grenzwerte bis 2 kHz festlegen. Dadurch haben Hersteller in der Vergangenheit bei der Entwicklung von elektronischen Produkten im Frequenzbereich > 2 kHz kaum für Entstörung gesorgt.

Dazu werden im Industriesektor immer mehr elektrische Motoren mit variabler Frequenz-Antriebstechnologie eingesetzt. Bereits heute liegt der Anteil bei den verkauften E-Motoren mit frequenzgesteuertem Antrieb bei ca. 40 %. Hier wird zum größten Teil die Pulsweitenmodulationstechnik eingesetzt, die THD_I-Werte im Bereich von 100 bis 120 % generieren kann. Bei diesen Werten sind saubere Sinuskurven kaum noch zu erkennen.

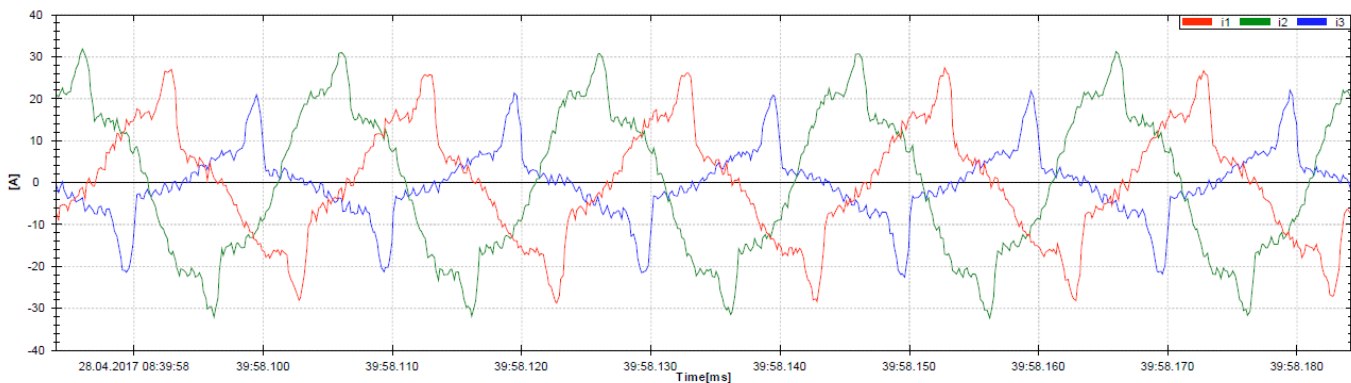


Abbildung 2: Stromverlauf eines Industriekunden im Mittelspannungsnetz

Es kann konstatiert werden, dass aufgrund der vielen Vorteile der Leistungselektronik eine Rückkehr zu linearen Verbrauchern wie beispielsweise der herkömmlichen Glühlampe ausgeschlossen ist. Vielmehr ist damit zu rechnen, dass die Oberschwingungsbelastungen in den europäischen Netzen aufgrund des Ausbaus der alternativen Energieträger und der Zunahme nicht-linearer Verbraucher weiter zunimmt. Auch sollte bedacht werden, dass viele Verbraucher, die normativ nicht reglementiert werden, in der Summe erhebliche Störungen verursachen können.

In Bürogebäuden, in denen lediglich Rechner, Telefonanlagen und energieeffiziente Leuchtmittel betrieben werden, mussten bereits Filteranlagen installiert werden, um die Oberschwingungsprobleme unter Kontrolle zu bringen.

Auswirkungen von Oberschwingungen

Werden hohe Oberschwingungsströme zugelassen, können diese die Qualität der Spannung an der MS-Sammelschiene stark beeinflussen. Benachbarte Anlagen können somit in Mitleidenschaft gezogen werden. Aus diesem Grund wird eine umfangreiche Kontrolle der Spannungsqualität für den Kunden und den Netzbetreiber immer wichtiger. Mit entsprechenden Power Quality Geräten kann die vertraglich fixierte Spannungsqualität gem. der EN 50160 kontrolliert werden.

Während die EN 50160 lediglich die Spannungsqualität beschreibt, können Oberschwingungsströme ebenfalls direkte negative Folgen haben, denn eine höhere Oberschwingungsverzerrung bewirkt höhere Effektivstromwerte und damit eine vermehrte Wärmeabgabe in den Anlagen.

Für den Netzbetreiber sind vor allem die wirtschaftlichen Auswirkungen von Oberschwingungen interessant. Bei Oberschwingungs**strömen** sind in erster Linie folgende Phänomene zu nennen:

- Überlastung von Neutralleitern
- Überhitzung von Transformatoren
- Fehlauslösung von Leistungsschutzschaltern / Leistungsschaltern
- Überbeanspruchung von Kompensations-Kondensatoren (vor allem bei unverdrosselten Anlagen)
- Skineffekte

Erreicht der Verzerrungspegel in der Versorgungss**pannung** einen Wert $> 10 \%$, wird die Lebensdauer der Betriebsmittel erheblich verkürzt. Die Verkürzung wird auf folgende Werte geschätzt¹:

- 32,5 % bei 1-phasigen Maschinen,
- 18 % bei 3-phasigen Maschinen,
- 5 % bei Transformatoren.

Um die Lebensdauer entsprechend der Nennlast zu erhalten, müssen die genannten Betriebsmittel überdimensioniert werden.

Zukünftige normative Regelungen

Die Netze und Anlagen müssen vor diesen negativen Auswirkungen nachhaltig geschützt werden. Im aktuellen Entwurf der TAR Mittelspannung (E VDE-AR-N 4110) werden deshalb Messungen der Oberschwingungsströme bis 9 kHz bei **Bezugsanlagen, Erzeugungsanlagen und Speichersystemen** vorgegeben. Die Richtlinie soll voraussichtlich ab dem Mai 2018 gelten. Bis jetzt wurden Strommessungen bis 9 kHz lediglich bei Erzeugungsanlagen im Rahmen der Anlagenzertifizierung durch die vom BDEW veröffentlichte Technische Richtlinie „Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“ eingefordert. Oftmals wurden durch die Zertifizierungsgesellschaften einmalige Messungen durchgeführt. Nach Expertenmeinung ist aber ein permanentes Monitoring anzuraten, da verschiedenste Betriebsmodi der Anlagen unterschiedliche Pegel bei den Oberschwingungen erzeugen können. Daneben kommt es immer wieder zu Unstimmigkeiten zwischen der Berechnung und den tatsächlichen Messwerten am Netzanschlusspunkt. Kapitalintensive Filteranlagen bis 9 kHz sind bereits in Betrieb.²

Für den Netzbetreiber ergeben sich mit der EN 50160 und der im Entwurfsstadium befindlichen TAR Mittelspannung folgende Messaufgaben an sämtlichen Netzanschlusspunkten:

- Messung der Oberschwingungsströme bis 9 kHz (Entwurf VDE-AR-N 4110)
- Messung der Oberschwingungsspannungen bis 2 kHz (EN 50160)

Es stellt sich die Frage, ob herkömmliche Wandler in der Mittelspannung diesen Anforderungen gerecht werden können.

Übertragungsverhalten herkömmlicher Strom- und Spannungswandler

MS-Stromwandler

Leider gibt es bezüglich der aktuellen Normung für induktive Wandler keine generelle Aussage. Der technische Report „IEC/TR 61869-103 Instrument transformers – The use of instrument transformers for power quality measurements“ listet für Stromwandler im Bereich von 1 bis 52 kV lediglich Messergebnisse unterschiedlicher Messkampagnen auf. Während eine im Report zitierte Veröffentlichung auf einen Phasen- und Amplitudenfehler von 5 % bis 5 kHz hinweist, wird in anderen angeführten Berichten auf eine Bandbreite von lediglich 2 kHz mit annehmbaren Fehlerwerten verwiesen. Für Stromoberschwingungsmessungen bis 9 kHz ist aus diesem Grund eine qualitative Aussage des Wandlerherstellers unbedingt erforderlich.

¹ Schneider Electric Wiki (Abruf am 9.01.2018) http://de.electrical-installation.org/dewiki/Wirtschaftliche_Auswirkungen#St.C3.B6rungsausl.C3.B6sung_und_Anlagenausfall

² Erster Hochfrequenzfilter für Windpark Offenbach sorgt für saubere Netze im Frequenzbereich bis 9 kHz https://www.reinhausen.com/de/desktopdefault.aspx/tabid-42/16_read-8497/

MS-Spannungswandler

Immer öfter werden auch induktive Spannungswandler in der Praxis für Power Quality Messungen eingesetzt. Hier ist aber besondere Vorsicht geboten. Der konstruktive Aufbau der Wandler bedingt eine erste Resonanzstelle im einstelligen Kilohertzbereich bei der Messabweichungen von 100 bis 300 % bei der Spannungsamplitude und 80 bis 160° Fehler im Phasengang zu erwarten sind. Im Allgemeinen kann man davon ausgehen, dass je höher die Nennspannung des Gerätes ist, desto näher rückt die Resonanzstelle an die Nennfrequenz.

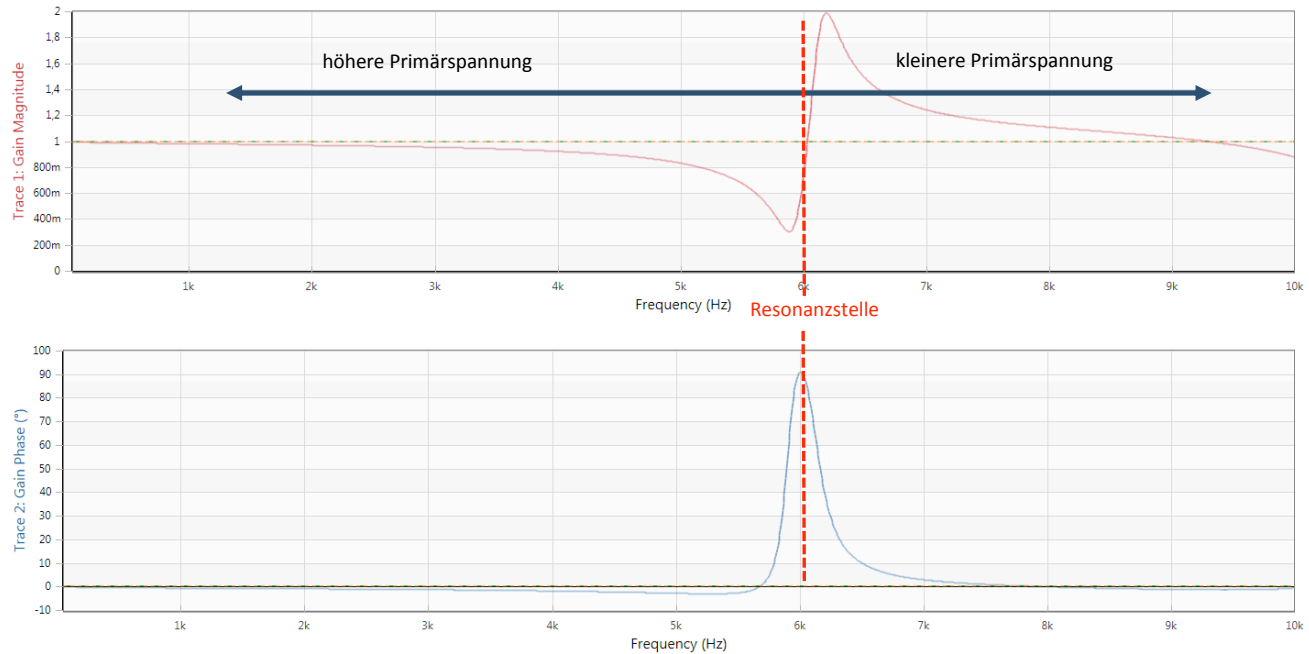


Abbildung 1: Frequenzübertragungsverhalten eines 10 kV Spannungswandlers mit hochohmiger Bürde

Im IEC/TR 61869-103 wird in Bezug auf induktive Spannungswandler für eine Systemspannung von 1 bis 52 kV ein adäquates Übertragungsverhalten bei hochohmiger Bürde bis 2 kHz bestätigt. Gleichzeitig wird aber darauf verwiesen, dass diese Grenzfrequenz nicht immer von allen Geräten erreicht wird.

Hinsichtlich dieser Problematik haben sich auch die europäischen Organisationen CIGRÉ und CIRED mit diesem Thema in der gemeinsamen Arbeitsgruppe (WG C4.112) beschäftigt und in der technischen Broschüre 596 folgende Tabelle veröffentlicht.

	Spannungsebene	Ordnung der Oberschwingung		
		2. bis 7.	8. bis 20.	21. bis 50.
Mittelspannung	10 kV	Ja	Ja	Ja
	20 kV	Ja	Ja	Unsicher
	30 kV	Ja	Nein	Nein
Hochspannung	60 kV	Ja	Ja (?)	Unsicher
	110 kV	Ja	Ja	Nein
Höchstspannung	≥ 220 kV	Unsicher	Nein	Nein

Tabelle 1: CIGRE / CIRED Richtlinien für Power Quality Messungen WG C4.112 TECHNICAL BROCHURE 596
Einschränkungen für Oberschwingungsmessungen durch induktive Spannungswandler

Hier wird deutlich, dass die Oberschwingungsmessungen der EN 50160 (bis 2 kHz bzw. 40. Harmonische) nur mit Spannungswandlern bis zu einer Systemspannung (Leiter-Leiter-Spannung) von 10 kV ohne messtechnischen Nachweis durchgeführt werden können. Bereits die 20 kV Spannungswandler können nicht mit vollständiger Sicherheit bis zu 50. Harmonischen eingesetzt werden. Hier ist ein messtechnischer Nachweis seitens der Wandlerhersteller erforderlich.

Auswirkungen auf die Verrechnungsmessungen in der Mittelspannung

Neben den eingeschränkten Möglichkeiten einer Power Quality Messung ergibt sich ein weiteres und nicht minder bedeutendes Problem mit den gängigen Zählersystemen. Beispielsweise erfolgt die Wirkleistungsberechnung bei den Zählern ZxQ Qualigrad von Landis & Gyr und dem LZQJ-XC von EMH bis zur 30. bzw. 32. Oberschwingung (Strom und Spannung). Nachdem in der Literatur das Übertragungsverhalten von MS-Stromwandlern generell bis mindestens 2 kHz bestätigt wurde¹, sind 20 kV Spannungswandler ab der 21. Oberschwingung nicht ohne messtechnischen Nachweis des Herstellers für oben genannte Zähler zu empfehlen. Die Spannungsmessung bis zur 30. bzw. 32. Oberschwingung beinhaltet aufgrund des Spannungswandlers erhebliche Messunsicherheiten. Noch dramatischer sieht es für 30 kV Geräte aus. Bei der Verwendung von Zählern, die zur Wirkleistungsberechnung auch die Wirkleistung auf den Harmonischen berücksichtigen, ist deshalb darauf zu achten, dass der Spannungswandler durch den Hersteller für den erforderlichen Bereich vom Hersteller frei gegeben ist. Einige Netzbetreiber verweisen bereits auf diesen Umstand in ihren Technischen Anschlussbedingungen (TABs). Kunden und Anlagenbauer stehen somit in der Pflicht entsprechende Wandler in den Messfeldern bzw. Schaltanlagen zu berücksichtigen.

Die MBS AG hat aufgrund dieser Marktgegebenheiten frequenzoptimierte MS-Stromwandler mit einer Messgenauigkeit von 3 % bis 9 kHz und MS-Spannungswandler bis 36 kV mit einer Messgenauigkeit von 5 % bis mindestens 2 kHz entwickelt. Ein messtechnischer Nachweis wird jedem Gerät beigelegt. Der Kunde profitiert von verlässlichen Messwerten über den in der EN 50160 genannten Frequenzbereich bis 2 kHz. Netzbetreiber können bei unzulässigen Netzverschmutzungen ohne Verzögerung tätig werden. Darüber hinaus ist die Messkette hinsichtlich der Wirkleistungsverrechnung genau definiert.

¹ IEC/TR 61869-103

Frequenzoptimierte Mittelspannungs-Strom- und Spannungswandler bis 36 kV mit PTB-Bauartzulassung für Verrechnungsmessungen geeignet



Beschreibung:

Auf mehrfachen Kundenwunsch haben wir unser Produktprogramm der Mittelspannungs-Wandler um frequenzoptimierte Ausführungen erweitert. Hierbei besteht die Möglichkeit unsere Mittelspannungs-Strom- und Spannungswandler auf Wunsch mit einem oder mehreren frequenzoptimierten Kernen bzw. Wicklungen auszuführen.

Zum einen besteht die Möglichkeit die Wandler mit einem zusätzlichen Kern bzw. einer zusätzlichen Wicklung zur Power Quality Analyse auszuführen.

Insbesondere bei den Mittelspannungs-Stromwandlern ist dies von Interesse, da die im Entwurf befindliche TAR Mittelspannung (E VDE-AR-N 4110) die Messung der Oberschwingungsströme bis 9 kHz vorgibt. Mit unseren Wandlern ist das von Experten empfohlene permanente Monitoring möglich.

Daneben besteht die Möglichkeit mit unseren frequenzoptimierten Spannungswandlern die Spannungsqualität im Mittelspannungsnetz bis 2 kHz gem. EN 50160 zu überwachen und zu kontrollieren.

Neben der Ausführung der Mittelspannungs-Wandler mit zusätzlichem Kern bzw. Wicklung zur Power Quality Analyse kann auch der zur Zählung eingesetzte Verrechnungskern bzw. -wicklung mit Frequenzoption realisiert werden. Gängige Mittelspannungs-Zähler übertragen Wirkleistung bis zur 30. Harmonischen. Insbesondere bei Mittelspannungs-Spannungswandlern für 20 kV und 30 kV ist eine gesicherte Übertragung oberhalb der 21. Oberschwingung nicht mehr gegeben. Eine Verwendung ohne messtechnischen Nachweis des Herstellers mit diesen Zählern ist daher nicht zu empfehlen.

Die MBS AG bietet Ihnen sowohl die Strom- als auch Spannungswandler in frequenzoptimierten Ausführung auf Wunsch mit detailliertem Prüfprotokoll, welchem Sie den genauen Verlauf der Oberschwingungs-Übertragung entnehmen können.

Technische Daten:

	12/28/75 kV	24/50/125 kV	36/70/170 kV
Stromwandler			
Primärer Nennstrombereich:	5 A – 3000 A umschaltbar: 2x5 A – 2x600 A	5 A – 1600 A umschaltbar: 2x5 A – 2x600 A	5 A – 600 A umschaltbar: 2x5 A – 2x300 A
Sekundärer Nennstrom:	5 A oder 1 A	5 A oder 1 A	5 A oder 1 A
Oberwellenübertragung:	$\varepsilon \leq 2\% / \Delta\varphi \leq 3^\circ, 0,05 - 5 \text{ kHz}$ $\varepsilon \leq 4\% / \Delta\varphi \leq 4^\circ, 5 - 9 \text{ kHz}$	$\varepsilon \leq 2\% / \Delta\varphi \leq 3^\circ, 0,05 - 5 \text{ kHz}$ $\varepsilon \leq 4\% / \Delta\varphi \leq 4^\circ, 5 - 9 \text{ kHz}$	$\varepsilon \leq 2\% / \Delta\varphi \leq 3^\circ, 0,05 - 5 \text{ kHz}$ $\varepsilon \leq 4\% / \Delta\varphi \leq 4^\circ, 5 - 9 \text{ kHz}$
Gewicht:	ca. 22 kg	ca. 28 kg	ca. 51 kg
Spannungswandler			
Primärer Nennspannungsbereich:	3.000/ $\sqrt{3}$ V – 11.000/ $\sqrt{3}$ V bzw. 3.000 – 11.000 V	13.800/ $\sqrt{3}$ V – 22.000/ $\sqrt{3}$ V bzw. 13.800 – 22.000 V	24.000/ $\sqrt{3}$ V – 33.000/ $\sqrt{3}$ V bzw. 24.000 – 33.000 V
Sekundäre Nennspannung:	100/ $\sqrt{3}$ V oder 110/ $\sqrt{3}$ bzw. 100 V oder 110 V	100/ $\sqrt{3}$ V oder 110/ $\sqrt{3}$ bzw. 100 V oder 110 V	100/ $\sqrt{3}$ V oder 110/ $\sqrt{3}$ bzw. 100 V oder 110 V
Oberwellenübertragung:	$\varepsilon \leq 5\% / \Delta\varphi \leq 5^\circ, 0,05 - 2 \text{ kHz}$	$\varepsilon \leq 5\% / \Delta\varphi \leq 5^\circ, 0,05 - 2 \text{ kHz}$	$\varepsilon \leq 5\% / \Delta\varphi \leq 5^\circ, 0,05 - 2 \text{ kHz}$
Gewicht:	ca. 22 kg	ca. 29 kg	ca. 32 kg

Technische Änderungen vorbehalten

Bitte beachten Sie, dass die obigen Angaben Standardwerte sind. Davon abweichende Werte auf Anfrage.

Unser Lieferprogramm:

- Analoge Einbauinstrumente, Schalttafelinstrumente
- Digitale Einbauinstrumente (u.a. Großanzeigen, Bargraphanzeiger, TFT)
- Multifunktionsgeräte
- Netzanalysatoren
- Messumformer für alle Messgrößen
- Energiezähler (mit und ohne MID)
- Tragbare Messgeräte u. Kalibratoren (Prozesssignale, Pt100-Fühler, Thermoel.)
- Stromwandler (Standard-, Allstrom-, Differenzstrom-, Umbau-, Rohrstabwandler)
- Stromwandler zur Verrechnung
- Rogowski-Spulen
- Spannungswandler
- Mittelspannungswandler
- Nebenwiderstände (Shunts)
- Nockenschalter, Lastschalter
- Widerstandheizungen, Gebläseheizungen
- Thermostate, Hygrostate
- Störmeldebausteine
- Schalterstellungsanzeiger

Barthelsmühlring 5
76870 Kandel
Tel: 07275/9589-0, Fax: -66
info@debnar-messtechnik.de
www.debnar-messtechnik.de