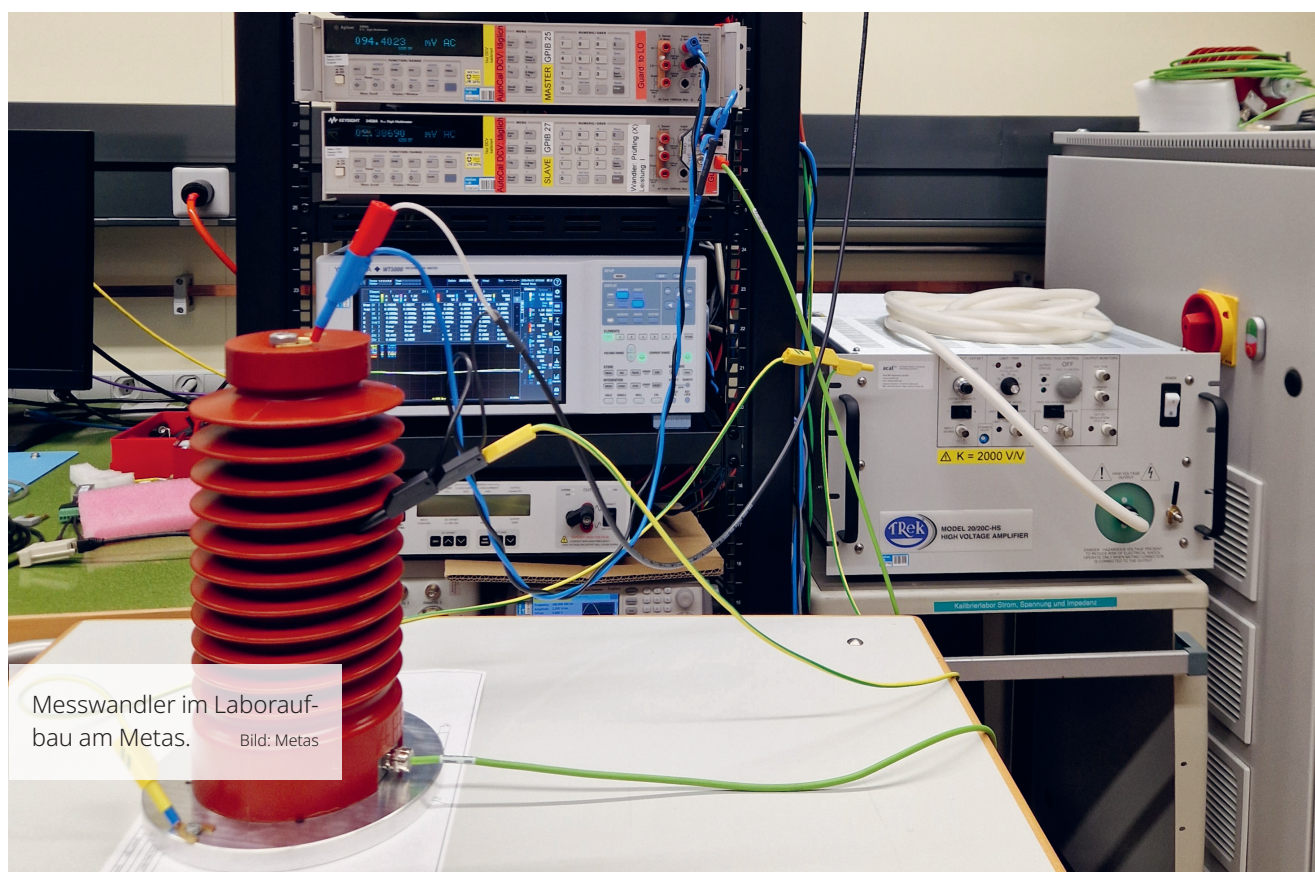




Messwandler im Laboraufbau am Metas. Bild: Metas

Metrologische Charakterisierung von Mittelspannungs-Messwandlern

Prüfverfahren für einen erweiterten Frequenzbereich von DC bis 150 kHz

Guglielmo Frigo

Im Rahmen der Europäischen Partnerschaft für Metrologie befasst sich das Projekt Admit mit den Normungsanforderungen des IEC TC 38. Es entwickelt rückführbare Messmethoden und Verfahren zur Charakterisierung von Messwandlern (Instrument Transformers, IT), die zur Messung von Störungen bis 150 kHz in Mittelspannungsnetzen eingesetzt werden.

Das Eidgenössische Institut für Metrologie Metas (Bern-Wabern) und weitere Projektpartner arbeiten eng mit IEC TC 38 zusammen, um die Integration der Projektergebnisse in überarbeitete oder neue Normen sicherzustellen. Auch die Metrologiegemeinschaft, die Hersteller von Mittelspannungssystemen und Wandlermessgeräten sowie die akademische Forschung werden

erheblich von den Projektergebnissen für ihre Arbeit profitieren.

Bedarf

Die zunehmende Nutzung von Schaltgeräten (Wechselrichter, leistungsstarke Umrichter, aktive Filter usw.) sowohl als Verbraucher als auch als Bestandteil von Generatoren – insbesondere für erneuerbare Energiequellen – hat zu einer starken Zunahme leitungsgelagerter Störungen der Netzspannung und des Netzstroms geführt, auch auf Mittelspannungsebene. Diese reichen aufgrund der Harmonischen um die Schaltfrequenz bis in den Bereich von mehreren Hundert Kilohertz.

Daher werden standardisierte Methoden, Verfahren und Infrastrukturen zur Kalibrierung, Charakterisierung und Prüfung von Messwandlern über die Frequenzbereiche hinaus benötigt, die durch derzeit verfügbare Infrastrukturen abgedeckt werden.

Geeignete Parameter zur Definition der Genauigkeit und Leistungsanforderungen von Messwandlern bis 150 kHz stehen aktuell nicht zur Verfügung, und es besteht dringender Bedarf an standardisierten Prüfverfahren für diesen Frequenzbereich. Die aktuell gültigen Normen enthalten Anforderungen nur bis 20 kHz und Prüfverfahren lediglich für 50/60 Hz. Neue Kalibriermethoden für AC- und DC-Messwandler mit hoher Genauigkeitsklasse bis 150 kHz werden benötigt. Zudem fehlen metrologische Infrastrukturen für hohe Spannungen und hohe Ströme, die die Rückführbarkeit in diesem erweiterten Frequenzbereich gewährleisten können.

Die Entwicklung von Prüfaufbauten zur Erzeugung realistischer Prüfspannungen (AC oder DC bis 36 kV) und Prüfströme (AC oder DC bis 2 kA) wird neue Kalibrierdienstleistungen für die Elektroindustrie ermöglichen und neue Kalibrierdienste für nationale Metrologieinstitute (NMIs) schaffen.

Ziele

Die spezifischen Ziele des Projekts sind:

- Ermittlung der Leistungsanforderungen sowohl für Messwandler als auch für die daran angeschlossenen Messgeräte bis 150 kHz.
- Festlegung geeigneter Parameter zur Charakterisierung der Genauigkeit von Messwandlern bis 150 kHz sowie Definition geeigneter Kalibrierbedingungen und -verfahren.
- Unterstützung beim Aufbau von Laboranlagen zur Erzeugung von Prüfspannungen (AC oder DC bei Systemspannungen < 36 kV) und Prüfströmen (AC oder DC < 2 kA).
- Entwicklung von Referenzmesssystemen für die Kalibrierung von Messwandlern bis 150 kHz bei Spannungen bis 36 kV und Strömen bis 2 kA sowie Entwicklung rückführbarer Kalibrierketten.

- Beitrag zur Überarbeitung bestehender Normen durch Bereitstellung von Daten, Methoden, Leitlinien und Empfehlungen für die Genauigkeitsprüfung von Messwandlern bis 150 kHz für IEC TC 38. Die Ergebnisse sollen in einer Form bereitgestellt werden, die schnellstmöglich in die Normenfamilie IEC 61869 integriert werden kann.

Das Gesamtziel des Projekts besteht darin, rückführbare Mess- und Charakterisierungsmethoden für Messwandler zu entwickeln, die für Hochfrequenzmessungen in AC- und DC-Mittelspannungsnetzen eingesetzt werden.

Richtlinien für die Charakterisierung von Mittelspannungs-Messwandlern bis 150 kHz

Es wurde eine umfassende Literatur- und Normenanalyse durchgeführt, deren wichtigste Ergebnisse in einer Open-Access-Fachpublikation veröffentlicht wurden [1]. Die Untersuchung konzentrierte sich auf typische Amplituden und Frequenzen hochfrequenter Verzerrungen (High Frequency Distortion, HFD), Messmethoden, Ausbreitungseffekte und Minderungsstrategien.

Eine Messkampagne wurde bei Unareti in Mailand (Italien) durchgeführt. Geeignete Spannungs- und Stromsensoren wurden eingesetzt und die Signale mit 500 kHz abgetastet. Die wichtigsten Wellenformen wurden analysiert und in einer Zenodo-Datenbank veröffentlicht [2].

Darüber hinaus wurde eine Labview-Software zur Erzeugung von Wellenformen mit Störungen bis 150 kHz entwickelt. Weitere wissenschaftliche Veröffentlichungen untersuchten die Auswirkungen supraharmonischer Verzerrungen auf Mittel- und Niederspannungsnetze [3].

Es wurden zwei Verfahren zur Genauigkeitsbewertung entwickelt:

- gleichzeitige Messung der Grundfrequenz und mindestens einer Harmonischen,
- getrennte Untersuchung des Einflusses von Harmonischen bei Niederspannung.

Die Leistungsanforderungen für Messwandler wurden auf Grundlage von IEC 61869-1 definiert [4]. Für Genauigkeitsklasse 0,1 gelten Genauigkeiten von 1 % bis 20 kHz und 5 % bis 150 kHz. Die im Projekt erwarteten Unsicherheiten liegen mindestens fünfmal unter diesen Grenzwerten.

Langfristige wirtschaftliche, gesellschaftliche und ökologische Auswirkungen

Das Projekt zielt darauf ab, Verbesserungen der Netzstabilität und der Betriebsfähigkeit der Stromnetze zu unterstützen, um eine nachhaltige und bezahlbare Energieversorgung für die europäische Gesellschaft sicherzustellen.

Hochfrequenzmessungen gewinnen zunehmend an Bedeutung, da sich neue Generationen von leistungselektronischen Schaltumrichtern verbrei-

ten, die direkt an AC- und DC-Mittelspannungsnetze angeschlossen werden und deren Emissionen kritische Netzfunktionen beeinträchtigen können. Das Hauptziel des Projekts besteht darin, sicherzustellen, dass alle an Mittelspannungsnetze angeschlossenen Messwandler auch bei Vorhandensein hochfrequenter Komponenten stabil und sicher betrieben werden können.

Die Forschung und die Ergebnisse dieses Projekts führen zur Entwicklung hochwertiger Prüfeinrichtungen, die europäischen Herstellern dabei helfen, ihre führende Rolle im Bereich der Netzinnoation zu behaupten. Dies hat direkte Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Energiewirtschaft auf dem internationalen Markt.

Um den steigenden Bedarf an erneuerbarer Elektrizität in Europa und weltweit zuverlässig decken zu können, sind deutlich mehr Messwandler nötig. Der weltweit installierte Bestand wird voraussichtlich mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 3,7% zunehmen und sich bis 2040 mehr als verdoppeln. Die Leistungsfähigkeit eines Messwandlers hat erheblichen Einfluss auf den Stromverbrauch, da die Geräte über ihre gesamte Lebensdauer von etwa 25 Jahren im Dauerbetrieb eingesetzt werden. Eine bessere Leistung bedeutet geringere Belastung des Stromnetzes, niedrigere Stromkosten und höhere Zuverlässigkeit.

Der Einsatz effizienterer und genauerer Messwandler kann zu einer Reduzierung des weltwei-

ten Stromverbrauchs um nahezu 5% führen. Bis 2040 wären dadurch jährliche Stromeinsparungen von mehr als 750 TWh möglich sowie eine Verringerung der Treibhausgasemissionen um über 450 Millionen Tonnen. Mit den im Rahmen dieses Projekts entwickelten Verfahren wird es möglich sein, Messwandler daraufhin zu bewerten, ob sie auch unter hochfrequenten Netzstörungen effizient und präzise arbeiten. Diese Verfahren werden allen Interessengruppen (Versorgungsunternehmen, Industrie, Anwendern und technischen Komitees) zur Verfügung stehen, um geeignete Massnahmen zur Vermeidung unerwünschter Ereignisse zu ergreifen, den Energieverbrauch präzise zu berechnen und dadurch Hunderte von Terawattstunden einzusparen.

Referenzen

- [1] M. Agazar et al., «Power Grids and Instrument Transformers up to 150 kHz: A Review of Literature and Standards», *Sensors*, 24, 4148, 2024. doi.org/10.3390/s24134148
- [2] G. D'Avanzo, «ADMIT 22NRM06 – Voltage and Current Waveforms Dataset with 500 kHz Sampling Frequency», Zenodo, 2025. doi.org/10.5281/zenodo.14723289
- [3] M. Luiso, «Inductive Voltage Transformer Behaviour in the Frequency Range from 9 kHz Up to 150 kHz», IEEE 14th International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS), Vol. 1, No. 1, p. 1–6, Zenodo, 2024. doi.org/10.5281/zenodo.14675001
- [4] IEC 61869-1:2023 (Edition 2.0), Instrument transformers – Part 1: General requirements, p. 1–285, June 2023.

Autor

Dr. Guglielmo Frigo ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Labor Elektrische Energie und Leistung am Metas.
 > Metas, 3003 Bern-Wabern
 > guglielmo.frigo@metas.ch

Normenentwürfe und Normen

Bekanntgabe

Im Entwurfsportal der Switec (www.switec.info/de/entwurfsportal, alternativ www.switec.info) finden Sie alle zur Kritik vorgelegten Entwürfe, das nationale Arbeitsprogramm sowie Informationen über das schweizerische technische Regelwerk.

Stellungnahme

Im Hinblick auf die zukünftige Übernahme in das schweizerische technische Regelwerk werden Entwürfe zur Kritik ausgeschrieben. Alle interessierten Kreise sind eingeladen, diese Entwürfe zu prüfen und Stellungnahmen fristgerecht sowie schriftlich an folgende Adresse einzureichen: Electrosuisse, CES, Luppmenstrasse 1, CH-8320 Fehraltorf, bzw. ces@electrosuisse.ch.

Erwerb

Entwürfe (im Normenshop nicht aufgeführt) und/oder zurückgezogene Normungsdokumente können, gegen eine Kostenbeteiligung, bei Electrosuisse, Normenverkauf, Luppmenstrasse 1, CH-8320 Fehraltorf, Tel. +41 58 595 11 90, bzw. normenverkauf@electrosuisse.ch bezogen werden.

Weitere Informationen über SN-, EN und IEC-Normdokumente gibt es unter shop.electrosuisse.ch/de/normen-und-produkte/normen, wo auch alle geltenden Normungsdokumente der Elektrotechnik erworben werden können.

Projets et normes

Annonce

Sur le portail de projets nationaux Switec (www.switec.info/fr/portail-de-projets-nationaux, resp. www.switec.info/fr), vous trouverez tous les projets de normes mis à l'enquête, le programme de travail national ainsi que des informations sur les règles techniques suisses.

Avis

En vue d'une future reprise dans les règles techniques suisses, les projets de normes sont soumis à la critique. Toutes les parties intéressées sont invitées à examiner ces projets et à soumettre leurs avis dans les délais fixés ainsi que par écrit à l'adresse suivante: Electrosuisse, CES, Luppmenstrasse 1, CH-8320 Fehraltorf, resp. ces@electrosuisse.ch.

Achat

Les projets soumis (non répertoriés dans la rubrique Normes du shop) et/ou les documents de normalisation retirés peuvent être obtenus, moyennant une participation aux frais, auprès d'Electrosuisse, Normenverkauf, Luppmenstrasse 1, CH-8320 Fehraltorf, tél. +41 58 595 11 90, resp. à l'adresse électronique suivante: normenverkauf@electrosuisse.ch.

De plus amples informations à propos des documents normatifs SN, EN et IEC sont disponibles sur le site shop.electrosuisse.ch/fr/normes-et-produits/normes, où tous les documents normatifs en vigueur du secteur de l'électrotechnique peuvent aussi être acquis.