

■ **Elektromagnetische Störfestigkeit von passiven Kleinsignalwandlern in Mittelspannungsschaltanlagen**

Christian Suttner, M. Sc.

Hauptberichter:

Prof. Dr.-Ing. Stefan Tenbohlen

Mitberichter:

Prof. Dr.-Ing. Jörg Roth-Stielow

Tag der mündlichen Prüfung:

08.11.2024

Mittelspannungsschaltanlagen sind ein zentraler Bestandteil elektrischer Energieverteilungsnetze. Sie werden verwendet, um elektrische Verbindungen zwischen Netzknoten herzustellen und zu unterbrechen. Für den Schutz und die Steuerung dieser Anlagen werden die elektrischen Zustandsgrößen permanent von elektronischen Kontrollsystemen überwacht. Damit die Messung der hohen Spannungen und Ströme durch die Steuerung möglich wird, müssen diese zunächst in Signale mit kleineren Pegeln umgewandelt werden. Diese Aufgabe wird klassischerweise von induktiven Schutz- oder Messwandlern mit hoher Signalleistung erfüllt. Eine derart hohe Leistungsabgabe wird in modernen Applikationen einerseits nicht benötigt und führt andererseits zu einem großen Bauraumbedarf, Wärmeverlusten und verschiedenen weiteren Problemen bei der Auslegung.

Als unkonventionelle Alternative zu den klassischen induktiven Wandlern kommen aktuell auch vermehrt Kleinsignalwandler (engl.: Low Power Instrument Transformer; kurz: LPIT) mit geringer Signalleistung zur Anwendung, die große Messbereiche mit hohen Genauigkeitswerten und geringen Baugrößen vereinen. Aufgrund der grundsätzlich anderen Auslegung, des geringen Störabstandes und der teilweise benötigten nachträglichen Signalintegration stellt sich allerdings die Frage, ob die Störfestigkeit dieser Systeme im realen Schaltanlagenbetrieb jederzeit sichergestellt werden kann.

In dieser Arbeit werden die grundsätzlichen Mechanismen für elektromagnetische Beeinflussungen von LPIT-Applikationen aufgezeigt. Die Fehlerbilder unterscheiden sich dabei praktisch vollständig von den aus konventionellen Applikationen bekannten Phänomenen und sind insbesondere auf die bei einigen Arten von Kleinsignalstromwandlern (LPCT) implementierte Signalintegration zurückzuführen. Anhand von Simulationen wird gezeigt, dass ein Verzicht auf die Integration bei diesen Wandlern nicht möglich ist und die Integration auch nicht so ausgelegt werden kann, dass Beeinflussungen ausgeschlossen sind. Um eine hohe Störfestigkeit zu gewährleisten ist es daher essenziell, starke Einkopplungen von den Primär- auf die Sekundärkreise zu vermeiden.

Die im Vergleich zur konventionellen Technik veränderten Koppelpfade zwischen Primär- und Sekundärseite werden beleuchtet und die Auswirkungen der Unterschiede auf die genormten Prüfverfahren zum Nachweis der Störfestigkeit dargelegt. Anhand von Messungen in Komponententests wird aufgezeigt, dass vor allem die EMV-

Abschirmung, die Kabelschirmbehandlung und die symmetrische Struktur der Spulenkörper einen großen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit von elektromagnetischen Beeinflussungen haben. Es wird jeweils die günstigste und ungünstigste Kombination dieser Eigenschaften identifiziert.

Diese werden dann in einer Versuchsschaltanlage während realer Schalthandlungen untersucht und die gemessenen Störsignale im Zeit- und Frequenzbereich mit jenen verglichen, die während der EMV-Typprüfung an den elektronischen Schutz- und Steuergeräten, bzw. Merging Units anliegen. Dabei zeigt sich, dass die geprüften Pegel im Realbetrieb selbst im günstigsten Fall in einem weiten Frequenzbereich um mehrere Größenordnungen überschritten werden.

Es werden verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt, um die Lücke zwischen den normativ spezifizierten Prüfverfahren und den Anforderungen aus dem realen Schaltanlagenbetrieb zu schließen. Unter anderem wird eine neue Methode zur Einkopplung von Prüfstörgrößen vorgeschlagen, die zu einer realistischeren Beanspruchung führt als das standardisierte Prüfverfahren.

- **Electromagnetic immunity of passive low power instrument transformers in medium-voltage switchgear**

Christian Suttner, M. Sc.

Medium-voltage switchgear is a vital component of electrical energy distribution networks. They are used to establish and interrupt electrical connections between grid nodes. To protect and control these systems, the currents and voltages are permanently monitored by electronic control systems. For this purpose, the measurable variables must first be converted into signals with lower levels. This task is traditionally fulfilled by inductive instrument transformers with high signal power. However, such a high power output is not required in modern applications while simultaneously it leads to large space requirements, heat losses and various other problems in the design.

As an unconventional alternative to classic instrument transformers, low power instrument transformers (short: LPIT) are increasingly being used. Those combine large measuring ranges with high accuracy values and small sizes. However, due to the fundamentally different design, the low signal-to-noise ratio and the subsequent signal integration that is sometimes required, the question arises as to whether the electromagnetic immunity of these systems can be ensured at any time during real switchgear operation.

This work shows the basic mechanisms for electromagnetic influences on LPIT applications. The error patterns differ practically completely from the phenomena known from conventional applications and are particularly due to the signal integration implemented in some types of small signal current transformers (LPCT). Simulations

show that it is not possible to forgo integration with these converters and that the integration cannot be designed in such a way that influences are excluded. To ensure high immunity to interference, it is therefore essential to achieve high attenuation between primary and secondary circuits.

The changed coupling paths between the primary and secondary sides compared to conventional technology are highlighted and the effects of the differences on the standardized test procedures for proving immunity to interference are explained. Measurements in component tests show that EMC shielding, cable shield treatment and the symmetrical structure of the coil formers have a major influence on the probability of electromagnetic interference. The most favorable and unfavorable combination of these properties is identified.

These are then examined in a test switchgear during real switching operations and the measured interference signals in the time and frequency range are compared with those present on the electronic protection and control devices or merging units during the EMC type test. It turns out that the tested levels in real operation are exceeded by several orders of magnitude over a wide frequency range, even in the best case.

Various options are shown to close the gap between the normatively specified test procedures and the requirements of real switchgear operation. Among other things, a new method for coupling test disturbance variables is proposed, which leads to more realistic stress than the standardized test method.