

BACHELORARBEIT

im Studiengang Elektrotechnik

Fremdfeldbeeinflussung auf Messstromwandler in der Niederspannung

Vorgelegt von:

Oliver Schmidt

Matrikelnummer: 7023462

Durchgeführt bei:

Rolf Janssen Elektrotechnische Werke GmbH

Emsstraße 4

26603 Aurich

Erstprüfer: Dr. Sandro Günter

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Rainer Ludewig

Abgabedatum: Emden, den 4. Januar 2026

Abstract

Inhaltsverzeichnis

Abstract	I
Abbildungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Problemstellung	1
1.3 Zielsetzung	1
1.4 Vorgehensweise	1
2 Theoretische Grundlagen und aktueller Forschungsstand	2
2.1 Funktionsprinzip induktiver Messstromwandler	2
2.1.1 Aufbau eines Messstromwandlers	2
2.1.2 Anwendungsgebiete	2
2.1.3 Physikalisches Funktionsprinzip	3
2.2 Entstehung und Ausbreitung magnetischer Störfelder in Schaltanlagen . .	3
2.3 Physikalische Auswirkungen von Fremdfeldern auf den Wandlerkern . . .	4
2.4 Normative Anforderungen an Genauigkeitsklassen	4
2.5 Messabweichung und Fehlerfortpflanzung	4
3 Versuchsaufbau und Methodik	5
3.1 Prüfung der Genauigkeit von Messstromwandlern	5
3.1.1 Fehlwinkel	5
3.1.2 Übersetzungsmessabweichung	6
3.2 Beschreibung des Hochstrom-Prüfstands	6
3.3 Messtechnisches Konzept	6
4 Experimentelle Untersuchung	7
4.1 Inbetriebnahme und Plausibilitätsprüfung	7
4.2 Optimierung der Messdatenerfassung	7
4.3 Validierung des optimierten Systems	7
5 Auswertung und Diskussion	8
5.1 Durchführung der Messreihen am optimierten Prüfstand	8
5.2 Messergebnisse: Einfluss der Leitergeometrie	8
5.3 Messergebnisse: Vergleich der Wandlertechnologien	8
5.4 Auswertung der Messergebnisse	8
6 Zusammenfassung der Ergebnisse	9
6.1 Bewertung der Prüfstands-Optimierung	9

6.2	Konstruktionsempfehlung für zukünftige Wandler-Einbauten	9
7	Ausblick	10
A	Anhang	11
	Eigenständigkeitserklärung	12

Abbildungsverzeichnis

1 Einleitung

1.1 Motivation

1.2 Problemstellung

1.3 Zielsetzung

1.4 Vorgehensweise

2 Theoretische Grundlagen und aktueller Forschungsstand

2.1 Funktionsprinzip induktiver Messstromwandler

Ein induktiver Messstromwandler dient dazu, hohe Wechselströme aus dem Primärnetz in kleine, messbare Ströme auf der Sekundärseite zu transformieren. Dabei fungiert er als Bindeglied zwischen dem Hochstrombereich und den Mess- oder Schutzeinrichtungen. Das grundlegende Funktionsprinzip basiert auf der galvanischen Trennung zwischen dem Primär- und dem Sekundärkreis. Dies ermöglicht den Anschluss von standardisierten Messgeräten, Zählern oder Schutzrelais, die üblicherweise für Nennströme von 1 A oder 5 A ausgelegt sind, ohne diese dem hohen Potenzial oder den hohen Strömen des Primärleiters auszusetzen.

2.1.1 Aufbau eines Messstromwandlers

Ein Messstromwandler besteht im Wesentlichen aus einem magnetischen Kern, einer Sekundärwicklung und einem Gehäuse zur Isolierung. Das Gehäuse verfügt häufig über eine Fensteröffnung, durch die der Primärleiter (Schiene oder Kabel) hindurchgeführt wird; dieser bildet somit die Primärwicklung mit einer Windungszahl von $N_1 = 1$. Bei Wandlern für sehr kleine Primärströme ist die Primärwicklung oft fest im Gehäuse integriert und verfügt über separate Anschlussklemmen.

Der Eisenkern besteht aus einem ferromagnetischen Werkstoff mit hoher Permeabilität, um den magnetischen Fluss zu führen. Übliche Materialien sind Silizium-Eisen, Nickel-Eisen oder nanokristalline Legierungen [1, S. 63]. Die Sekundärwicklung ist um diesen Kern gewickelt und wird an die externen Klemmen geführt.

2.1.2 Anwendungsgebiete

Messstromwandler werden in unterschiedlichen Genauigkeitsklassen gefertigt, die in der Norm DIN EN 61869-2 festgelegt sind [2, S. 22, Tab. 201–203]. Diese Klassen definieren die zulässigen Messabweichungen (Strom- und Fehlwinkel) und sind entscheidend für die Auswahl des geeigneten Wandlers.

Für einfache Betriebsmessungen (z. B. Schalttafelanzeigen), bei denen eine grobe Indikation genügt, kommen Klassen mit geringeren Anforderungen (z. B. Klasse 1 oder 3) zum Einsatz. Für Verrechnungszwecke (Energiezähler) sind präzise Wandler der Klassen 0,2S oder 0,5S erforderlich. Neben der Messaufgabe spielt der Anlagenschutz eine zentrale Rolle. Schutzwandler (z. B. Klasse 5P oder 10P) sind so dimensioniert, dass sie auch bei hohen Überströmen im Kurzschlussfall nicht in die Sättigung gehen, um ein zuverlässiges Auslösen der Schutzgeräte zu gewährleisten.

2.1.3 Physikalisches Funktionsprinzip

Eines Messstromwandlers funktioniert nach dem Induktionsprinzip. Ein Stromdurchflossener Leiter I_{pri} erzeugt ein kreisförmiges B und H Feld, welches sich um den Leiter ausbreitet. Das

Physikalisch betrachtet arbeitet der Messstromwandler wie ein kurzgeschlossener Transformator. Jeder stromdurchflossene Leiter ist von einem magnetischen Feld umgeben. Nach dem Durchflutungssatz (Ampèresches Gesetz) erzeugt der Strom I_p im Primärleiter eine magnetische Feldstärke H .

Da der Primärleiter durch den Eisenkern geführt wird, konzentriert sich das Magnetfeld im Kernmaterial. Es entsteht ein magnetischer Fluss Φ , der durch die Fläche des Kerns und die magnetische Flussdichte B bestimmt wird. Dieser magnetische Wechselfluss durchsetzt die Sekundärwicklung und induziert gemäß dem Induktionsgesetz eine Spannung u_{ind} .

Da der Sekundärkreis im Betrieb über eine niederohmige Bürde (Messgerät und Leitungen) nahezu kurzgeschlossen ist, treibt diese induzierte Spannung einen Sekundärstrom I_s . Dieser Sekundärstrom erzeugt wiederum einen magnetischen Fluss, der dem des Primärstroms entgegenwirkt (Lenzsche Regel). Im idealen Wandler heben sich die Durchflutungen Θ nahezu auf:

$$I_p \cdot N_p \approx I_s \cdot N_s \quad (1)$$

Daraus resultiert das Übersetzungsverhältnis, das antiproportional zu den Windungszahlen ist. In der Realität ist jedoch ein kleiner Teil des Primärstroms notwendig, um den magnetischen Fluss im Eisenkern aufrechtzuerhalten (Magnetisierungsstrom), was zu den typischen Übersetzungs- und Winkelfehlern führt.

Magnetische Eigenschaften von Materialien

2.2 Entstehung und Ausbreitung magnetischer Störfelder in Schaltanlagen

Die Fremdfelder die in der Niederspannung auftreten und Messergebnisse beeinflussen können entstehen durch hohe Primärströme ab 2000 A. Dabei ist der Wandler L2 welcher in der Mitte ist von den Einflüssen am stärksten betroffen.

2.3 Physikalische Auswirkungen von Fremdfeldern auf den Wandlerkern

2.4 Normative Anforderungen an Genauigkeitsklassen

2.5 Messabweichung und Fehlerfortpflanzung

3 Versuchsaufbau und Methodik

Für die Charakterisierung der Messstromwandler wurde ein Hochstrom-Prüfstand verwendet, der Ströme von bis zu 6000 A erzeugen kann. Dies ermöglicht die Analyse der magnetischen Eigenschaften unter Realbedingungen. Das hierfür angewandte Prinzip der Vergleichsmessung zwischen Sekundär- und Referenzstrom wird einleitend in Abschnitt 3.1 erläutert. Darauf aufbauend werden in Abschnitt 3.2 der detaillierte Aufbau und die Funktionsweise des Prüfstandes beschrieben. Abschließend legt Abschnitt 3.3 das konkrete messtechnische Konzept sowie die Durchführung der Messungen dar.

3.1 Prüfung der Genauigkeit von Messstromwandlern

Für die Bestimmung der Genauigkeit eines Messstromwandlers sind gemäß der DIN EN 61869-2 [2] für Wandler, die für Messzwecke bestimmt sind, zwei Prüfungen wesentlich: die der Übersetzungsmessabweichung ε und die des Fehlwinkels $\Delta\phi$.

Für die Messungen muss der Wandler mit seiner Nennbürde betrieben werden.

3.1.1 Fehlwinkel

Letzterer beschreibt die Phasenverschiebung zwischen dem primären und dem sekundären Strom über einen definierten Messbereich. Die Einhaltung der zulässigen Grenzwerte für den Fehlwinkel ist insbesondere für Schutzeinrichtungen mit Richtungsbestimmung von Bedeutung [2, S. 51]. In der Tabelle 3.1 sind die nach der Norm definierten Messbereiche für die Wandlerklassen von 0,1 bis 1 dargestellt.

Tabelle 3.1: Grenzwerte für den Fehlwinkel (gemäß DIN EN 61869-2 Tabelle 201 [2])

Genauigkeits- klasse	Fehlwinkel							
	\pm Minuten				\pm Zentiradian			
	bei Strom (% von I_n)				bei Strom (% von I_n)			
	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	15	8	5	5	0,45	0,24	0,15	0,15
0,2	30	15	10	10	0,90	0,45	0,30	0,30
0,5	90	45	30	30	2,70	1,35	0,90	0,90
1	180	90	60	60	5,40	2,70	1,80	1,80

3.1.2 Übersetzungsmessabweichung

Die Übersetzungsmessabweichung ε beschreibt die prozentuale Differenz zwischen dem auf die Primärseite bezogenen Sekundärstrom und dem tatsächlichen Primärstrom. Gemäß Gleichung (2) berechnet sich dieser Fehler aus der Nennübersetzung k_r , dem Sekundärstrom I_s und dem Primärstrom I_p :

$$\varepsilon = \frac{k_r \cdot I_s - I_p}{I_p} \cdot 100 \% \quad (2)$$

Tabelle 3.2: Grenzwerte für die Übersetzungsmessabweichung (gemäß DIN EN 61869-2 Tabelle 201 [2])

Genauigkeits- klasse	Übersetzungsmessabweichung $\pm\%$ bei Strom (% von I_n)			
	5	20	100	120
0,1	0,40	0,20	0,1	0,1
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2
0,5	1,50	0,75	0,5	0,5
1	3,00	1,50	1,0	1,0

3.2 Beschreibung des Hochstrom-Prüfstands

3.3 Messtechnisches Konzept

Für die praktische Durchführung der Messungen am Hochstrom-Prüfstand wurde folgendes Konzept entwickelt. Die Messpunkte orientieren sich an den Vorgaben der DIN EN 61869-2 für die Genauigkeitsprüfung.

4 Experimentelle Untersuchung

4.1 Inbetriebnahme und Plausibilitätsprüfung

4.2 Optimierung der Messdatenerfassung

4.3 Validierung des optimierten Systems

5 Auswertung und Diskussion

5.1 Durchführung der Messreihen am optimierten Prüfstand

5.2 Messergebnisse: Einfluss der Leitergeometrie

5.3 Messergebnisse: Vergleich der Wandlertechnologien

5.4 Auswertung der Messergebnisse

6 Zusammenfassung der Ergebnisse

6.1 Bewertung der Prüfstands-Optimierung

6.2 Konstruktionsempfehlung für zukünftige Wandler-Einbauten

7 Ausblick

A Anhang

Literaturverzeichnis

- [1] Ruthard Minkner und Joachim Schmid. *Technologie der Messwandler: Strom- und Spannungsmessung und Isolationssysteme*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020. ISBN: 978-3-658-30206-1. DOI: 10.1007/978-3-658-30207-8. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-30207-8>.
- [2] *DIN EN 61869-2 (VDE 0414-9-2):2013-07, Messwandler – Teil 2: Zusätzliche Anforderungen für Stromwandler*. Deutsche Fassung EN 61869-2:2012; IEC 61869-2:2012. Berlin, 2013. URL: <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-61869-2/172722083>.

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ort, Datum

Unterschrift
