



Rolf Janssen GmbH
Elektrotechnische Werke



University of Applied Sciences
HOCHSCHULE
EMDEN·LEER

Kolloquium

Fremdfeldbeeinflussung auf Messstromwandler in der Niederspannung

Oliver-Luca Schmidt

Rolf Janssen GmbH Elektrotechnische Werke

Betreuung:

Dr.-Ing. Sandro Günter
Dipl.-Ing. Rainer Ludewig

Wichtig / Note 1

- Begrüßung der Prüfer
- Vorstellung
- Thema: Stromwandler & Fremdfelder

Zeitplanung

00:00

bis

01:00

Begrüßung: Herzlich willkommen zur Präsentation meines Kolloquiums.
Mein Name ist Oliver-Luca Schmidt.

Thema: Das zentrale Thema meiner Bachelorarbeit war die Analyse der
Messabweichung von Messstromwandlern, verursacht durch magnetische
Fremdfelder.

Kernfrage: Ich habe untersucht, wie stark benachbarte Leiter die
Messung in kompakten Schaltanlagen verfälschen und wie wir damit
umgehen können.

Überleitung: Ich freue mich, Ihnen das Thema und meine Ergebnisse
nun näherzubringen.



Agenda

► Einleitung

► Grundlagen der Arbeit

Kolloquium

Wichtig / Note 1

- Übersicht des Vortrags
- Roter Faden
- Von der Theorie zur Praxis

Zeitplanung

01:00

bis

01:30

Struktur: Ich habe meine Präsentation in folgende Bereiche gegliedert, um Sie durch das Thema zu führen.

Einleitung: Ich beginne mit der Motivation und der Problemstellung. Daraus leite ich die konkrete Zielsetzung meiner Arbeit ab.

Hauptteil: Anschließend gehe ich kurz auf die theoretischen Grundlagen und den Versuchsaufbau ein. Im Kernteil präsentiere ich Ihnen dann die Messergebnisse und deren Analyse.

Abschluss: Zum Schluss fasse ich die Erkenntnisse zusammen und gebe einen Ausblick auf mögliche Handlungsfelder für die Zukunft.

Motivation

Herausforderung Kompaktbauweise

- ▶ Minimale Abstände zwischen Hochstromschienen und Wandlern
- ▶ **Folge:** Signifikante Messabweichungen durch magnetische Fremdfelder
- ▶ **Ziel:** Findung einer technisch robusten und kosteneffizienten Lösung



Frontansicht der Anlage

Kolloquium

Wichtig / Note 1

- Bild: Enge zeigen
- Folge: Abweichung
- Ziel: Günstige Lösung

Zeitplanung

01:30

bis

03:00

Zum Bild (Herausforderung Kompaktbauweise): Wie Sie an der Frontansicht der Anlage sehen, ist die Packungsdichte extrem hoch. Wir haben hier kaum Spielraum.

Minimale Abstände: Das führt physikalisch dazu, dass die Hochstromschienen und die Messwandler auf engstem Raum nebeneinander liegen.

Folge (Messabweichungen): Die direkte Konsequenz daraus ist, dass die starken Magnetfelder der Nachbarleiter in die Wandler einkoppeln und die Messung verfälschen.

Ziel (Lösung): Mein Ziel ist es daher, eine Lösung zu finden, die technisch robust misst, aber wirtschaftlich bleibt – also ohne die Kosten der Anlage unnötig in die Höhe zu treiben.

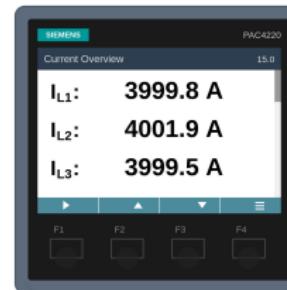
Problemstellung – Messabweichung

Vergleich bei 4000 A Primärstrom – Symmetrische Last



Prüfling (Beeinflusst) Kl. 1,0

L1: $\approx -0,704\%$
L2: $\approx -3,238\%$
L3: $\approx -1,230\%$



Referenz (Sollwert) Kl. 0,2S

L1: $-0,005\%$
L2: $0,047\%$
L3: $-0,012\%$

Wichtig / Note 1

- Vergleich Soll/Ist
- L2: -3,2
- System verzerrt

Zeitplanung

03:00
bis
04:00

Vergleich bei 4000 A: Schauen wir uns die konkreten Zahlen an. Rechts sehen Sie die Referenzmessung: Das System ist perfekt symmetrisch belastet.

Prüfling (Links): Links sehen wir den beeinflussten Wandler im Schaltschrank.

Abweichung L2: Sofort fällt die Phase L2 auf. Hier fehlen uns über 3,2 Prozent des Stroms – das ist der Haupteffekt des Fremdfeldes.

Abweichung L1/L3: Aber auch die Außenleiter sind nicht immun. L1 und L3 zeigen ebenfalls Abweichungen zwischen 0,7 und 1,2 Prozent. Das gesamte System ist also verzerrt.

Problemstellung – Wirtschaftliche Relevanz

Analyse der Abweichung

- ▶ Fehlbetrag Phase L2: $\Delta I \approx 130 \text{ A}$
- ▶ Relative Abweichung: $\approx -3,25 \%$
- ▶ Kritisch für Netzschutz und Verrechnung

Beispielrechnung (pro Abgangsfeld)

$$\begin{aligned}\Delta I_{L2} &= 130 \text{ A bei } 230 \text{ V} \\ \times &\text{ Leistungsfaktor } (\cos \varphi = 0,9) \\ \times &\text{ Dauerlast } (8760 \text{ h/a}) \\ \times &\text{ Strompreis } (0,20 \text{ €/kWh}) \\ \hline \approx &\textbf{47 000 € / Jahr}\end{aligned}$$

Kolloquium

Wichtig / Note 1

- 130 A fehlen
- Rechnung: Dauerlast
- Ergebnis: 47k€ Verlust

Zeitplanung

04:00

bis

05:00

Fehlbetrag Phase L2: Diese 3,2 Prozent klingen abstrakt, bedeuten aber konkret, dass uns rund 130 Ampere Messwert fehlen.

Kritisch für Verrechnung: Das ist besonders kritisch, wenn diese Messung für die Abrechnung genutzt wird.

Beispielrechnung: Rechnen wir das einmal konservativ hoch: Bei einer Dauerlast über das ganze Jahr und einem Strompreis von 20 Cent...

Ergebnis (47.000 €): ...kommen wir auf einen Fehlbetrag von 47.000 Euro. Und das gilt für ein einziges Abgangsfeld. Das wirtschaftliche Risiko ist also enorm.



Zielsetzung der Arbeit

Evaluation einer Lösung

- ▶ Findung einer technisch zuverlässigen und wirtschaftlichen Konfiguration
- ▶ Sicherstellung der Messgenauigkeit unter Fremdfeldeinfluss

Untersuchungsschwerpunkte

- ▶ Systematische Analyse der Fehler im Drehstromsystem (L1, L2, L3)
- ▶ Vergleich von Standardwählern und kompensierten Spezialwählern
- ▶ Prüfung konstruktiver Maßnahmen durch Anpassung der Leitergeometrie
- ▶ Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Neukonstruktion

Wichtig / Note 1

- Lösung finden
- Analyse Fehlerbild
- Vergleich der Wandler
- Empfehlung geben

Zeitplanung

04:30

bis

05:30

Evaluation einer Lösung: Der Kern meiner Arbeit ist es nun, eine Konfiguration zu finden, die technisch zuverlässig misst, aber wirtschaftlich bleibt.

Systematische Analyse: Dazu analysiere ich zunächst systematisch, wie sich der Fehler im Drehstromsystem verhält.

Vergleich von Wählern: Ich untersche: Brauchen wir zwingend teure, kompensierte Spezialwandler? Oder performen Standardwandler unter besseren Bedingungen ähnlich gut?

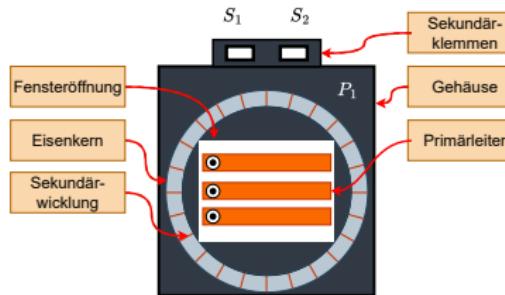
Prüfung konstruktiver Maßnahmen: Parallel dazu prüfe ich, ob wir das Problem konstruktiv lösen können, indem wir einfach die Leitergeometrie anpassen.

Allgemeine Maßnahmen für die Anwendung in der Praxis

Funktionsprinzip und Aufbau

Aufgaben des Messstromwandlers

- ▶ Transformation hoher Primärströme auf normierte Signale (1 A / 5 A)
- ▶ Galvanische Trennung zum Schutz der Messgeräte
- ▶ Bündelung des magnetischen Flusses durch Eisenkern



Prinzipieller Aufbau eines
Aufsteckstromwandlers

Wichtig / Note 1

- Transformator-Prinzip
- Schutzfunktion
- Normierte Signale

Zeitplanung
05:30
bis
06:15

Zum Aufbau: Wir sehen hier rechts den schematischen Aufbau eines Standard-Wandlers. Die Kupferschiene (P_1/P_2) dient als Primärwicklung mit einer einzigen Windung.
Zur Funktion: Der Eisenkern (grau) bündelt den magnetischen Fluss um den Leiter und induziert in der Sekundärwicklung (S_1/S_2) einen proportionalen, aber viel kleineren Strom.
Das Ziel: Das ermöglicht uns, Ströme von mehreren tausend Ampere sicher vom Hochpotenzial zu trennen und für die Messgeräte auf 1 oder 5 Ampere zu normieren.

Lösungsansatz: Kompensierte Wandler

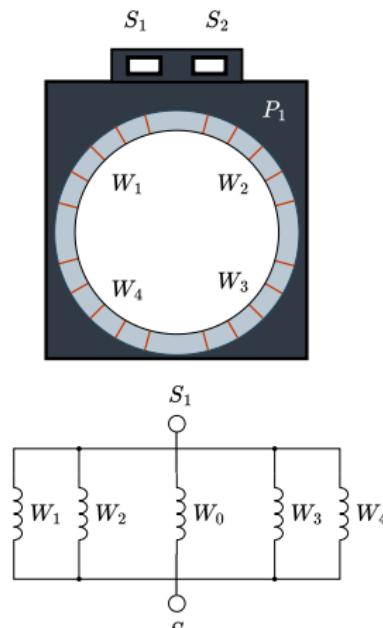
Funktionsprinzip

- ▶ Einsatz zusätzlicher Wicklungen auf dem Eisenkern
- ▶ Erzeugung eines magnetischen Gegenfeldes
- ▶ Aktive oder passive Korrektur des Übersetzungsfehlers

Vor- und Nachteile

- ▶ Deutliche Reduktion der Sättigungseffekte
- ▶ Höherer konstruktiver Aufwand

Kolloquium



Wichtig / Note 1

- Gegenfeld erzeugen
- Fehler minimieren
- Aber: Teuer & Groß

Zeitplanung
06:15
bis
07:00

Das Prinzip der Kompensation: Eine technische Weiterentwicklung ist der kompensierte Wandler. Wie in der Grafik zu sehen, nutzen wir hier zusätzliche Wicklungen (W_3/W_4), um ein magnetisches Gegenfeld zu erzeugen.

Die Wirkung: Dadurch wird der Arbeitspunkt des Kerns stabilisiert und Sättigungseffekte werden aktiv ausgeglichen. Der Wandler misst linearer.

Der Nachteil: Allerdings ist dieser Aufbau deutlich komplexer. Das treibt die Kosten und – was fast noch kritischer ist – den Platzbedarf im Schaltschrank in die Höhe.

Lösungsansatz: Fremdfeld-Protektion (FFP)

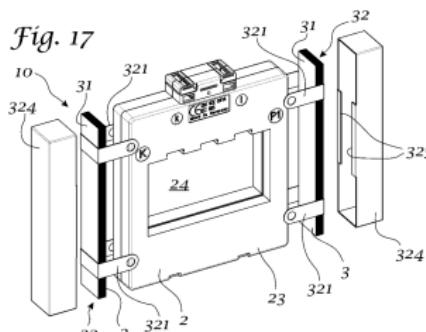
Konstruktive Optimierung

- ▶ Gezielte Schirmung des Messkerns
- ▶ Umleitung der magnetischen Störfeldlinien
- ▶ Prinzip des magnetischen Nebenschlusses

Zielsetzung

- ▶ Einhaltung der Genauigkeitsklasse 1 trotz enger Phasenabstände

Kolloquium



Quelle: Patent DE102021106843A1

(Redur)

Wichtig / Note 1

- Schirmung als "Ümleitung"
- Schutz des Kerns
- Klasse 1 sichern

Zeitplanung

07:00

bis

07:45

Die FFP-Technologie: Eine Alternative ist die sogenannte Fremdfeld-Protektion (FFP). Das Bild rechts zeigt eine Patentschrift der Firma Redur dazu.

Das Prinzip (Schirmung): Hier wird der eigentliche Messkern durch spezielle Leitbleche (im Bild die äußeren Schalen) abgeschirmt. Diese wirken wie ein magnetischer Nebenschluss und leiten die Feldlinien der Nachbarleiter am Kern vorbei.

Das Ziel: Der innere Kern bleibt "sauber", gerät nicht in die Sättigung und soll so die Genauigkeitsklasse 1 auch bei engsten Abständen garantieren.



Physikalisches Problem: Fremdfeldeinfluss

Ursache: Räumliche Nähe

- ▶ Benachbarte Leiter erzeugen starke eigene Magnetfelder
- ▶ Diese Felder koppeln als **Störfluss** in den Wandlerkern ein

Wirkung: Partielle Sättigung

- ▶ Der Störfluss addiert sich vektoriell zum Nutzfluss
- ▶ **Folge:** Der Kern gerät lokal in die magnetische Sättigung
- ▶ Die Permeabilität μ_r sinkt → Das Übertragungsverhältnis stimmt nicht mehr

Resultat: Der Sekundärstrom sinkt, die Messung zeigt zu wenig an.

Wichtig / Note 1

- Einkopplung von außen
- Kern ist „voll“ (Sättigung)
- Messwert sinkt ab

Zeitplanung

07:45

bis

08:30

Der physikalische Hintergrund: Warum brauchen wir diese Technologien? Wenn wir Standard-Wandler in der engen Anlage verbauen, durchdringen die Magnetfelder der Nachbarleiter den Kern.

Der Mechanismus: Der Eisenkern addiert den "Nutzfluss und den Störfluss". Ist die Summe zu groß, gerät das Eisen in die Sättigung.

Die Folge: In der Sättigung verliert der Kern seine Leitfähigkeit für das Magnetfeld (μ_r sinkt). Er kann den Strom nicht mehr vollständig übertragen. Das Resultat ist genau der Einbruch, den wir bei Phase L2 gemessen haben.



Normative Anforderungen (Klassen)

Definition der Genauigkeit nach DIN EN 61869-2

- ▶ Einteilung der Wandler in Genauigkeitsklassen
- ▶ Klasse definiert die maximal zulässige Messabweichung

Klasse	Fehler bei Nennstrom
0,2 S	± 0,2 %
0,5	± 0,5 %
1	± 1,0 %
3	± 3,0 %

Wichtig / Note 1

- Normierung nach IEC
- Ziel: Klasse 1
- Fehlergrenzen definiert

Zeitplanung

08:30

bis

09:15

Bewertungsgrundlage: Um in den folgenden Ergebnissen zu entscheiden, ob eine Lösung tauglich ist, brauchen wir einen Maßstab. Die Norm definiert hierfür feste Genauigkeitsklassen.

Die Tabelle: Wie wir sehen, darf ein Wandler der Klasse 1 bei Nennstrom maximal 1 Prozent abweichen.

Mein Ziel: Das ist der Benchmark für meine Arbeit: Schaffen es die Wandler unter Fremdfeldeinfluss, diese **Klasse 1** zu halten? Alles, was schlechter ist, ist für eine Verrechnungsmessung inakzeptabel.



Fazit

- ▶ Fremdfelder verursachen relevante Messabweichungen
- ▶ Einhaltung von Mindestabständen notwendig
- ▶ Kompaktanlagen erfordern besondere Schirmung
- ▶ Bestätigung der theoretischen Vorüberlegungen
- ▶ Sensibilisierung für Einbaugeometrie wichtig

Kolloquium

Wichtig / Note 1

- Normierung nach IEC
- Ziel: Klasse 1
- Fehlergrenzen definiert

Zeitplanung

08:30

bis

09:15



Ausblick

- ▶ Untersuchung weiterer Kernmaterialien
- ▶ Simulation komplexer Schienensysteme
- ▶ Entwicklung aktiver Kompensationsmethoden
- ▶ Erweiterung auf höhere Frequenzen
- ▶ Langzeitmessungen im Realbetrieb

Kolloquium

Wichtig / Note 1

- Normierung nach IEC
- Ziel: Klasse 1
- Fehlergrenzen definiert

Zeitplanung

08:30

bis

09:15



Vielen Dank

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Offene Fragen

Wichtig / Note 1

- Normierung nach IEC
- Ziel: Klasse 1
- Fehlergrenzen definiert

Zeitplanung

08:30

bis

09:15



Backup Folien

Backup

Kolloquium

Wichtig / Note 1

- Normierung nach IEC
- Ziel: Klasse 1
- Fehlergrenzen definiert

Zeitplanung

08:30

bis

09:15



Detaillierte Spezifikationen

- ▶ Wandlerdaten Typ XYZ
- ▶ Genauigkeitsklasse 0.5
- ▶ Bürde 15 VA
- ▶ Nennstrom 1000 A

Kolloquium

Wichtig / Note 1

- Normierung nach IEC
- Ziel: Klasse 1
- Fehlergrenzen definiert

Zeitplanung

08:30
bis
09:15



Formelwerk

Kolloquium

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \quad (1)$$

- ▶ Berechnung der Flussdichte
- ▶ Biot Savart Gesetz für Leiterfelder

Wichtig / Note 1

- Normierung nach IEC
- Ziel: Klasse 1
- Fehlergrenzen definiert

Zeitplanung

08:30

bis

09:15