

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

00:30

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
- ▶ Messergebnisse
- ▶ Fazit und Ausblick

Wichtig / Note 1

- Übersicht des Vortrags
- Roter Faden

Zeitplanung

04:30

bis

05:00

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

Wichtig / Note 1

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

Zeitplanung

01:30

bis

02:15

Herausforderung: Auf dem Bild ist die hohe Packungsdichte der Anlage zu sehen bei der Hochstromschienen und Wandler auf engstem Raum verbaut sind.

Folge: Diese Nähe führt physikalisch dazu dass magnetische Fremdfelder einkoppeln und die Messergebnisse signifikant verfälschen.

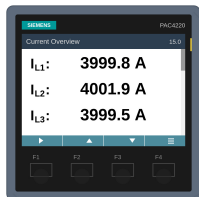
Ziel: Mein Ziel ist es eine technisch robuste Lösung zu finden die diesen Einfluss minimiert und dabei wirtschaftlich bleibt.

Problemstellung – Messabweichung

Parameter: Übersetzungsfehler ε bei 100 % I_{pn}
erlaubt ± 1 %

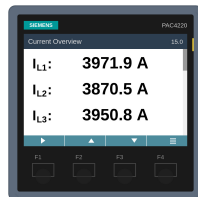
Grenzwert: Klasse 1

Vergleich bei 4000 A Primärstrom – Symmetrische Last



Referenz (Sollwert) Kl. 0,2S

L1 -0,005 %
L2 0,047 %
L3 -0,012 %



Prüfling (Beeinflusst) Kl. 1,0

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

Wichtig / Note 1

- L2: -3,2 % Fehler
- System verzerrt

Zeitplanung

02:15

bis
03:15

Vergleich: Hier sehen Sie den direkten Vergleich zwischen der präzisen Referenzmessung links und dem beeinflussten Prüfling rechts.

Beobachtung: Besonders in der hervorgehobenen Phase L2 bricht der Messwert ein und weist eine Abweichung von etwa 3,2 Prozent auf.

Bewertung: Dieser Fehler liegt weit außerhalb der zulässigen Toleranz von einem Prozent für die Genauigkeitsklasse 1.

Problemstellung – Wirtschaftliche Relevanz

Analyse der Abweichung

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

Potenzieller Abrechnungsfehler (Beispielrechnung)

$$P_{\text{Verlust}} = U_{\text{L-N}} \cdot \Delta I_{\text{L2}} \cdot \cos \varphi \cdot t$$

$$\Delta I_{\text{L2}} = 130 \text{ A bei } 230 \text{ V (L-N)}$$

- × Leistungsfaktor ($\cos \varphi = 0,9$)
- × Dauerlast (8760 h/a)
- × Strompreis (0,20 €/kWh)

$$\approx \mathbf{47\,000 \text{ € / Jahr}}$$

Wichtig / Note 1

- 130 A Untererfassung
- 47k€ Differenz

Zeitplanung

03:15

bis

04:00

Messdifferenz: Durch die Abweichung fehlen uns in der Phase L2 dauerhaft etwa 130 Ampere im gemessenen Stromwert was wir als Untererfassung bezeichnen.

Kosten: Rechnet man diesen Fehler über die Formel für die Wirkleistung auf ein Jahr Dauerlast hoch ergibt sich eine Abrechnungsdifferenz von knapp 47.000 Euro.

Relevanz: Dieser Wert gilt pro Abgangsfeld was das wirtschaftliche Risiko für den Betreiber verdeutlicht.

Zielsetzung der Arbeit

Leitfrage der Untersuchung

Welche Kombination aus Wandler, Geometrie und FFP hält Klasse 1 unter Fremdfeldbedingungen ein – bei minimalen Mehrkosten?

Untersuchungsschwerpunkte

- ▶ Systematische Analyse der Fehler im Drehstromsystem (L1, L2, L3)
- ▶ Vergleich von Standardwandlern und kompensierten Spezialwandlern
- ▶ Prüfung konstruktiver Maßnahmen (Leitergeometrie / FFP)
- ▶ Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Neukonstruktion

Wichtig / Note 1

- Leitfrage
- Vergleich & Empfehlung

Zeitplanung

04:00

bis

04:30

Leitfrage: Meine Arbeit beantwortet die Frage welche Kombination aus Technik und Geometrie die Klasse 1 sicherstellt ohne die Kosten zu sprengen.

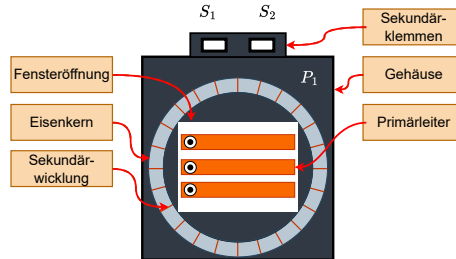
Vorgehen: Dazu analysiere ich die Fehler im System systematisch vergleiche verschiedene Wandlertechnologien und prüfe geometrische Anpassungen.

Output: Am Ende steht eine klare Handlungsempfehlung für die Konstruktion neuer Anlagen.

Funktionsprinzip und Aufbau

Aufgaben des Messstromwandlers

- ▶ Transformation hoher Primärströme (1 A / 5 A)
- ▶ Galvanische Trennung
- ▶ Bündelung des magnetischen Flusses



Prinzipieller Aufbau eines Aufsteckstromwandlers

Wichtig / Note 1

- Transformator-Prinzip
- Schutzfunktion

Zeitplanung

05:00

bis

05:45

Aufbau: Bei diesen Aufsteckstromwandlern fungiert die durchgeführte Kupferschiene direkt als Primärwicklung.

Funktion: Der Eisenkern bündelt den magnetischen Fluss um den Leiter und induziert einen proportionalen Sekundärstrom für die Messgeräte.

Sicherheit: Eine wesentliche Aufgabe ist dabei die galvanische Trennung um die empfindliche Messtechnik vom Hochstromnetz zu isolieren.

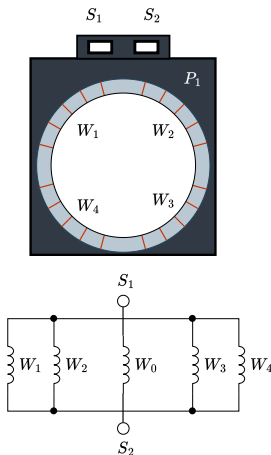
Lösungsansatz: Kompensierte Wandler

Funktionsprinzip

- ▶ Zusätzliche Wicklungen auf dem Eisenkern
- ▶ Erzeugung eines magnetischen Gegenfeldes
- ▶ Aktive Korrektur des Fehlers

Vor- und Nachteile

- ▶ Deutliche Reduktion der Sättigung
- ▶ **Nachteil** Teuer & mehr



- Gegenfeld erzeugen
- Aber: Teuer & Groß

Kompensation: Kompensierte Wandler nutzen Hilfswicklungen auf dem Kern um aktiv ein magnetisches Gegenfeld zu erzeugen.

Vorteil: Dadurch wird die Sättigung des Eisenkerns verhindert was zu sehr präzisen Messergebnissen führt.

Nachteil: Diese Technik ist jedoch spürbar teurer und benötigt Bauraum der in unseren kompakten Anlagen oft nicht vorhanden ist.

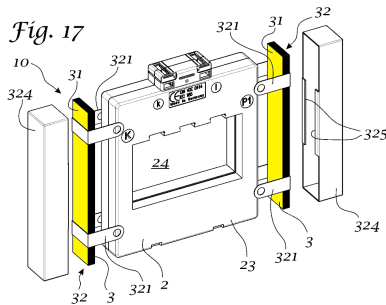
Lösungsansatz: Fremdfeld-Protektion (FFP)

Konstruktive Optimierung

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

Zielsetzung

- ▶ Einhaltung Genauigkeitsklasse 1
- ▶ Schutz vor partieller Sättigung



Quelle: Patent DE102021106843A1

(Redur)

Wichtig / Note 1

- Schirmung = Umleitung
- Nachrüstbar

Zeitplanung

06:30

bis

07:15

Konzept: Die FFP-Technologie setzt auf einen ferromagnetischen Schirm der hier gelb dargestellt ist um den Messkern zu schützen.

Wirkung: Dieser Schirm fängt externe Magnetfelder ein und leitet den Störfeldfluss gezielt am eigentlichen Messkern vorbei.

Nutzen: Ein großer Vorteil dieser Lösung ist dass sich Standardwandler damit kostengünstig nachrüsten lassen.

Physikalisches Problem: Fremdfeldeinfluss

Ursache: Räumliche Nähe

- ▶ Starke Magnetfelder der Nachbarleiter koppeln ein

Wirkung: Partielle Sättigung

- ▶ Nutzfluss + Störfluss = Sättigung im Eisen
- ▶ Permeabilität μ_r sinkt

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

Wichtig / Note 1

- Sättigung des Kerns
- Messwert sinkt

Zeitplanung

07:15

bis

08:00

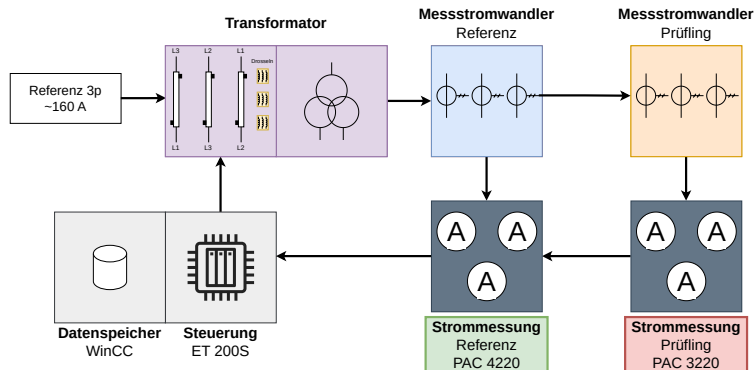
Ursache: Durch die räumliche Nähe koppeln die starken Magnetfelder der benachbarten Leiter ungewollt in den Wandler ein.

Sättigung: Die Summe aus Nutzfluss und Störfluss treibt den Eisenkern in die partielle Sättigung wodurch die Permeabilität sinkt.

Resultat: Das Eisen leitet den magnetischen Fluss schlechter weshalb der Sekundärstrom einbricht und wir zu wenig messen.

Versuchsaufbau: Hochstrom-Prüfstand

Schematischer Aufbau der automatisierten Messstrecke



Wichtig / Note 1

- Referenz -> Trafo -> 4kA
- Synchrone Messung
- WinCC Erfassung

Zeitplanung

08:00

bis
08:45

Aufbau: Hier sehen Sie das schematische Diagramm unseres automatisierten Hochstrom-Prüfstands für die Versuchsreihen.

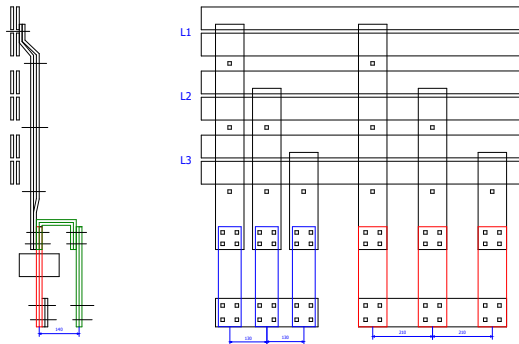
Signalfluss: Wir speisen niederspannungsseitig ein und transformieren den Strom über Hochstromtrafos auf bis zu 4000 Ampere hoch.

Vergleich: Das Kernstück ist die synchrone Messung zwischen dem Referenzgerät PAC 4220 und dem jeweiligen Prüfling PAC 3220.

Daten: Alle Messwerte werden zentral über Profinet erfasst und automatisch in WinCC archiviert um Ablesefehler sicher auszuschließen.

Konstruktive Maßnahme: Dreiecksanordnung

Realisierung der geometrischen Optimierung (Δ -Anordnung)



- L2 versetzt (Dreieck)
- Symmetrische Abstände
- Feldkompensation

Realisierung: Dieses Foto zeigt die praktische Umsetzung der geometrisch optimierten Leiterführung direkt im Schaltschrank.

Konstruktion: Anstatt alle Schienen flach nebeneinander zu führen haben wir die mittlere Phase L2 räumlich um 140 Millimeter versetzt angeordnet.

Effekt: Durch das entstehende gleichschenklige Dreieck heben sich die magnetischen Vektoren im Zentrum gegenseitig auf was den Störeinfluss physikalisch minimiert.



Zusammenfassung

Wichtig / Note 1

- L2 versetzt (Dreieck)
- Symmetrische Abstände
- Feldkompensation

Zeitplanung

08:45

bis

09:30

Ausblick

Wichtig / Note 1

- L2 versetzt (Dreieck)
- Symmetrische Abstände
- Feldkompensation

Zeitplanung

08:45

bis
09:30



Vielen Dank

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Offene Fragen

Wichtig / Note 1

- L2 versetzt (Dreieck)
- Symmetrische Abstände
- Feldkompensation

Zeitplanung

08:45

bis

09:30