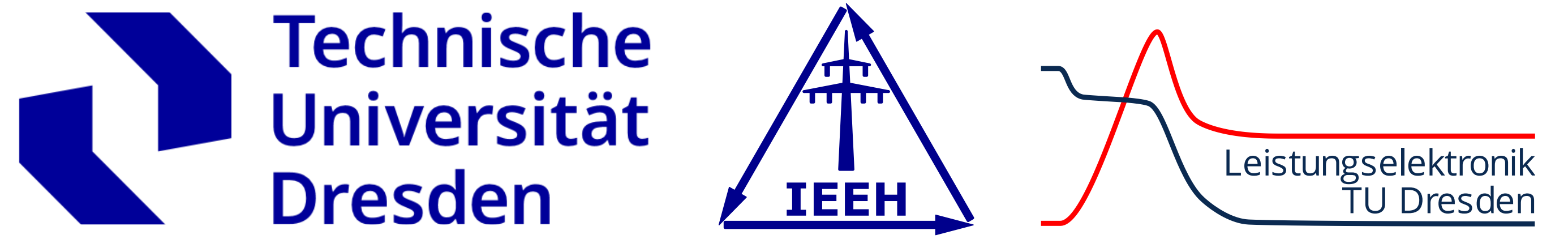


Einfluss der Strombegrenzung bei Stromrichtern auf das Auslöseverhalten des Leitungs-Differentialschutzes mit Trafo im Schutzbereich

Carlo Liebermann*, Ricardo Herrmann*,
 Lasse Gnärig**, Peter Schegner*

* Institut für Elektrische Energieversorgung und Hochspannungstechnik (IEEH)
 Professur für Energiesysteme
 ** Elektrotechnisches Institut (ETI) Professur für Leistungselektronik



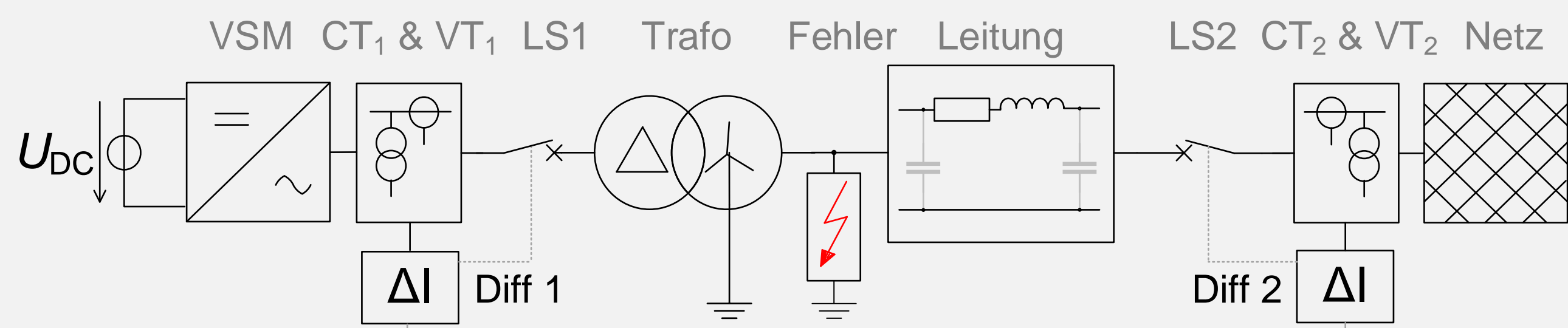
Motivation

- Wandel des elektrischen Energiesystems führt zu stromrichterdominierter Einspeisung
- Netzstabilität und Versorgungszuverlässigkeit muss erhalten bleiben
- Ansatz: virtuelle Synchronmaschine (VSM) mit angepasster netzbildender Regelung
- Verhalten im Fehlerfall weicht von Synchronmaschine ab
 - > Maximaler Kurzschlussstrom ist deutlich geringer und wird aktiv begrenzt
 - > Ströme und Spannungen weichen von einem sinusförmigen Verlauf ab

Forschungsfragen

- Kann der Differentialschutz mit verzerrten Kurzschlussstromverläufen **selektiv Fehler im Schutzbereich** erkennen?
- Welche Verzerrungen treten im Kurzschlussstromverlauf auf? Kommt es in Folge der Stabilisierung zur verzögerten Abschaltung oder zur **Blockade des AUS-Signals**?
- Muss das Strombegrenzungsverhalten der Stromrichter angepasst werden, um einen zuverlässigen Betrieb der Schutztechnik zu gewährleisten?

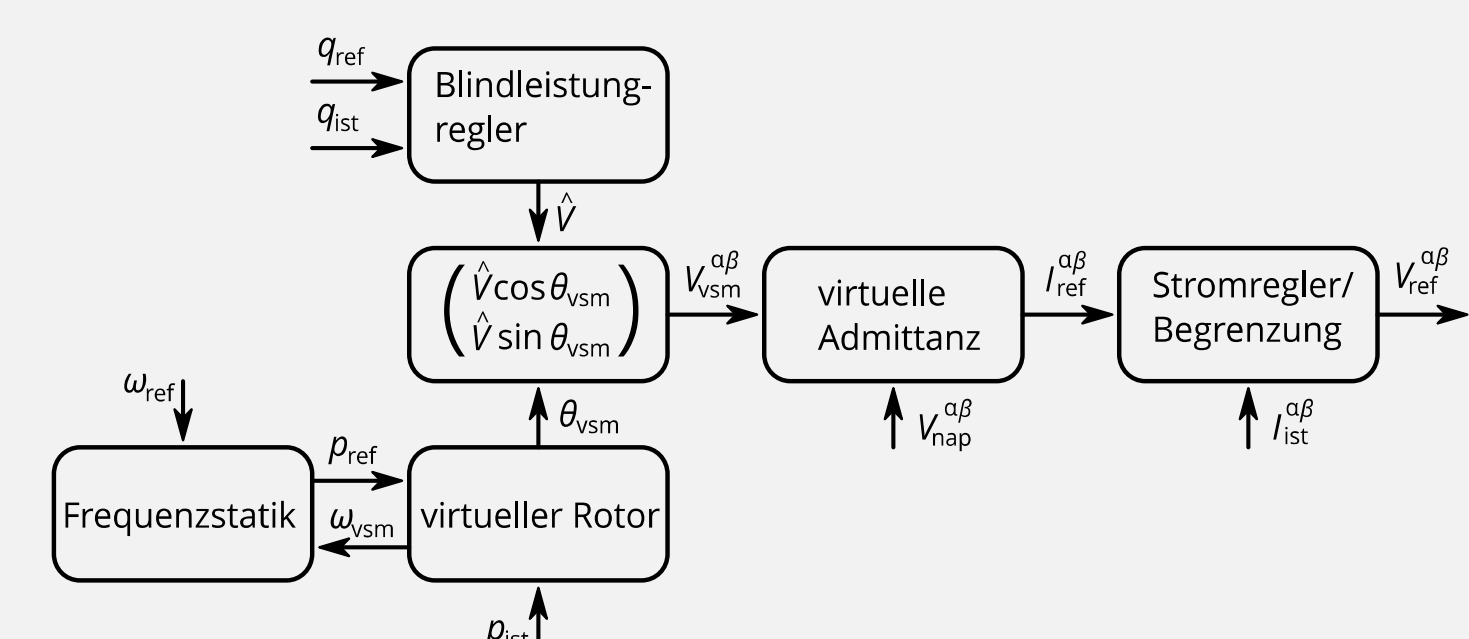
Modellierung



Virtuelle Synchronmaschine (VSM)

- Virtueller Rotor bestimmt Spannungswinkel und Trägheit
- Blindleistungsregler stellt Spannungsamplitude ein
- Virtuelle Impedanz setzt Spannungssollwert in Stromsollwert um
- Stromregler ermöglicht und begrenzt den Strom
- 3-Phasen-Signale werden auf die α - β -Ebene projiziert:

$$x^{\alpha\beta} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{pmatrix}$$



Leitungs-Differentialschutz (Diff)

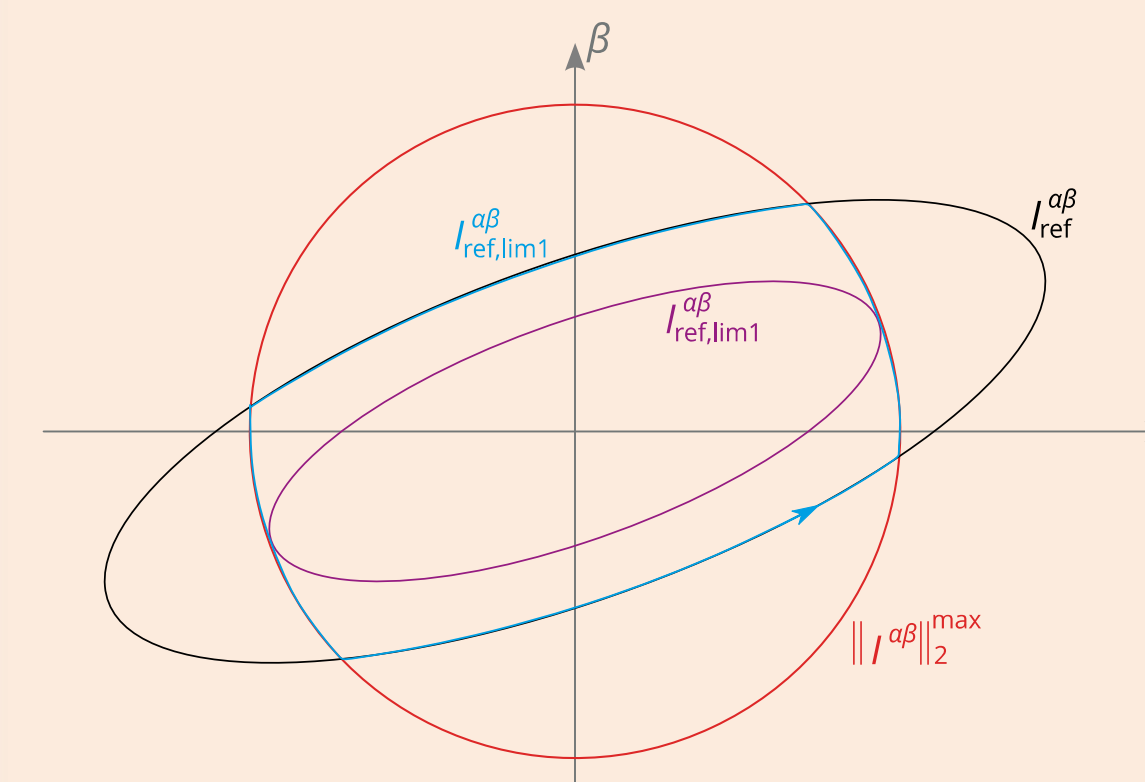
- Ideales Übertragungsverhalten der Wandler
- Samplefrequenz $f_{\text{Sample}} = 1 \text{ kHz}$
- Vernachlässigung der Vorverarbeitung
- Kommunikation der berechneten Stromzeiger (lokal gemessen)
- Kommunikation der lokal berechneten Verzerrung im KS-Strom
- Leitung mit Trafo im Schutzbereich
- Analyse des Differentialschutz-Verhaltens
 - Lokation der Diff/Stab-Wertepaare
 - Bewertung der harmonischen Verzerrung
- Stabilisierung ?

Einfluss der VSM-Strombegrenzung

Konventionelle Strombegrenzung

- Begrenzung der Amplitude, wenn diese den maximalen Strom überschreitet:

$$i_{\text{ref,lim}}^{\alpha\beta} = i_{\text{ref}}^{\alpha\beta} \frac{I_{\text{max}}}{\|i_{\text{ref}}^{\alpha\beta}\|_2}$$

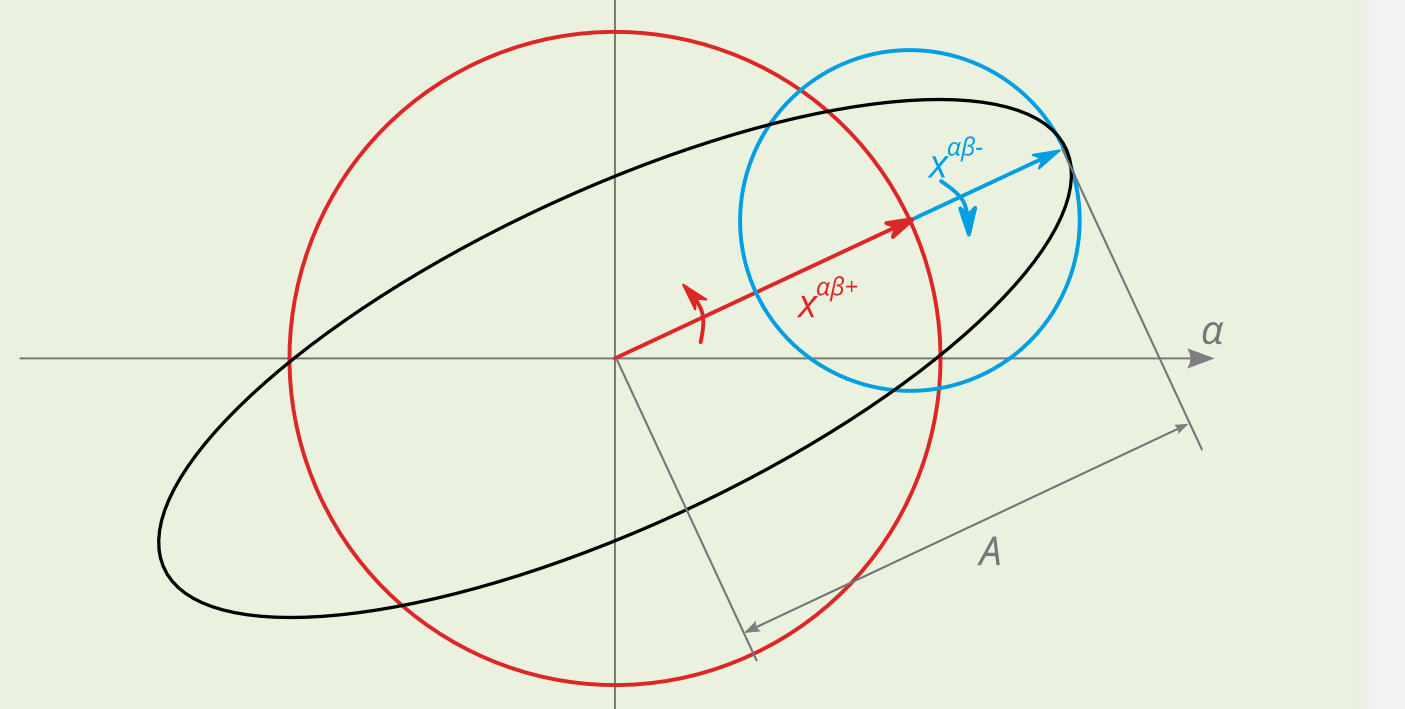


- Optimiert für symmetrische Signale

Verbesserte Strombegrenzung [1]

- Berücksichtigung des Gegensystems
- Begrenzung der Länge des Stromvektors:

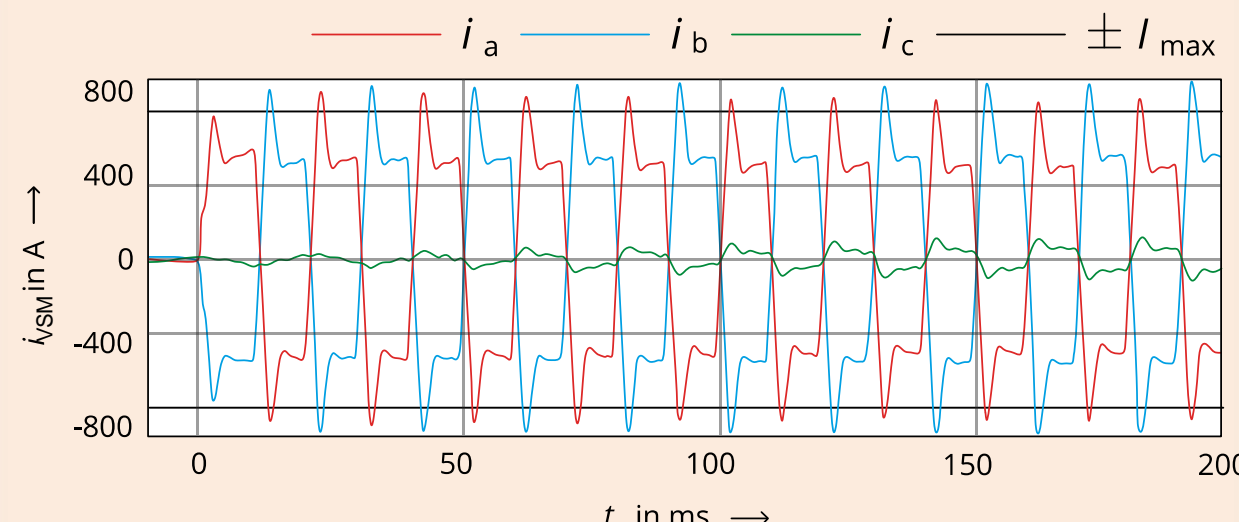
$$i_{\text{ref,lim}}^{\alpha\beta} = \begin{cases} i_{\text{ref}}^{\alpha\beta} & A \leq I_{\text{max}} \\ \frac{i_{\text{ref}}^{\alpha\beta}}{A} I_{\text{max}} & A > I_{\text{max}} \end{cases} \quad A = \|i_{\text{ref}}^{\alpha\beta+}\|_2 + \|i_{\text{ref}}^{\alpha\beta-}\|_2$$



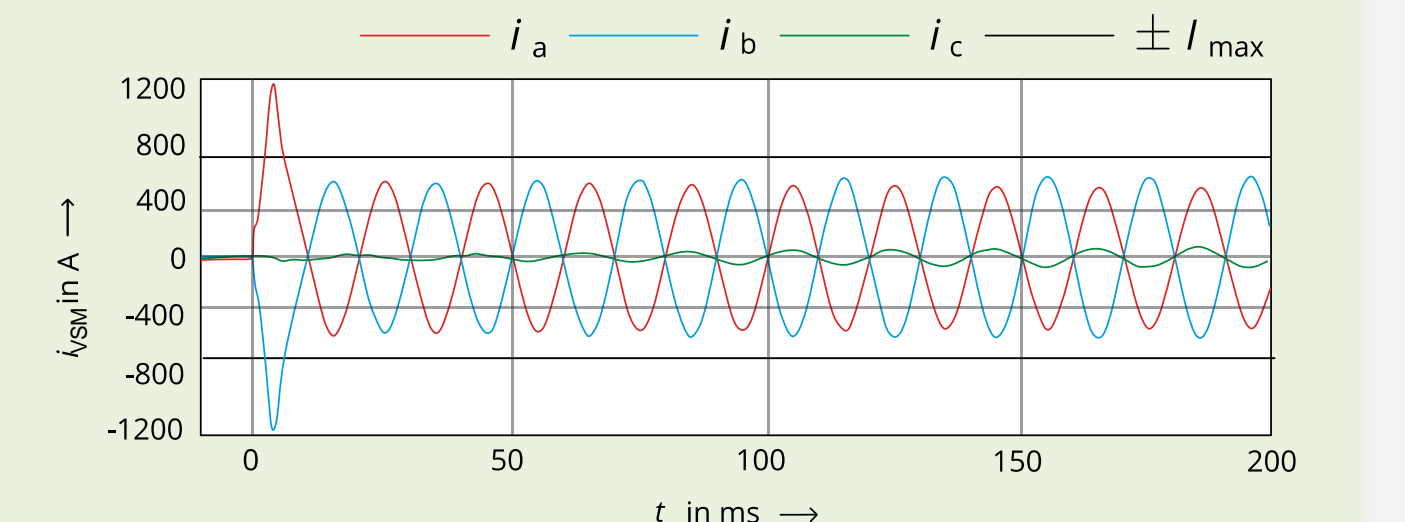
- Extraktion von Mit- und Gegensystemkomponenten

Auswirkungen auf den Kurzschlussstrom bei unsymmetrischen Fehlern

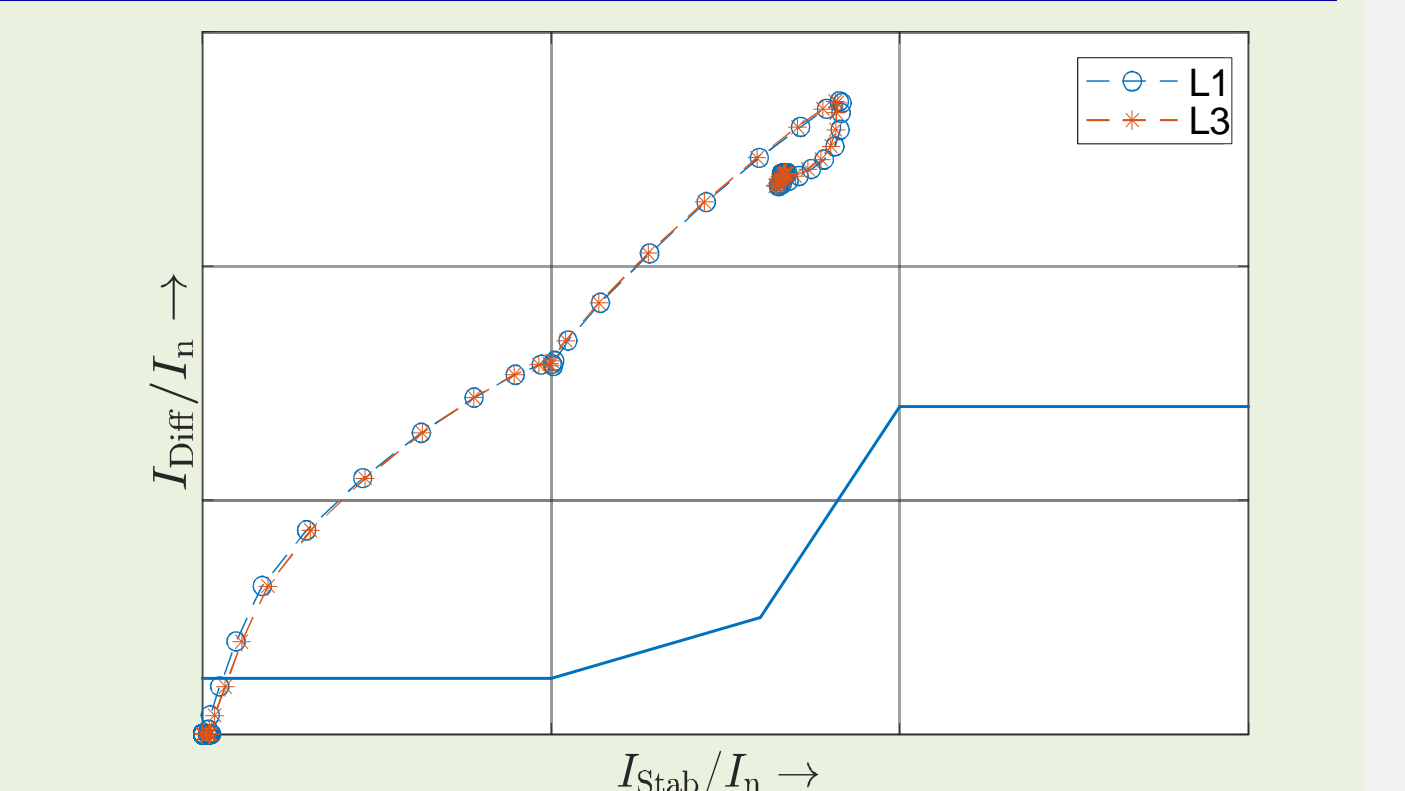
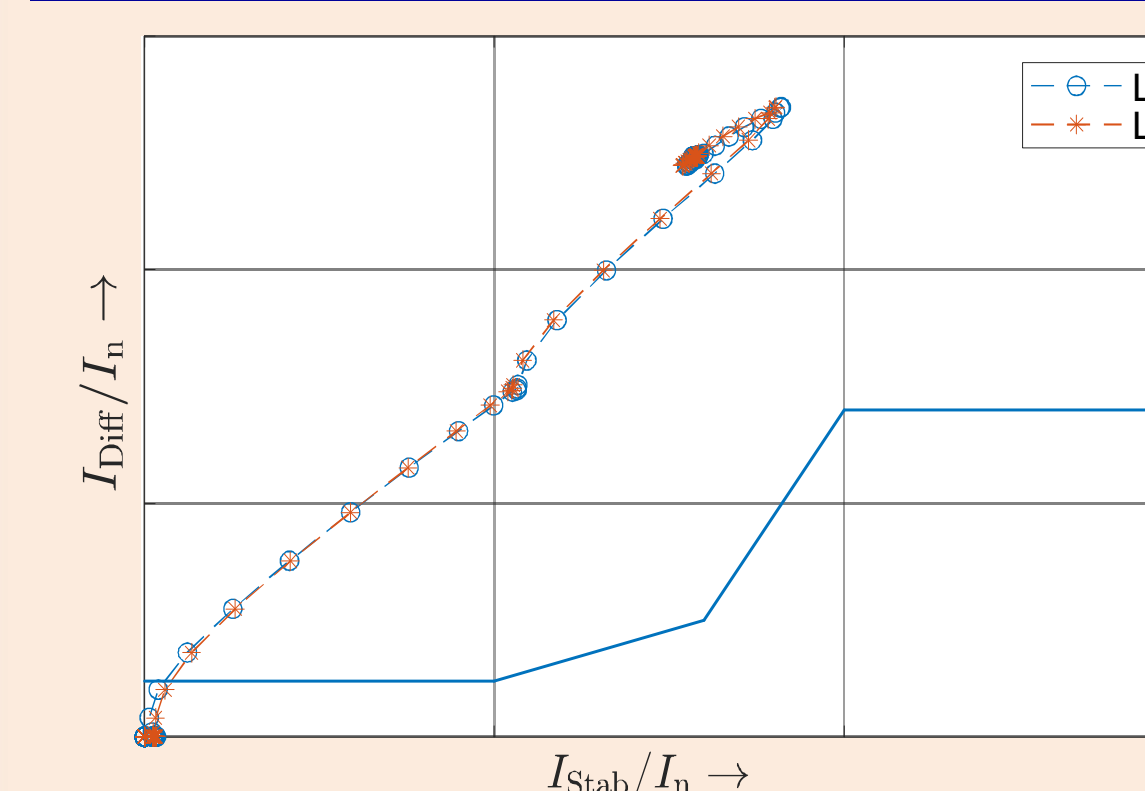
- Harmonische Verzerrungen im Zeitverlauf



- Nach kurzem Überspringen sinusförmig

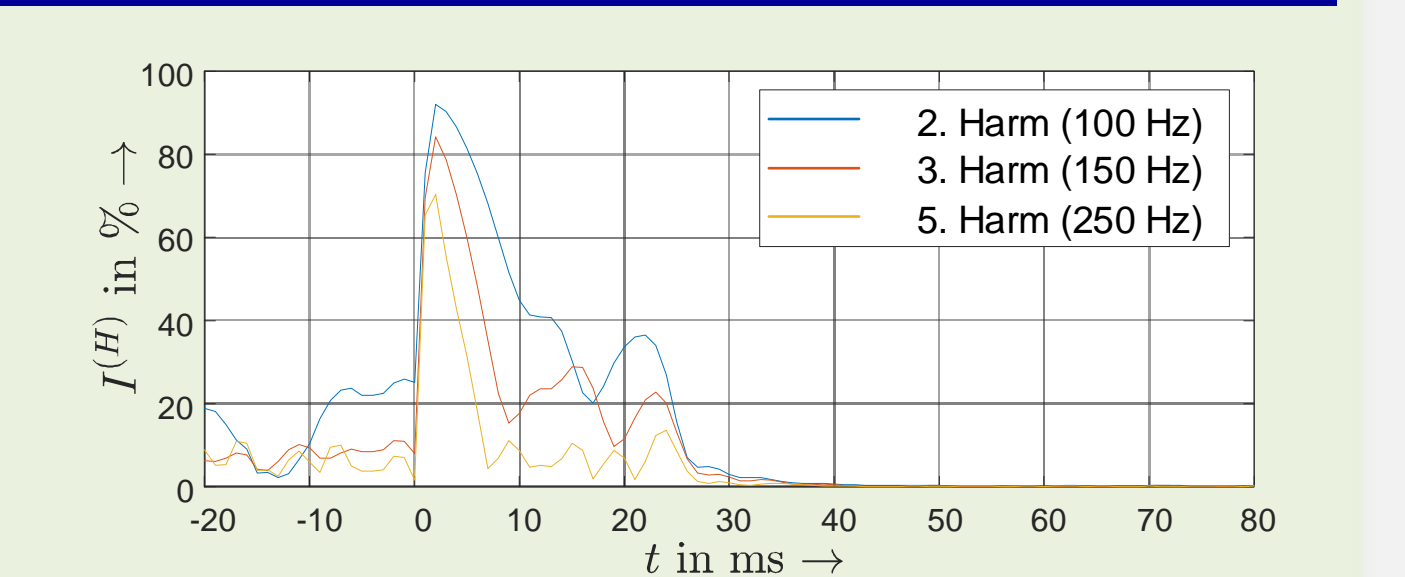
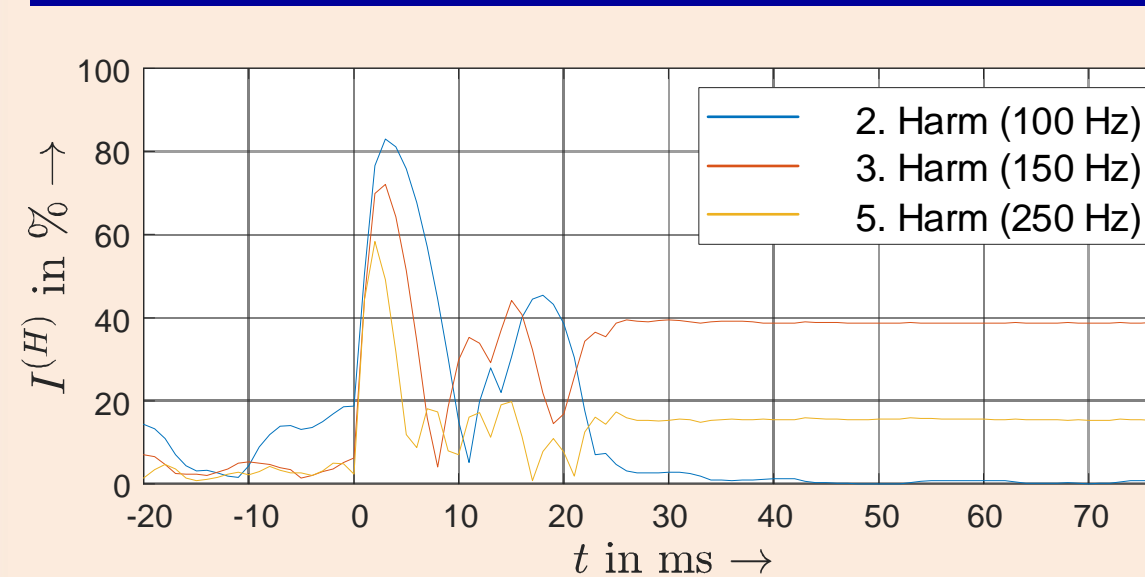


Auswirkungen auf die Reaktanzberechnung



- Diff/Stab Wertepaare sind eindeutig im Auslösebereich lokalisiert
- Selektive Fehlerklärung wird nicht negativ beeinflusst

Verhalten der Zusatzstabilisierung



Zweite Harmonische klingt nach Fehlereintritt + Dauer der Berechnung rasch ab
 → Stabilisierung durch Rush-Erkennung nicht erwartet

• Anteile von dritter und fünfter Harmonischen deutlich vorhanden
 • Stabilisierung durch Erkennen einer Übererregung
 → AUS-Signal wird blockiert

• Anteile von dritter und fünfter Harmonischen klingen ähnlich wie zweite Harmonische ab
 → AUS-Signal wird nicht blockiert

Zusammenfassung

- Die Performance des Differentialschutzes wurde in Abhängigkeit von einer konventionellen und einer verbesserten Strombegrenzungsmethode verglichen
- Generelles Verhalten der Diff/Stab-Wertepaare
 - Wertepaare sind klar im Auslösebereich → Korrekte Arbeitsweise wird erwartet
- Konventionelle Strombegrenzung:
 - Starke Verzerrung kann zum Ansprechen der Übererregungs-Stabilisierung führen → Korrekte Arbeitsweise gefährdet
- Verbesserte Strombegrenzung
 - Qualitätsprobleme verschwinden → Korrekte Arbeitsweise ist möglich

Ausblick

- Untersuchung unterschiedlicher Fehlerfälle
- Messungen im Labor/ an realen Betriebsmitteln

Literatur

[1] LIEBERMANN, C., GNÄRIG, L., WEISS, R., HOFFMANN, A., ZHANG, Y., HERRMANN, R., SCHEGNER, P., BERNET, S.: Current Limiting of Virtual Synchronous Machines on Unbalanced Faults Considering Grid Protection, VDE Verlag GmbH, Berlin, 2022, ISBN 978-3-8007-6013-8