

Netzbildung durch Stromrichter trotz Strombegrenzung?

Peter Unruh, Florian Rauscher, Tobias Erckrath

Abschlusskonferenz - Netzregelung 2.0

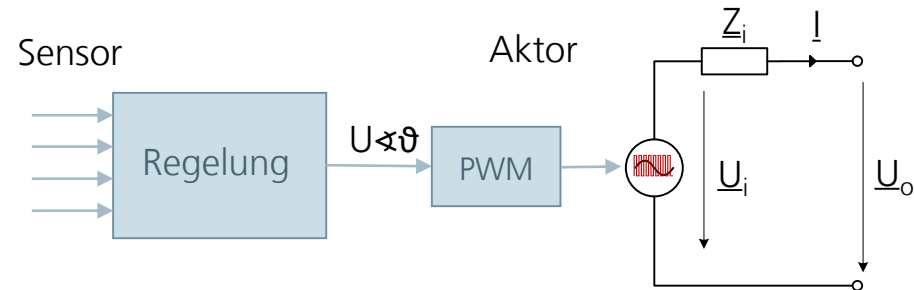
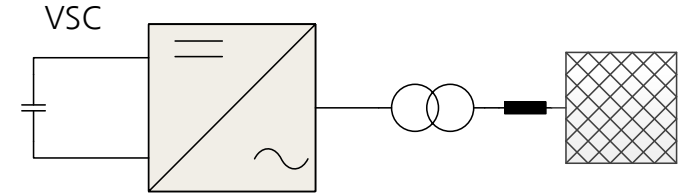
Mi 6.7. - Do. 7.7.2022



Agenda

- Netzbildende Regelung
- Charakteristik der Regelung bei Netzschwankungen
- Konzepte zur Strombegrenzung
- Exemplarische technische Umsetzung und Laborversuche

Aus jeder Regelung eines spannungsführten Stromrichters (VSC) wird ein Spannungszeiger ausgegeben.

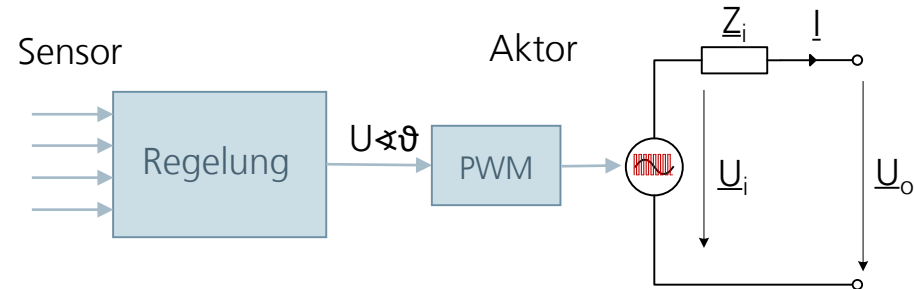
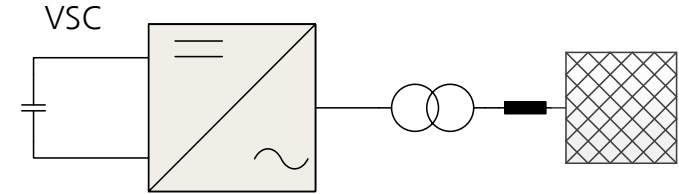




Netzbildende Regelung

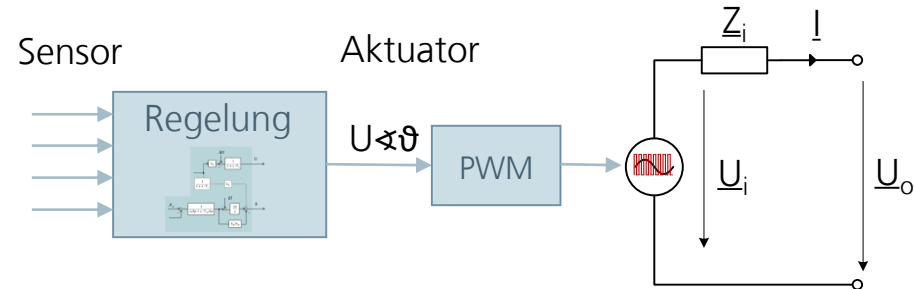
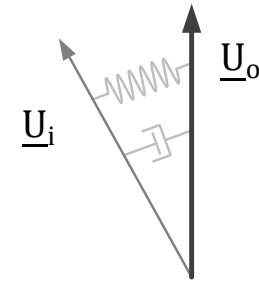
Aus jeder Regelung eines spannungsführten Stromrichters (VSC) wird ein Spannungszeiger ausgegeben.

Der Strombedarf kann nicht in Echtzeit zugeordnet werden



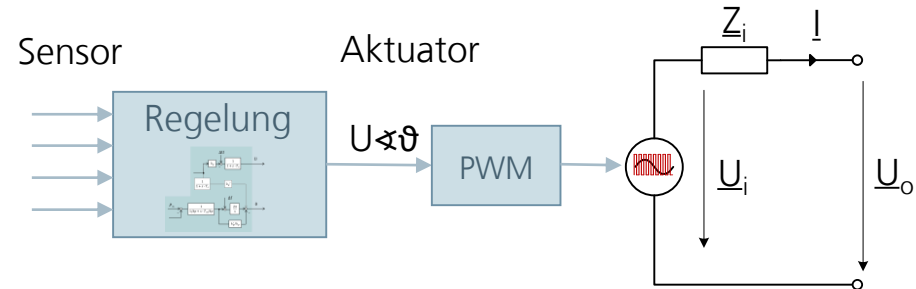
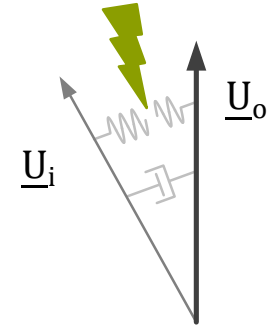
Welche Elemente müssen auf diesen Drehzeiger einwirken?

1. Synchronisierungskraft
2. Dämpfungskraft
3. Eigenständigkeit
 - Verharrungsvermögen



Welche Elemente müssen auf diesen Drehzeiger einwirken?

1. Synchronisierungskraft
2. Dämpfungskraft
3. Eigenständigkeit
 - Verharrungsvermögen
 - (Inselnetzfähigkeit)

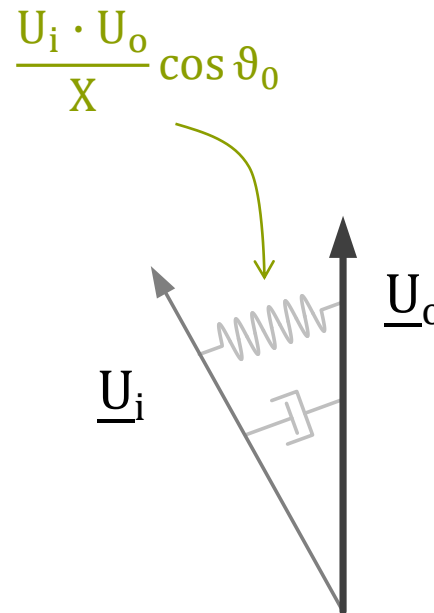




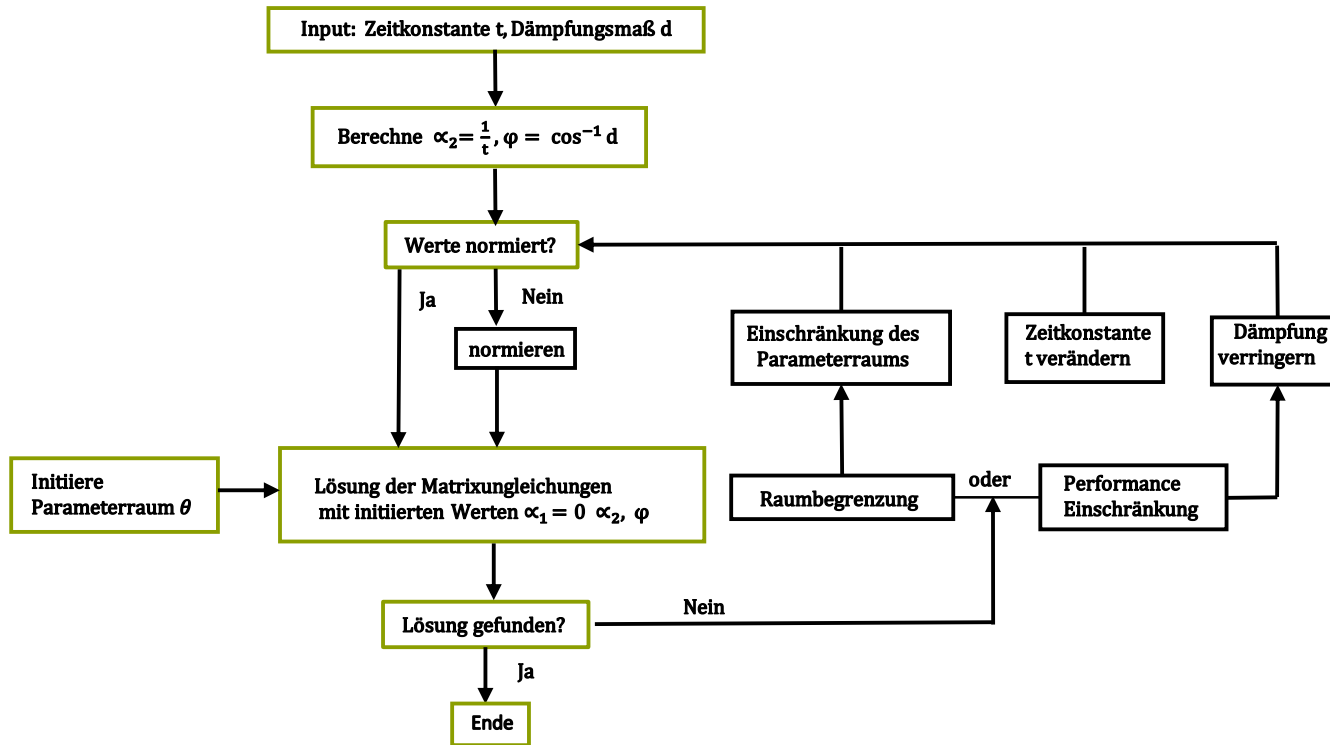
Charakteristik der Regelung bei Netzschwankungen

Schwankungen des Netzes und des Arbeitspunktes verändern die Charakteristik:

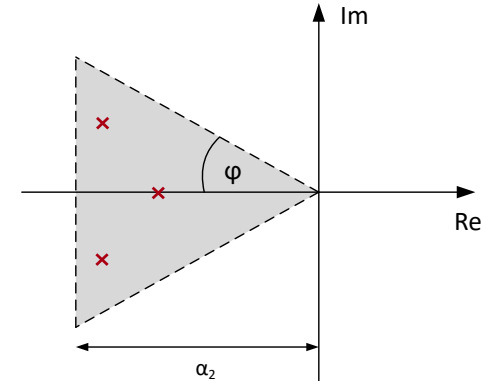
- Netzreaktanz X (örtliche oder temporäre Schwankung)
- Spannungsamplitude
- Nichtlinearität abhängig vom Arbeitspunkt



Charakteristik der Regelung bei Netzschwankungen

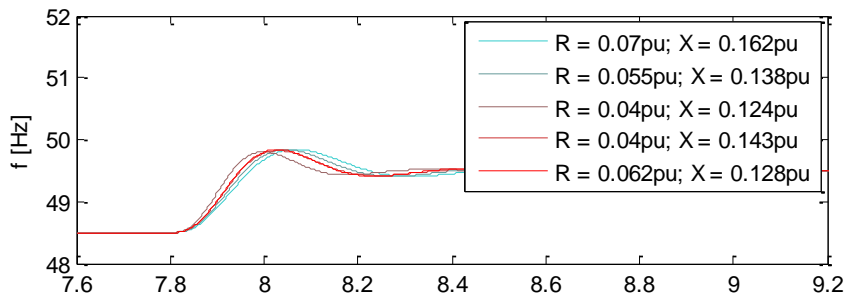
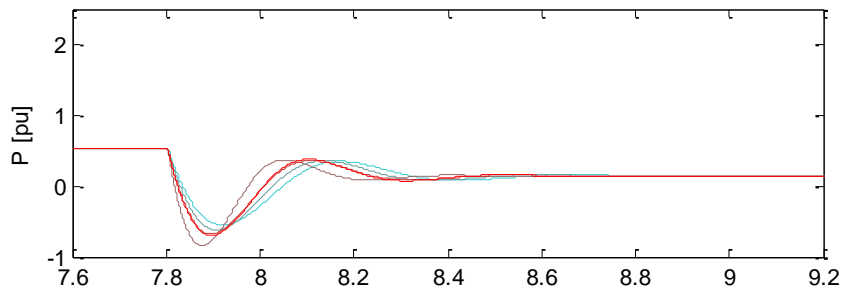


Robuste Reglerauslegung auf Basis eines linearparameterveränderlichen Systems

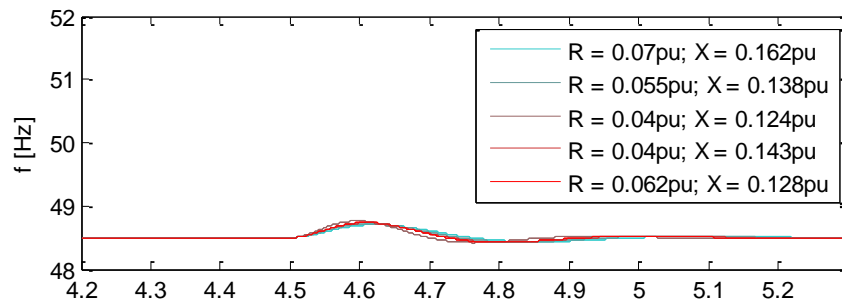
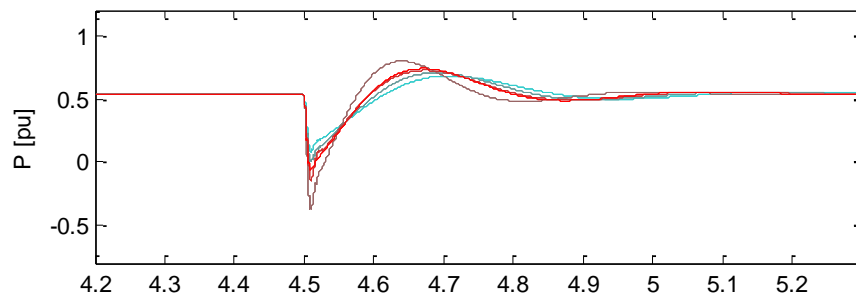


Charakteristik der Regelung bei Netzschwankungen

Systemantwort nach Frequenzsprung



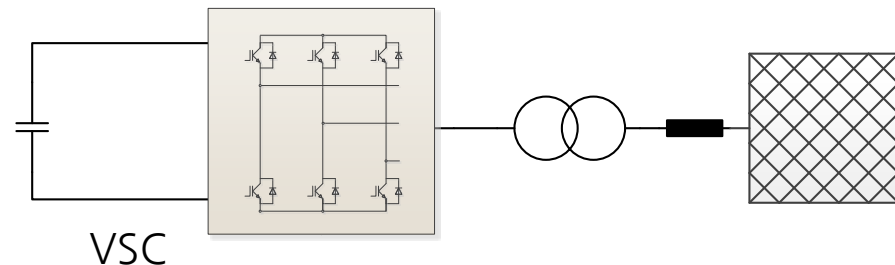
Systemantwort nach Winkelsprung



Konzepte zur Strombegrenzung

Zielkonflikt zwischen Spannungsquelle und Strombegrenzung

Stromrichter können ihre Reserven nur unter Einhaltung der Stromgrenzen abrufen



→ Es braucht eine zielgerichtete Begrenzung

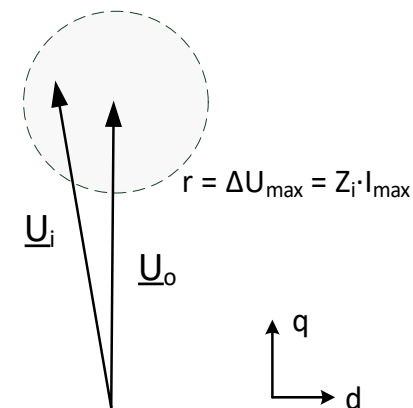
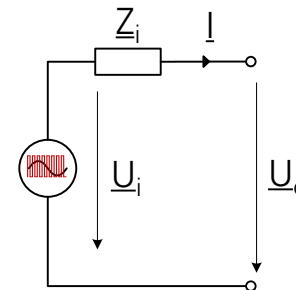


Konzepte zur Strombegrenzung

Hintergrund für einen Überstrom

- Spannungsunterschiede zwischen \underline{U}_i und \underline{U}_o

Jede funktionierende Strombegrenzung führt \underline{U}_i wieder in den Kreis!





Konzepte zur Strombegrenzung

Beiträge zu Strombegrenzungsverfahren aus diesem Projekt

- Dynamische virtuelle Impedanz in Mit- und Gegensystem¹
- Umschaltung auf Stromregelung in Mit- und Gegensystem
- Selfsync mit unterlagertem Stromregler
- Additive Strombegrenzung in Amplitude und Phasenwinkel
- VSM mit temporärer Stromregelung und Re-Initialisierung der VSM
- Selflim – Korridor für gestellten Spannungszeiger²

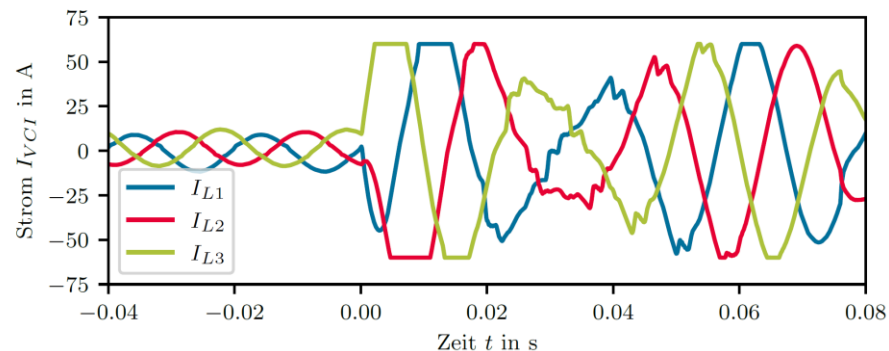
¹ DE102020200673B3

² DE102021206502.3



Ziel beim Einsatz einer softwareseitigen Strombegrenzung

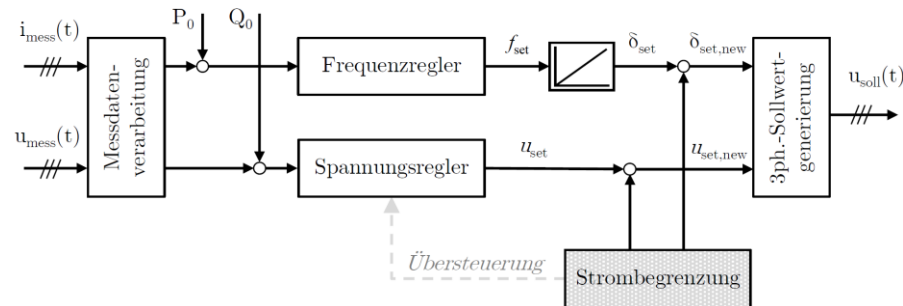
- Gemeinsam wurden im Forschungsprojekt Anforderungen entwickelt, die den Erhalt der netzbildenden Eigenschaft während des Netzfehlers priorisieren
- Realisierung im Stromrichter in der Regel hardwareseitig über das „Current Clipping“, wo der Maximalstromwert unmittelbar abgeschnitten wird
 - Ein nicht-lineares Stromverhalten ist grundsätzlich als negativ zu bewerten, da hierdurch zusätzliche Oberschwingungen entstehen
 - Weitere Regelkreise sind danach u. U. gestört und müssen wieder eingeregelt werden (ab ca. 0,02 s)
- Ziel ist es, auch im Fehlerfall sinusförmige Ströme einzuspeisen, welches über eine softwareseitige Strombegrenzung realisiert werden muss





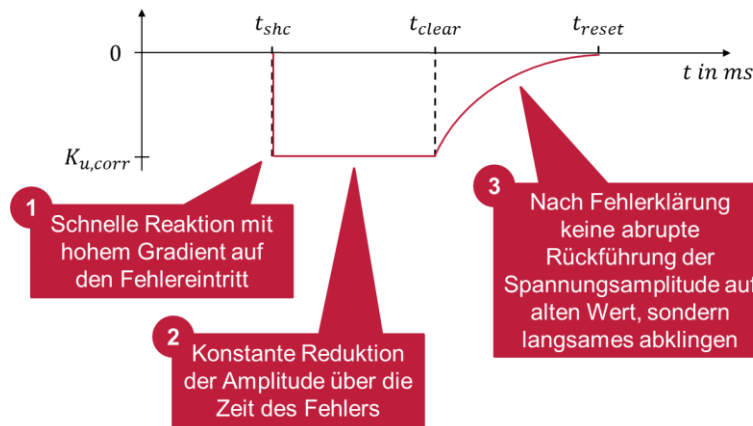
Realisierung der additive Strombegrenzung

- Gemeinsam wurden im Forschungsprojekt Anforderungen entwickelt, die den Erhalt der netzbildenden Eigenschaft während des Netzfehlers priorisieren
- Diese wurden anschließend in einer Prototypen-Regelung umgesetzt und u.a. mittels Labormessungen analysiert



Dreistufiger Prozess für den Fehlerfall:

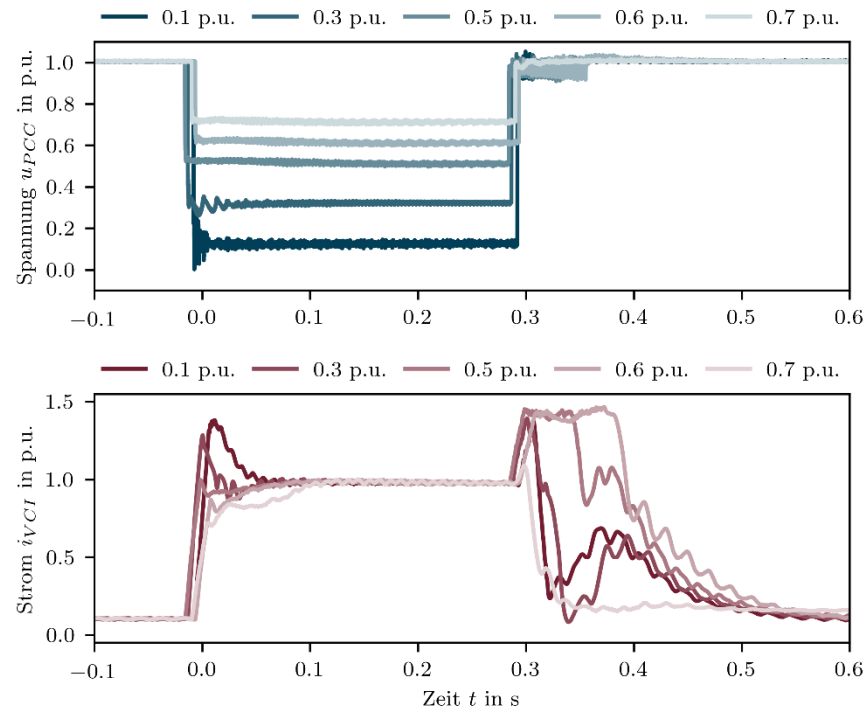
1. Solange der Nennstrom nicht erreicht ist, wird auch keine Strombegrenzung im FRT-Fall aktiviert
2. Reduktion der Amplitude u_{corr}
3. Nachführung des Phasenwinkels δ_{corr}





Prüfung der Funktionsfähigkeit der Strombegrenzung im Labor

- Prüfung anhand verschiedener Einbruchstiefen am Netzanschlusspunkt bei gleicher Parametrierung
- Bei allen Spannungen wird der Strom auf 1,0 p.u. geführt (ab ca. 0,1 s)
- Neben dem Fehlereintritt stellt auch Fehlerklärung bei 0,3 s eine Herausforderung dar
- Durch die abrupte Spannungswiederkehr und die zuvor hohe Auslastung des Stromrichters muss für das abklingende Verhalten eine detaillierte Reglerauslegung erfolgen
- Die Strombegrenzung muss zudem auf die Frequenz- und Spannungsregler abgestimmt sei, um im Nachfehlerzeitraum wieder einen stabilen Arbeitspunkt einzunehmen





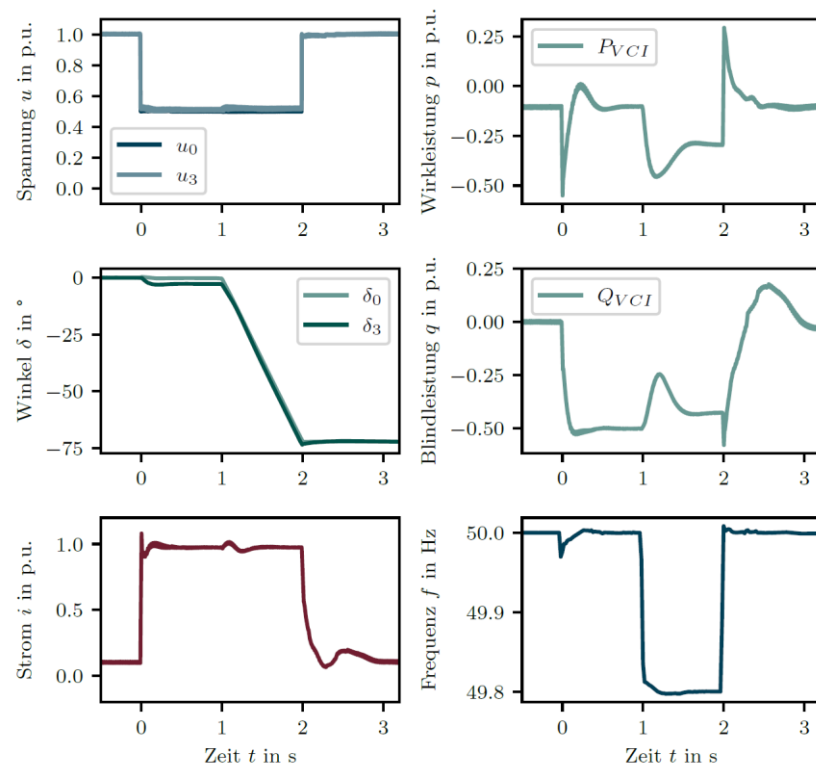
Nachweis des netzbildendes Verhaltens während des Netzfehlers

Hierfür wird ein synthetische Netzsituation im Labor realisiert, um das netzbildende Verhalten zu demonstrieren:

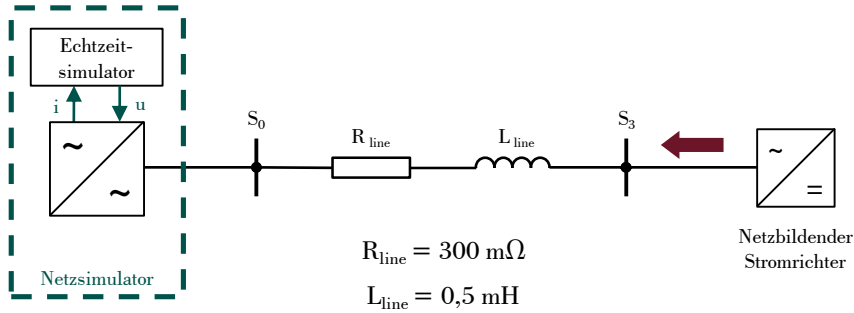
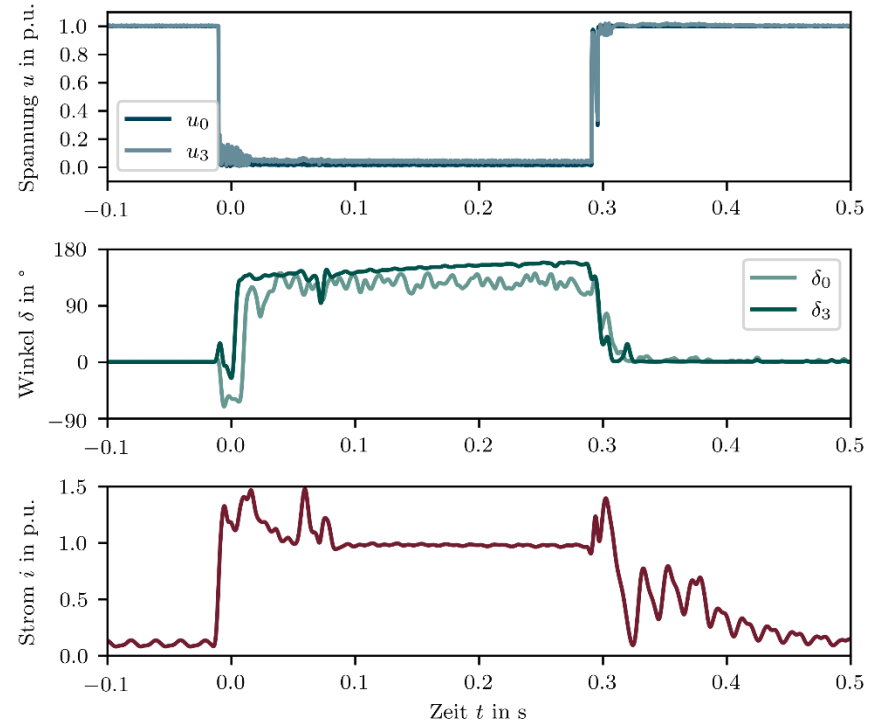
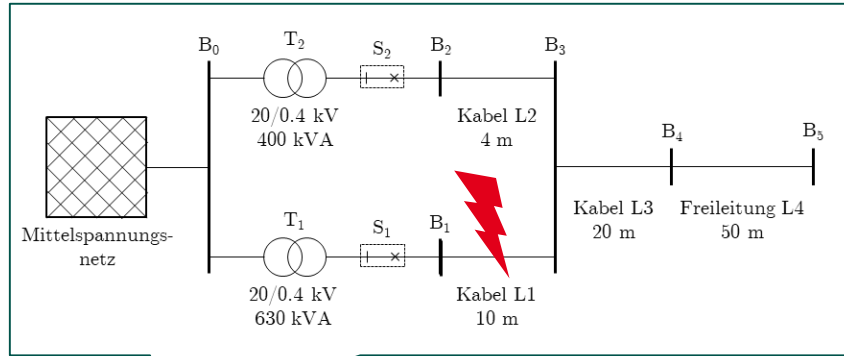
- $t = 0$ s: Spannungseinbruch von 1.0 auf 0.5 p.u.
- $t = 1$ s: Frequenzsprung von 50,0 Hz auf 49,8 Hz
- $t = 2$ s: Klärung des Spannungseinbruchs und gleichzeitige Rückführung der Frequenz

Hierdurch erfolgt eine unmittelbare Wirkleistungsreaktion in Form der Momentanreserve während der Strombegrenzung, da der Frequenzregler nicht beeinträchtigt wird

Da die Strombegrenzung weiter aktiv ist, wird die Wirkleistung zu Lasten der Blindleistung angepasst



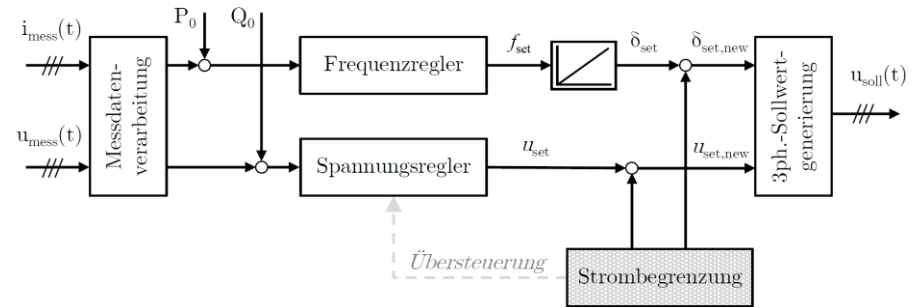
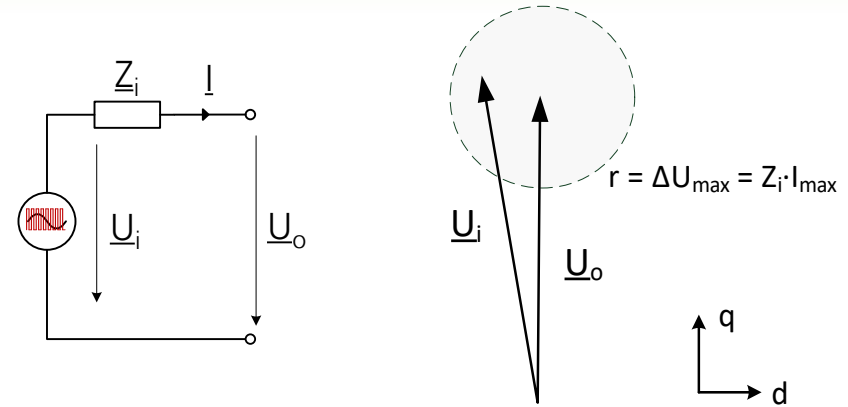
PHIL-Tests mit Echtzeitsimulation des DIN EN 60909-4





Fazit

- Es konnte gezeigt werden, dass netzbildende Stromrichter in der Lage sind, auch während Netzfehlersituationen ihre netzbildende Eigenschaft zu erhalten
- Im Forschungsprojekt konnten verschiedene Konzepte zur Strombegrenzung entwickelt, getestet und gegenübergestellt werden
- Strombegrenzung muss sowohl für das Netzfehlerverhalten als auch für den Überlastfall ausgelegt sein
- In den Diskussionen und Benchmarks haben sich Strombegrenzungen mit Fokus auf den Erhalt des netzbildenden Verhaltens durchgesetzt



Konsortium Netzregelung 2.0



Budget: ca. 10.5 Mio. €
Laufzeit: 12/2017-08/2022
Koordination: Fraunhofer IEE
Dr. Philipp Strauß, Dr. Thomas Degner
netzregelung-2.0@iee.fraunhofer.de



Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter den Förderkennzeichen 0350023A-G gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren und spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Projektkonsortiums Netzregelung 2.0 wider.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages