



Identifikation auslegungsrelevanter Kurzschlüsse in Mittel- und Niederspannungsgleichstromnetzen

Raphael Bleilevens, Albert Moser

Einleitung

Hintergrund

- Mittel- und Niederspannungsgleichstromnetze für öffentliche als auch für private Systeme sind aktueller Gegenstand der Forschung
- Exemplarische aktuelle Projekte:
 - Direct Current Components + Grid (DCC+G)
 - Forschungscampus Flexible Elektrische Netze (FEN)
- Kurzvorstellung Forschungscampus Flexible Elektrische Netze (FEN):
 - Forschungsprojekt läuft seit 2015
 - Interdisziplinäre Erforschung von Mittel- und Niederspannungsgleichstromnetzen durch 6 elektrotechnische Lehrstühle sowie 9 nicht-elektrotechnische Lehrstühle
 - Forschungsfelder: **Netze & Systeme** (Netzplanung und Netzbetrieb), Komponenten, Digitalisierung, Sozioökonomie und Standardisierung
 - Errichteter Demonstrator: 5-kV-Forschungsnetze mit zwei 5-MW-DC/DC-Wandlern zur Verbindung zweier Mittelspannungsnetzgruppen

Einleitung

Motivation

- Für Planung von Mittel- und Niederspannungsgleichstromnetzen ist die Kenntnis der maximalen Kurzschlussströme erforderlich
 - Thermische und mechanische Belastung durch die Kurzschlussströme
 - Sichere und dennoch wirtschaftlich angemessene Auslegung der stromführenden Betriebsmittel
- Zur Reduktion des Rechenbedarfs ist die Kenntnis über die auslegungsrelevanten Kurzschlüsse sinnvoll, um nicht jeden möglichen Kurzschluss berechnen zu müssen
 - Potentielle Kurzschlüsse können sich hinsichtlich der Kurzschlussart und der Kurzschlussposition unterscheiden

Einleitung

Ziel der Arbeit

- Identifikation der auslegungsrelevanten Kurzschlussarten und Kurzschlusspositionen in Mittel- und Niederspannungsgleichstromnetzen

Methodischer Ansatz

- Simulative Herangehensweise:
 - Durchführung einer Vielzahl an transienten Kurzschlussstromberechnungen mit Variation der Kurzschlussarten und Kurzschlusspositionen
 - Bestimmung der Kurzschlüsse mit maximalen Belastungen je stromführendem Betriebsmittel

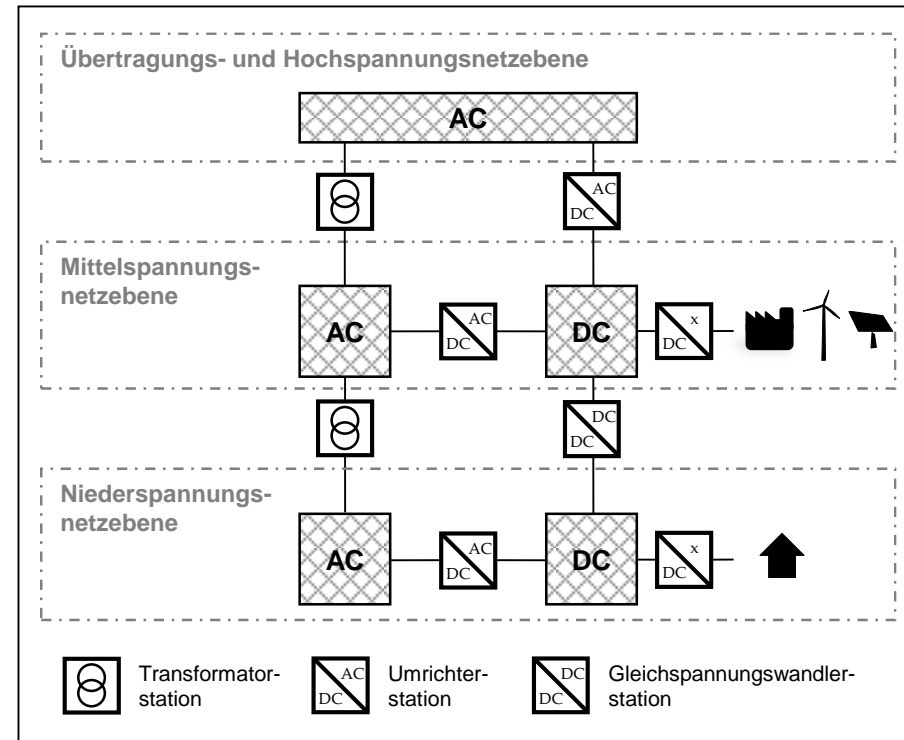


Analyse

Mittel- und Niederspannungsgleichstromnetze (I/II)

- Verbindung mit angrenzenden Systemen durch Umrichter- bzw. DC/DC-Wandlerstationen
- Verwendete Umrichter und DC/DC-Wandler haben deutlichen Einfluss auf den Kurzschlussstrom
- Stromführende Betriebsmittel:
 - Leitungen
 - Sammelschienen
 - Abgangsfelder mit Schaltgeräten
- Belastung dieser stromführenden Betriebsmittel auszuwerten

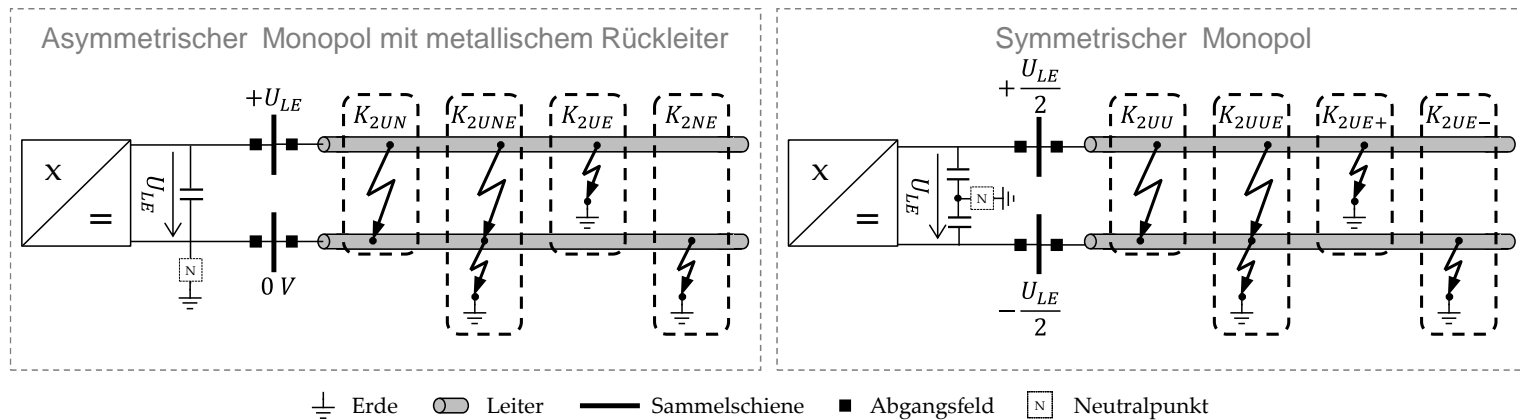
Einordnung in das bestehende Elektrizitätsversorgungssystem



Analyse

Mittel- und Niederspannungsgleichstromnetze (II/II)

- Mögliche Kurzschlussarten abhängig von Systemkonfiguration
- Für Mittel- und Niederspannungsebene sind die monopolaren Systemkonfigurationen wahrscheinlich



- Verschiedene Neutralpunktbehandlungen sind vorstellbar
 - Neutralpunktbehandlung ermöglicht die Beeinflussung des Kurzschlussstroms bei Erdberührung
- Starre Neutralpunktbehandlung führt zu maximalen Kurzschlussströmen

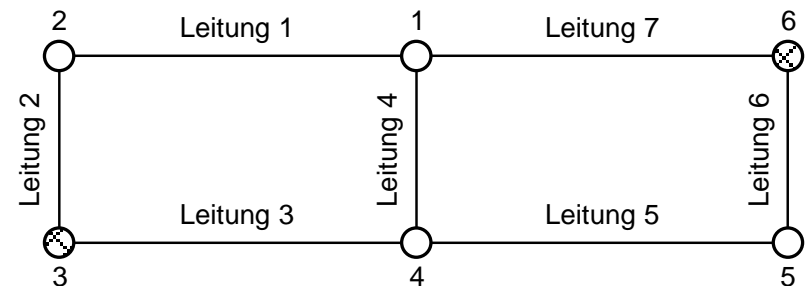
Grundlagen der Untersuchungen

Transiente Kurzschlussstromberechnungen

- Transiente Berechnung basieren auf einer numerischen Zeitverlaufssimulation
 - Verwendung des Softwareprogramm PLECS®

Untersuchtes Gleichstromnetz

- Verwendung eines 6-Knoten Gleichstromnetzes
 - Abbildung der Charakteristika von Mittel- und Niederspannungsgleichstromnetzen mit übersichtlicher Anzahl an stromführenden Betriebsmitteln
 - Verwendung von ausschließlich 2L-VSC als Umrichter zur Worst-Case-Abschätzung
 - Starre Neutralpunktbehandlung an Knoten 3 mit isolierten Neutralpunkten an allen anderen Knoten



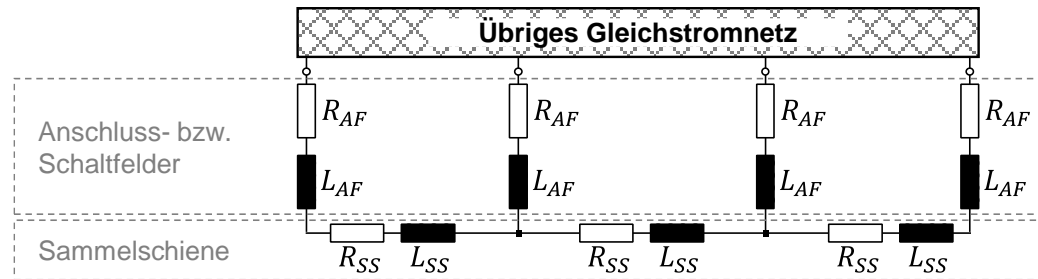
⊗ HS-AC-Netz über 2L-VSC

○ MS-AC-Netze über 2L-VSC

Grundlagen der Untersuchungen

Modellierung der Betriebsmittel

- Modellierung aller Umrichter durch detaillierte Berücksichtigung aller Teilkomponenten (IGBTs, Dioden, Spulen, Kondensatoren, Regelung, etc.)
- Modellierung der Drehstromnetze durch ideale Drehstromspannungsquellen mit Innenwiderstand (entsprechend der Kurzschlussleistung)
- Modellierung der Kondensatoren durch Reihenschaltung einer Kapazität und eines Innenwiderstands
- Modellierung von Sammelschienen und Abgangsfeldern entsprechend Abbildung



- Modellierung von Leitungen durch Kettenschaltung von T-Gliedern je 500 m
- Erde und Kurzschluss als ideal leitfähig

Grundlagen der Untersuchungen

Bewertungskenngrößen

- Rückgriff auf Kurzschlussstromkenngrößen aus der Drehstromtechnik
- Stoßkurzschlussstrom i_p :
 - Berücksichtigung der mechanischen Belastung aufgrund von magnetischen Kräften

$$F(t) = -\frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{l}{a} \cdot i(t)^2$$

- Thermisch äquivalenter Kurzzeitstrom I_{th} :
 - Berücksichtigung der thermischen Belastung aufgrund von Stromwärmeverlusten

$$Q_{zu} = R \cdot \int_0^T i(t)^2 \cdot dt = R \cdot I_{th}^2 \cdot T$$

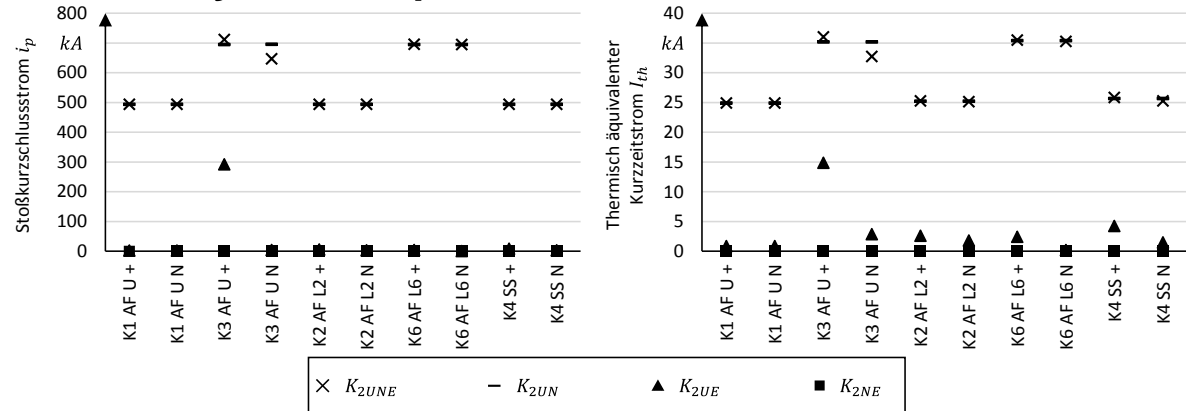
Ergebnisse

Auslegungsrelevante Kurzschlussarten

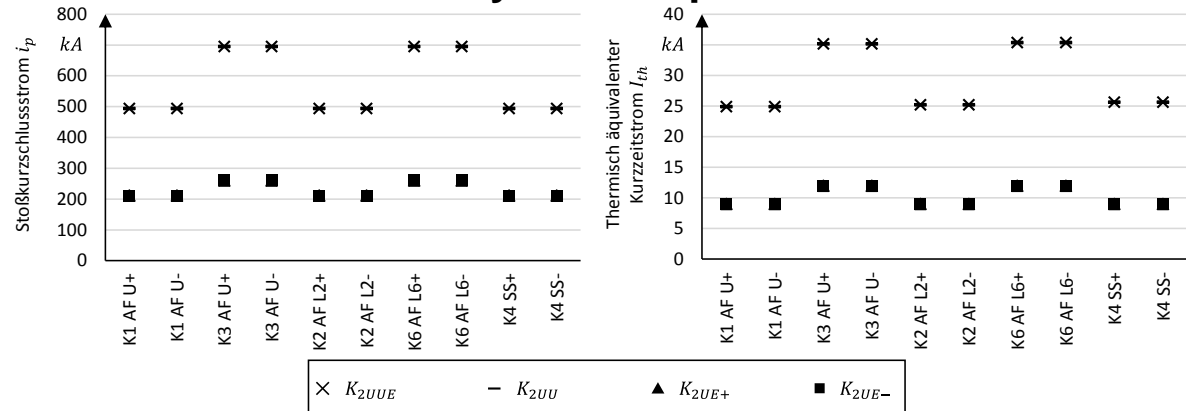
- Asym. Monopol
 - K_{2UNE} relevant für Betriebsmittel pos. Pol
 - K_{2UN} relevant für Betriebsmittel neutr. Pol
- K_{2UNE} und K_{2UN} zu berücksichtigen

- Sym. Monopol
 - K_{2UUE} und K_{2UU} relevant und gleich
- K_{2UU} zu berücksichtigen

Asym. Monopol mit metallischem Rückleiter



Sym. Monopol

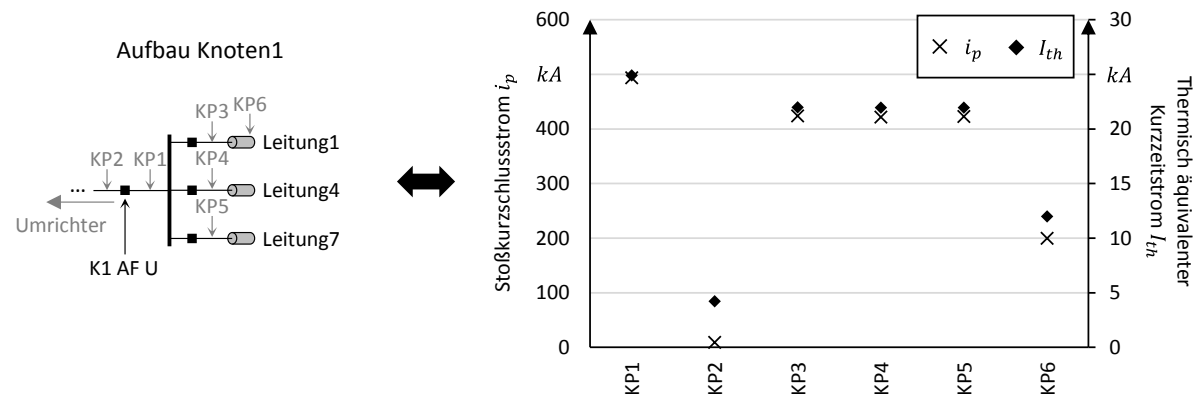


Ergebnisse

Auslegungsrelevante Kurzschlusspositionen

- Für Abgangsfelder führen Positionen am Eingang oder am Ausgang des Abgangsfelds zu dem maximalen Kurzschlussstromkenngrößen
- Für Leitungen führen Positionen am Anfang oder am Ende der Leitung als Abschätzung zur sicheren Seite zu dem maximalen Kurzschlussstromkenngrößen
 - Bereits durch die Positionen durch die Abgangsfelder abgedeckt
- Für Sammelschienen sind keine allgemeingültigen Positionen ermittelbar
 - Alle Positionen bereits durch die Positionen der Abgangsfelder abgedeckt

Ergebnisse für ein exemplarisches Abgangsfeld



Zusammenfassung

Ziel der Arbeit

- Identifikation der auslegungsrelevanten Kurzschlussarten und Kurzschlusspositionen in Mittel- und Niederspannungsgleichstromnetzen zur Reduktion des Rechenaufwands bei der Kurzschlussstromberechnung

Ergebnisse

- Auslegungsrelevante Kurzschlussarten sind:
 - K_{2UNE} und K_{2UN} bei asym. Monopol mit metallischem Rückleiter
 - K_{2UU} bei sym. Monopol
- Auslegungsrelevante Kurzschlusspositionen sind:
 - Eingang und Ausgang von Abgangsfeldern

Danksagung

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung
(BMBF, FKZ03SF0488), Forschungscampus Flexible Elektrische Netze (FEN)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung