

Leibniz
Universität
Hannover

Impulsvortrag Fachforum 1:

**Welcher Bedarf besteht an „Grid Forming-Fähigkeit“ durch EE-Anlagen?
Welchen Beitrag müssen die Netzbetreiber und Netznutzer zur
Systemstabilität leisten?**

Lutz Hofmann

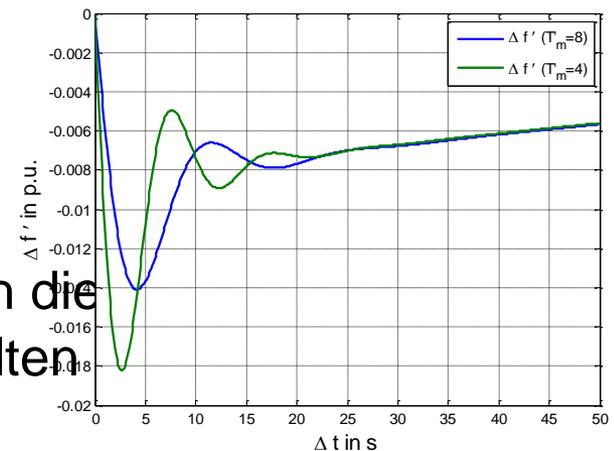
**Göttinger Energietage
15. und 16. Mai 2024**



Institut für Elektrische Energiesysteme
Fachgebiet Elektrische Energieversorgung
Prof. Dr.-Ing. habil. Lutz Hofmann

Einleitung

- Verdrängung der Erzeugungsleistung von thermischen Erzeugungsanlagen auf Basis von Synchronmaschinen durch stromrichterbasierte Erzeugung
- u.a. Rückgang der Blindleistungsquellen, der Kurzschlussleistung/-ströme und der Systemträgheit bei Leistungsungleichgewichten
- Folge sind Herausforderungen bei der lokalen Spannungshaltung und -stabilität sowie bei der Frequenzhaltung und –stabilität, z.B.:
 - steigender RoCoF (Rate of Change of Frequency, Frequenzgradient)
 - steigender Nadir (maximale dynamische Frequenzabweichung)
 - fehlende lokale Blindleistung
 - Spannungshaltungsprobleme
- Lösungsansatz: netzbildende Wechselrichter
 - = selbstgeführte Wechselrichter mit einem durch die Regelung eingprägten netzbildendem Verhalten



Wer kann netzbildende Eigenschaften bereitstellen?

Bereitstellung von netzbildenden Eigenschaften grundsätzlich möglich mit:

- Synchronmaschinen
 - i. W. in konventionellen thermischen Kraftwerken
 - rotierende Phasenschieber (ggf. zus. Schwungmasse)
- selbstgeführte Wechselrichter mit einem durch die Regelung eingprägten netzbildendem Verhalten, z.B.
 - VSC-HGÜ-Konverterstationen
 - Batteriespeicher, Netzbooster
 - Static Synchronous Compensator (STATCOM)
 - Energy STATCOM (E-STATCOM) = STATCOM mit Kurzzeitenergiespeicher
 - WEA/DEA mit Vollumrichter

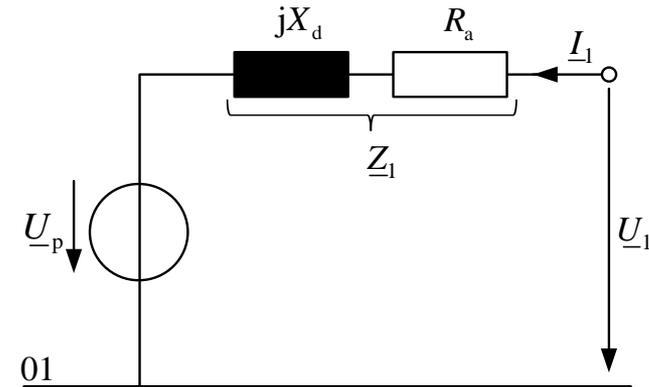
aber: Was ist eigentlich „netzbildend“?

Welche grundlegenden netzbildenden Eigenschaften werden gefordert?

Bereitstellung einer konstanten Spannungsquelle mit Grundschiebungsfrequenz ggf. mit Innenimpedanz

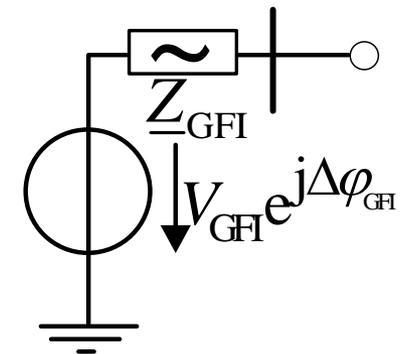
– Synchronmaschinen:

- über die Erregerspannung/Erregerstrom regelbare Polradspannung mit synchroner Längsreaktanz und Ankerwiderstand



– netzbildende Wechselrichter:

- selbstgeführte Wechselrichter ermöglichen Vorgabe einer regelbaren inneren Spannung mit regelungstechnisch ausgeprägter Innenimpedanz und ggf. weiteren physikalischen Impedanzen (z.B. Transformator)
- ein stabiles Spannungsquellenverhalten soll auch bei einer Strombegrenzung aufrecht zu erhalten (Wie?)

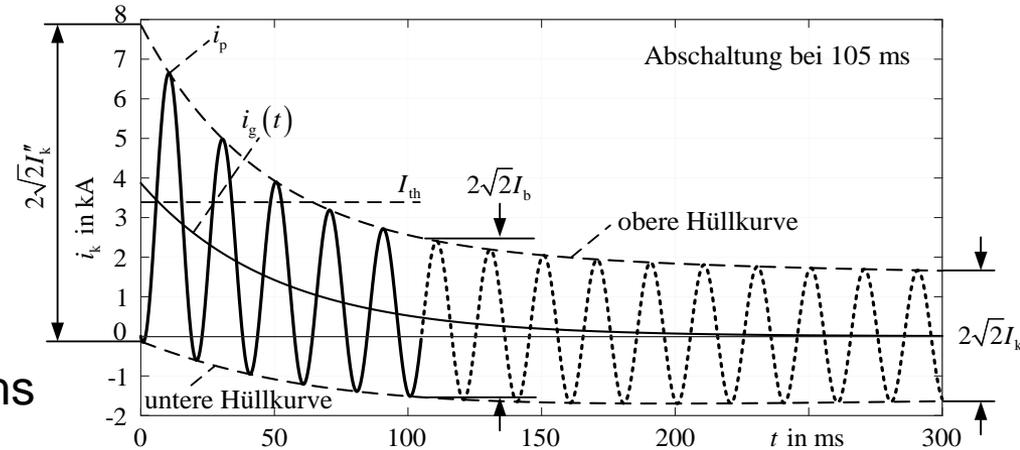


Welche grundlegenden netzbildenden Eigenschaften werden gefordert?

Beitrag zum Kurzschlussstrom

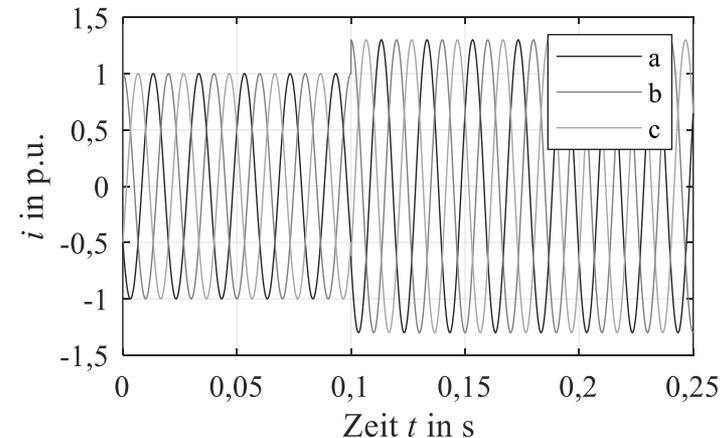
– Synchronmaschinen:

- inhärentes Verhalten mit Kurzschlussstrombeiträgen typischerweise bis zum 5-8-fachen des Bemessungsstroms



– netzbildende Wechselrichter:

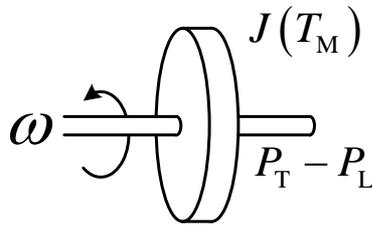
- geregeltes Kurzschlussverhalten
- bei unsymmetrischen Fehlern Verhalten für das Gegensystem vorgebar
- Einschränkung:
 Wechselrichterschutz mit Begrenzung des Kurzschlussstrombeitrags auf ca. 1,1- bis 1,3-fachen Wert des Bemessungsstroms



Welche grundlegenden netzbildenden Eigenschaften werden gefordert?

Bereitstellung von „elektrischer Trägheit“/von Momentanreserve

- Synchronmaschinen:
 - inhärentes Verhalten durch Aus-/Einspeicherung der Energie aus der rotierenden Masse mit entsprechender Drehzahlreduzierung/-erhöhung



$$P_{\text{Mom}} = -S_r T_M \frac{\dot{\Delta\omega}}{\omega_0}$$

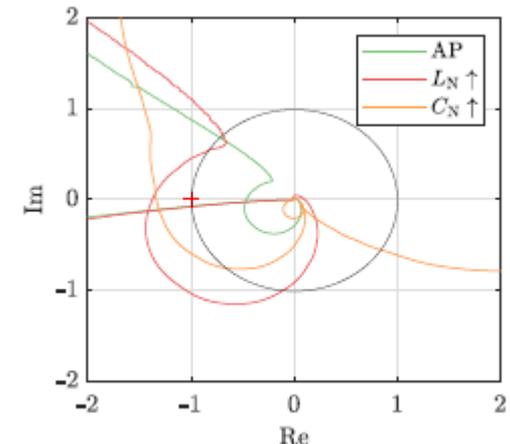
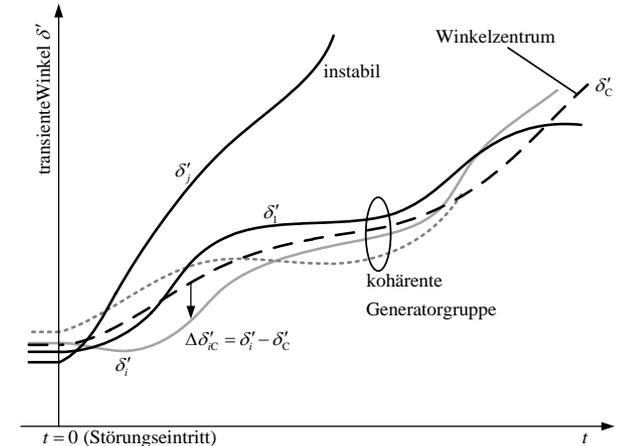
- netzbildende Wechselrichter:
 - geregeltes Verhalten
 - nur mit zusätzlichem Batteriespeicher/Energiespeicher möglich
 - Bereitstellung auch mit Elektrolyseanlagen?

Welche grundlegenden netzbildenden Eigenschaften werden gefordert?

Vermeidung von Instabilitäten

- Synchronmaschinen:
 - klassische etablierte Untersuchungsmethoden mit eindeutigen Stabilitätskriterien: statische und transiente Winkelstabilität, Frequenz- und Spannungsstabilität)
 - Stabilitätsverbesserung durch Netzausbau, Fehlererkennung, Regelung, PSS, etc. möglich

- netzbildende Wechselrichter:
 - Instabilitäten sind durch Interaktionen mit dem Netz und anderen Wechselrichtern möglich, abhängig von den Regelungen
 - aktuelle Forschung zu Stabilitätsanalysemethoden
 - Forderung nach dämpfenden Verhalten mit definierten Dämpfungsbeiträgen



Diss. Alexander Neufeld, LUH, 2023

Welche grundlegenden netzbildenden Eigenschaften werden gefordert?

Weitere Forderungen und Möglichkeiten in Bezug auf Systemdienstleistungen

- Beitrag zum Versorgungswiederaufbau durch Schwarzstartfähigkeit (Netzwiederaufbau „von unten“)
- Gegensystemregelung zur Spannungssymmetrierung
- Begrenzung der Oberschwingungseinspeisungen; ggf. aktive Kompensation von Oberschwingungen
- Dämpfung von Netzpendelungen

Netzcodes und Netzanschlussregeln, Beschaffung am Markt

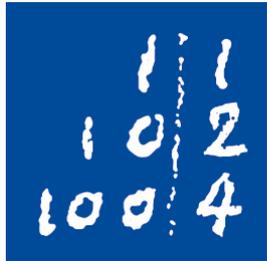
- weitere Anpassung und Spezifikation der Anforderungen an netzbildende Wechselrichter unter Berücksichtigung der ökonomischen Randbedingungen der dezentralen Erzeugungsanlagen
- Beschaffung von Momentanreserve, Blindleistung, etc. am Markt?



<https://www.vde.com/resource/blob/2302434/7a6cf4ae811e789d599c10578a5025b9/netzbildende-eigenschaften-hinweis-download-data.pdf>

Anregungen zur Diskussion

- Was wird unter „netzbildende Wechselrichter“ verstanden? Welche Anforderungen sind grundsätzlich zu erfüllen, welche können zusätzlich angeboten werden?
- Welche netzstützenden Funktionen und Systemdienstleistungen können netzbildende Wechselrichter in den NS-Netzen und allgemein in den Verteilnetzen für das Übertragungsnetz liefern?
- In welchen Netzebenen sollten zuerst netzbildende Wechselrichter eingebunden werden?
- Funktioniert ein ausgedehntes Elektroenergiesystem nur mit (netzbildenden) Umrichtern, d.h. ohne rotierende Massen? Wie viele „netzbildende“ Umrichter braucht das Netz?



Leibniz
Universität
Hannover

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Institut für Elektrische Energiesysteme
Fachgebiet Elektrische Energieversorgung
Prof. Dr.-Ing. habil. Lutz Hofmann