

EINHEITLICHE AUSLEGUNG VON E-STATCOM DER DEUTSCHEN ÜNB

Aufbau von E-STATCOM in Deutschland

Im Dezember 2020 haben die 4 ÜNB in [1] den Bedarf an netzbildenden Static Synchronous Compensator (STATCOM) Anlagen beschrieben. Dabei wurde zwischen Stufe 1 zur Bereitstellung dynamischer Blindleistung und Stufe 2 zur Bereitstellung von dynamischer Blindleistung und Momentanreserve unterschieden. Für netzbildende STATCOM der Stufe 2, eine auf Leistungselektronik basierende dynamische Blindleistungskompensationsanlage aus der Gruppe der FACTS, wird in einschlägiger Literatur (z.B. [2]) der Begriff Energy STATCOM (E-STATCOM) verwendet. Durch zusätzliche Integration eines Kurzzeitenergiespeichers werden E-STATCOM in die Lage versetzt kurzzeitige Lastschwankungen auszugleichen und damit neben Spannungsstabilisierung dem Netz auch Momentanreserve bereitzustellen.

Neben dem Kurzzeitenergiespeicher ist eine netzbildende Regelung des STATCOM eine notwendige Voraussetzung, damit ein E-STATCOM Spannungsstabilisierung und Momentanreserve bereitstellen kann. In [3] sind Ausführungen zu einer netzbildenden STATCOM der Stufe 1, in [4] und [5] sind grundlegende Eigenschaften netzbildender Anlagen beschrieben.

Die BNetzA hat in [6] einen erheblichen Momentanreservebedarf bestätigt. Im Folgenden haben die 4 deutschen Übertragungsnetzbetreiber mit der Umsetzung begonnen.

Aufgrund der großen Zahl der Anlagen und aufgrund des hohen Zeitdrucks, der durch die Energiewende entsteht, wollen die Übertragungsnetzbetreiber den Bau der Anlagen schnell und effizient gestalten. Eine Maßnahme für eine hohe Effizienz ist Standardisierung. Grundsätzlich ist Standardisierung immer ein Abwägen zwischen einem Effizienzgewinn durch Vereinheitlichung von vielen Anlagen und einem Effizienzverlust, da jede einzelne Anlage nicht mehr optimal auf die spezifischen Gegebenheiten angepasst werden kann. Aufgrund der räumlichen und technischen Gegebenheiten ist daher keine vollständige Vereinheitlichung der Anlagen möglich, die Übertragungsnetzbetreiber haben aber das Ziel einen möglichst hohen Grad an Standardisierung zu erreichen.

Standardisierungen der 4 ÜNB

Unter Berücksichtigung der technischen Gegebenheiten im Netz wurden die wichtigsten Kennzahlen der E-STATCOM Anlagen identifiziert und einheitliche Werte für zukünftige Projekte in Deutschland definiert.

Leistungskennzahlen

Tabelle 1 zeigt die definierten und vereinheitlichten Kennzahlen.

Tabelle 1: Einheitliche Kennzahlen für E-STATCOM der deutschen ÜNB

S_{Nenn} bzw. S_{Max}	Gleichzeitigkeitsgrenzen (Minimalanforderung)		Speicher in MWs @ P_2	$RoCoF_2$ in Hz/s	P_1 in MW @ 1Hz/s	P_2 in MW @ 2 Hz/s	Q_n in Mvar	T_{AP} in s	Trägheitsbeitrag in GWs
	P_g in MW	Q_g in Mvar							
300	75	290	375*	2	75	150	300	50 bezogen auf 75 MW	1,875

*Für einen Betrieb innerhalb der Frequenzgrenzen von 47,5 Hz bis 52,5 Hz

- S_{Nenn} bzw. S_{max} :
Maximale Scheinleistung, für welche die Anlage mit deren Komponenten ausgelegt ist.
- Gleichzeitigkeitsgrenzen:
Aufgrund der Umrichtertopologie, kann typischer Weise die maximale Wirkleistung und die maximale Blindleistung nicht gleichzeitig abgegeben werden, das Leistungsvermögen ist voneinander abhängig, das P-Q Diagramm der Anlage ist kreisförmig oder elliptisch. Für den netztechnischen Nutzen der E-STATCOM Anlagen ist es notwendig, dass Wirkleistung und Blindleistung gleichzeitig bereitgestellt werden. Es muss daher definiert werden bis zu welcher Grenze dies mindestens möglich sein muss.
 - P_g in MW:
Wirkleistung die gleichzeitig zur Blindleistung Q_g erbracht werden muss.
 - Q_g in Mvar:
Blindleistung die gleichzeitig zur Wirkleistung P_g erbracht werden muss.
- Speicher in MWs@ P_2 :
Die Speichergröße wird einheitlich definiert. Da bei manchen Topologien aufgrund des Innenwiderstand des Kurzzeitenergiespeicher der nutzbare Energieinhalt des Kurzzeitenergiespeicher von der Entlade- bzw. Ladeleistung abhängt, wird die Speichergröße mit einer Lade-/Entladeleistung definiert und versteht sich als Energie, die dem AC-Netz zur Verfügung gestellt werden kann.
- $RoCoF_2$:
Netzfrequenzänderung (rate of change of frequency, RoCoF) für den maximalen Momentanreserveabruf der E-STATCOM Anlage.

- P_1 :
Momentanreserveabruf für eine Frequenzänderung von 1 Hz/s gemäß der Auslegungsgrenze des implementierten Systemschutzplan der kontinentaleuropäischen Synchronzone.
- P_2 :
Momentanreserveabruf für eine Frequenzänderung von 2 Hz/s, für lokal höhere Frequenzänderung über der Auslegungsgrenze. Maximal mögliche Wirkleistung.
Aus dem Energieinhalt des Speichers und des maximalen Momentanreserveabrufs P_2 ergibt sich die maximale Bereitstellungsdauer der Wirkleistung zu $375 \text{ MWs} / 150 \text{ MW} = 2,5 \text{ s}$. Bei einem Ausgangsladezustand von 50% bei 50 Hz ergibt sich eine Lade-/Entladedauer bei 2 Hz/s von 1,25 s bis zum Erreichen von 47,5 Hz bzw. 52,5 Hz.
- Q_n in Mvar:
Nennwert der Blindleistung. Die maximal dauerhaft abgebbare Blindleistung Q_{\max} wird auf den selben Wert festgelegt.
- $T_{A,P}$ in s:
Die vorgesehene Einstellung für die Netzanlaufzeitkonstante über die der Momentanreservebeitrag festgelegt wird.
- Trägheitsbeitrag in GWs:
Trägheitsbeitrag der sich aus der Netzanlaufzeitkonstante sowie der Bezugsleistung ergibt. Für den Leistungsbezug wurde P_1 festgelegt. Daher ergibt sich der *Trägheitsbeitrag* $= \frac{1}{2} \cdot T_{AN} \cdot P_1$. Dieser Trägheitsbeitrag ist der Beitrag einer einzelnen Anlage zu dem in [6] beschriebenen Momentanreservebeitrag, der durch das Transportnetz zu erbringen ist.

Die Leistungen sind über das definierte Spannungsband für den quasistationären Betrieb bereit zu stellen.

Spannungsband für den quasistationären Betrieb

Für den Spannungsbereich werden folgende Auslegungspunkte definiert

Auslegungspunkte für Unterspannung:

1. Übererregt/Kapazitiv 300 MVar bis 360 kV, darunter bis 340 kV gemäß Stromfähigkeit, darunter Under Voltage Ride Through (UVRT)-Kennlinie.
2. Untererregt/Induktiv 300 MVar bis 380 kV, darunter bis 340 kV gemäß Stromfähigkeit oder anderer Anlagenbeschränkungen.

Auslegungspunkte für Überspannung:

3. Untererregt/Induktiv 300 MVar bis 440 kV, darüber Over Voltage Ride Through (OVRT) -Kennlinie.
4. Übererregt/Kapazitiv 300 MVar bis 420 kV, darüber bis 440 kV gemäß Spannungsgrenzen oder anderer Anlagenbeschränkungen.

Daraus ergibt sich je nach Stromtragfähigkeit und anderer Anlagenbeschränkungen ein Q-U Diagramm, das mindestens die genannten Auslegungspunkte enthält, diese Auslegungspunkte aber nicht unbedingt durch geraden verbindet, sondern entsprechend dem Anlagenvermögen ein größtmöglichen Betriebsbereich beschreibt.

Literaturverzeichnis

- [1] 50Hertz, Amprion, TenneT, TransnetBW, Notwendigkeit der Entwicklung Netzbildender STATCOM-Anlagen, 2020, Online: <https://www.netztransparenz.de/Weitere-Veroeffentlichungen/Netzbildende-STATCOM-Anlagen>
- [2] Tobias Engelbrecht et. all., STATCOM Technology evolution for tomorrow's grid: E-STATCOM, STATCOM with supercapacitor-based active power capability, IEEE Power and Energy Magazine (Volume 21), 2023, DOI: 10.1109/MPE.2022.3230969
- [3] Rasool Heydari et. all., Grid-Forming control for STATCOMs – a robust solution for networks with a high share of converter-based resources, Cigre Session Paris, 2022
- [4] 50Hertz, Amprion, TenneT, TransnetBW, Grundlegende Anforderungen an netzbildende Umrichter, 2022, Online: <https://www.netztransparenz.de/Weitere-Veroeffentlichungen/Grundlegende-Anforderungen-an-netzbildende-Umrichter>
- [5] Expert group ACPPM, Draft final report, 2023, Online: https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/public-cdn-container/clean-documents/Network%20codes%20documents/GC%20ESC/GC%20ESC%20MEETING%20DOCS/2023/ACCPM_Report_Draft_0.9_.pdf
- [6] BNetzA, Bedarfsermittlung 2021-2035 Bestätigung Netzentwicklungsplan Strom, 2022, Online: https://data.netzausbau.de/2035-2021/NEP2035_Bestaetigung.pdf