

TECHNOLOGIESPEZIFISCHE BEREITSTELLUNG VON MOMENTANRESERVE

Marc WÖSTEFELD¹, Hendrik VENNEGEERTS¹

Inhalt

Das Ziel einer klimaneutraleren Energieversorgung bedingt die Substitution der Synchronmaschinen konventioneller Kraftwerke mit erneuerbaren Energieanlagen. Daraus entsteht die Herausforderung, die Bereitstellung von Systemdienstleistungen neu zu organisieren. Insbesondere der Rückgang der Trägheit im Netz wird von den Übertragungsnetzbetreibern als eines der größten Risiken angesehen [1]. Die Netzanbindung der umrichterbasierten Anlagen mit Hilfe von netzbildenden Regelungskonzepten bietet die Möglichkeit einen Teil zur Erbringung dieser Systemdienstleistungen, speziell auch Momentanreserve (MR) in Form von (virtueller) Trägheit, beizutragen [2]. Trotz eines Branchenkonsenses zur grundlegenden Wirkungsweise und der Aufnahme in die aktuellen Entwürfe der Europäischen Netzcodes sind die Anforderungen noch nicht konkret umschrieben [3]. Für die Bereitstellung von MR liegt zudem offensichtlich eine Technologieabhängigkeit vor [4], die bei der Ausformulierung von Anforderungen zu berücksichtigen ist. Eine Bewertung der differenzierten Primärprozesse kann eine Grundlage für eine konkrete Handlungsableitung bei der Integration in verschiedene Netzebenen des Energieversorgungsnetzes bilden. Das Ziel des Papers ist die Identifikation von Einschränkungen und Potenzialen zur Erbringung von MR verschiedener umrichterbasierter Anlagentypen. Dies geschieht zuerst auf Grundlage von einfachen Modellen umrichterbasierter Erneuerbarer Energie-, Speicher- und STATCOM-Anlagen.

Methodik

Entsprechend der zu erwartenden Output-basierten Definition in Netzcodes wird nur die physikalische Möglichkeit zur Bereitstellung von MR unabhängig von dem spezifischen netzbildenden Regelungskonzept betrachtet. Ein geeignetes Bewertungsschema lässt sich um verschiedene Aspekte, bzw. Kriterien, beliebig erweitern. Für die grundsätzliche Analyse werden vorerst die Aspekte Leistungsrichtung der bereitzustellenden MR, Maximales Leitungsbetriebsdiagramm der MR in Abhängigkeit vom aktuellen Arbeitspunkt und der Dauer der Erbringung sowie der zu betrachtende Technologiegrundsatz (Batterie-, Windenergie-, Photovoltaikanlage, ...) mit evtl. Erweiterung um Speicher-, Dissipationseigenschaften.

Die Leistungsrichtung der bereitzustellenden MR stellt sicher, dass neben Speichersysteme auch andere Erzeugungsanlagen explizit eine Leistungsreduktion (negative MR) anbieten können, während eine instantane Leistungserhöhung (positive MR) nicht möglich sein kann.

Der aktuelle Arbeitspunkt (AP) ebenso entscheidend für umrichterbasierte netzbildende Anlagen, da dieser den maximalen Beitrag der MR richtungsabhängig einschränkt. Im Gegensatz zu konventionellen Kraftwerken können umrichterbasierte Anlagen auch signifikante Leistung aus dem Netz aufnehmen, vorausgesetzt die Möglichkeit der Dissipation oder Einspeicherung ist vorhanden. Beide Prozesse wie auch die Leistungsabgabe sind zudem über die technischen Grenzen des Umrichters hinaus ggf. hinsichtlich der verfügbaren Energie und damit in der Dauer einer Erbringung begrenzt.

Letztendlich muss bewertet werden, ob die untersuchte Anlage technologisch über die Fähigkeit verfügt MR bereit zu stellen. Dies hängt von der Planung und Auslegung der Anlage ab. Zusätzliche Speicherelemente können ebenso für die Bereitstellung von MR genutzt werden, wie eine erweiterte mechanische oder elektrische Auslegung. Beide Aspekte können dazu beitragen, auftretende Differenzleistungen abzuf puffern. Daher sind in der Analyse nicht nur bestehende Anlagen, sondern insbesondere mögliche Erweiterungen und Ertüchtigungen einzubeziehen,

¹ Universität Duisburg-Essen, Bismarckstr. 81, 47057 Duisburg, +49 (0)203 379 1015, marc.woestefeld@uni-due.de, +49 (0)203 379 1032, hendrik.vennegeerts@uni-due.de

Ergebnisse

Grundsätzlich ist bei umrichterbasierten Anlagen eine Überschreitung der Bemessungsströme nur in einem äußerst geringem Maße möglich, somit kann praktisch keine Bereitstellung von positiver MR bei maximaler Ausgangsleistung erfolgen. Die Reduktion (negative MR) ist jedoch möglich. Ein AP unterhalb des Anlagen-Leistungsmaximums ermöglicht eine Bandbreite der MR auch zusätzlich mit positivem Beitrag. Unterschreitet der AP den Beitrag der abzurufenden negativen MR, würde die umrichterbasierte Anlage zu einem Wirkleistungsbezug wechseln (Tabelle 1).

Tabelle 1: Möglichkeit der generellen Bereitstellung der MR in Abhängigkeit von verschiedenen AP. Der erste AP () kann zusätzlich positive MR im Leistungsband von P bis P_{max} bereitstellen. Der 3. AP (**) bezeichnet den Bezug von angebotener negativer MR bei betragsmäßig kleinerer Leistungseinspeisung. Die Leistungsbegriffe $P_{pos. MR}$ respektive $P_{neg. MR}$ bezeichnen die richtungsbedingte abzurufende MR.*

Nr.	Arbeitspunkt	Negative MR	Positive MR
1	$P > (P_{max} - P_{pos. MR})$	Ja	Nein/Teilweise*
2	$P_{neg. MR} \leq P \leq (P_{max} - P_{pos. MR})$	Ja	Ja
3	$P < P_{neg. MR}$	Ja**	Ja

Für die Erweiterung des positiven MR-Leitungsbandes im ersten AP scheint eine Überdimensionierung der Leistungshalbleiter nicht wirtschaftlich. Negative MR ruft eine Differenzleistung im Zwischenkreis hervor. Diese muss kurzzeitig eingespeichert oder alternativ in Wärme umgesetzt werden. Die Anbindung weiterer Speicherelemente oder Auslegung auf ein höheres Spannungsniveau ermöglicht bei Einspeicherung eine spätere Wiederverwendung. Die Umsetzung der Differenzleistung in Wärme ist mit Hilfe von Chopper/Crowbar-Elementen möglich, welche i.d.R. Stand der Technik sind. Der Einsatz dieser Elemente kann mit hinreichend schneller Maschinen- und Anlagenregelung minimiert werden. Am Beispiel von Windenergieanlagen (Typ 4) müssen jedoch hochdynamische Drehmomentänderungen auf das mechanische System gegeben werden. Dies resultiert wiederum in verringerter Lebenszeit oder mechanischer Überdimensionierung. Eine Kombination dieser Elemente ist ebenso möglich. Im zweiten AP wird zusätzlich die Bereitstellung positiver MR möglich, sofern zusätzliche Energie in der Anlage verfügbar ist. Des Weiteren kann bei einer Vollumrichter-Windenergieanlage zusätzliche Leistung aus dem mechanischen System bezogen werden. Analog zum ersten AP müssen auch hier Drehmomentänderungen betrachtet werden. Im dritten AP wird die Bereitstellung negativer MR nur im vollen Umfang möglich, wenn ein Leistungsbezug akzeptiert wird. Dieser ist ebenso durch die Methoden der vorherigen APs möglich. Bereitstellung positiver MR erfordert analog zum zweiten AP einen zusätzlichen Leistungsbezug aus dem Maschinenumrichter. Die Aufschlüsselung der zahlreichen technologischen Möglichkeiten zur Bereitstellung MR zeigt die Notwendigkeit zur umfassenden technologiespezifischen Untersuchung. Detailliertere Ausführungen und weitere Untersuchungen bzw. Validierungen zu weiteren umrichterbasierten Anlagentechnologien können der Langfassung entnommen werden.

Referenzen

- [1] H2020 MIGRATE Project. D1.1—Current and Arising Issues Caused by Increasing Power Electronics Penetration. https://www.h2020-migrate.eu/_Resources/Persistent/dacdf9db7dffbeb16071037ea26c2f20aac6ed46/D1.1%20summary%20and%20questionnaire%20for%20external%20stakeholders_vf.pdf (Aufgerufen 31.Okt, 2023).
- [2] Ulbig, A., Borsche, T.S., Andersson, G. "Impact of Low Rotational Inertia on Power System Stability and Operation." In Proc. IFAC Vol. 2014, 47, 7290–7297.
- [3] ACER, "Recommendation 03-2023 on reasoned proposals for amendments to the network codes on requirements for grid connection of generators and on demand connection", https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Recommendations/ACER_Recommendation_03-2023_NC_RfG_DC.pdf (Aufgerufen 12. Jan, 2024)
- [4] Matevosyan, J.; Vital, V.; O'Sullivan, J.; Quint, R.; Badrzadeh, B.; Prevost, T.; Quitmann, E.; Ramasubramanian, D.; Urdal, H.; Achilles, S.; et al. Grid-Forming Inverters: Are They the Key for High Renewable Penetration? IEEE Power Energy Mag. 2019, 17, 89–98