

VIRTUELLE SCHWUNGMASSE

Martin BOXLEITNER¹, Günther BRAUNER

Technische Universität Wien, Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft,
Gußhausstraße 25/373-1, 1040 Wien, Austria

Tel.: +43 | (0)1 | 58801 | 37301, Fax: +43 | (0)1 | 58801 | 37399

e-Mail: boxleitner@ea.tuwien.ac.at, brauner@ea.tuwien.ac.at

Web: <http://www.ea.tuwien.ac.at>

Kurzfassung:

Die Versorgung mit elektrischer Energie ist für viele Menschen heute zur Selbstverständlichkeit geworden. Jedoch entstehen, durch den immer größer werdenden Verbrauch an elektrischer Energie, die Einbindung von umrichtergekoppelten Erzeugungsanlagen, sowie die Anbindung von Anlagen mit dargebotsabhängiger Einspeisung, Probleme, welche die Qualität der Netzdienstleistung beeinflussen.

In traditionellen Erzeugungsanlagen wie etwa Wasserkraftwerken wird die Trägheit der Turbinen-Generator-Anordnung ausgenutzt, um die Frequenzelastizität zu verkleinern. Viele neue, regenerative Systeme zur Erzeugung von elektrischer Energie (z.B. Photovoltaik-Systeme, Windenergieanlagen, etc.) werden mit Hilfe von leistungselektronischen Umrichterschaltungen mit dem Netz gekoppelt und bieten so keine Möglichkeit, mechanische Schwungmassen einzusetzen.

Dieses Paper beschäftigt sich mit einem Konzept, das eine funktionale Erweiterung der leistungselektronisch angebotenen Erzeugungsanlagen darstellt, damit auch diese ihren Beitrag zur Frequenzstabilisierung leisten.

Aufgrund des mechanischen Pendants werden diese Systeme als „Virtuelle Schwungmassen“ bezeichnet.

Keywords: Frequenzstabilisierung, Frequenzelastizität, Elektrischer Speicher, Erzeuger-Verbraucher-Ungleichgewicht

1 Einleitung

Für viele Menschen ist es zu einer Selbstverständlichkeit geworden, zuverlässig mit elektrischer Energie versorgt zu werden. Durch den immer weiter steigenden Bedarf an elektrischer Energie, den Einsatz neuer, auf regenerativen Energiequellen basierenden, stark dargebotsabhängigen Technologien der Stromerzeugung und die verstärkte Anbindung von umrichtergekoppelten Einspeisern, ergeben sich Probleme, welche sich auf die Qualität der Netzdienstleistung, sowie auf die Stabilität der Netze auswirken.

¹ Jungautor

Der Mehrverbrauch an elektrischer Energie und die steigende Umweltbelastung haben zu Weiterentwicklungen von Technologien in verschiedenen Bereichen geführt, wie etwa in der Energieerzeugung. Die Verwendung von regenerativen Energiequellen hat auf der einen Seite positive Auswirkungen auf die Umweltbelastung, jedoch sind z.B. Windenergieanlagen stark dargebotsabhängig, wodurch sich die Volatilität der Erzeugungsleistung verstärkt. Dies wiederum kann sich negativ auf die Netzstabilität auswirken, da somit größere Leistungsdefizite zwischen Erzeugung und Verbrauch entstehen können.

Das Ziel der Energiedienstleistung ist es, die von der Norm definierten Werte für Netzfrequenz und -spannungsamplitude innerhalb eines gewissen Bandes um den Normwert zu halten. Abweichungen vom Normwert der Netzfrequenz ergeben sich durch ein Leistungsungleichgewicht. Um derartige Schwankungen abzufangen, benötigt man Speicher, die im Falle eines Erzeugungsdefizits die fehlende Leistung einspeisen und umgekehrt im Falle eines Erzeugungsüberhanges den Überschuss aufnehmen können.

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist es, solche Speicher für den Einsatz in Energieversorgungsnetzen, hinsichtlich der notwendigen Größe, abzuschätzen. Die technischen Anforderungen an das System sollen den Eigenschaften von derzeit verfügbaren Speichertechnologien gegenübergestellt werden. Es wird damit aufgezeigt, welche Technologien sich aus technischer Sicht für den Einsatz als Energiespeicher in Virtuellen Schwungmassen eignen. In einem weiteren Schritt soll ein Modell erstellt werden und das geforderte Verhalten mit Hilfe von dynamischen Simulationen gezeigt werden.

Das Verhalten, welches diese elektrischen Speicher aus Netzsicht haben sollen, hat im Bereich der Mechanik das Pendant der mechanischen Schwungmassen. Die rotierenden Massen der Turbinen-Generator-Anordnungen etwa bei Wasserkraftwerken dienen als Energiespeicher. Photovoltaik-Anlagen besitzen beispielsweise keine solchen Massen, da sie über Umrichterschaltungen mit dem Netz gekoppelt sind. In Netzen mit hohem Erzeugeranteil solcher Anlagen besteht daher die Notwendigkeit, eine andere Form eines Speichers vorzusehen. Aufgrund des mechanischen Gegenübers wurden die in dieser Arbeit zu untersuchende Regelmaßnahme für Umrichter mit dem Namen „Virtuelle Schwungmassen“ versehen.

1.1 Energieversorgung im Wandel

Die Strukturen der Versorgung mit elektrischer Energie haben sich im Laufe der Zeit stets weiterentwickelt und sich immer den neuen Gegebenheiten und Anforderungen angepasst. Damit ergeben sich auch immer neue Herausforderungen, die gemeistert werden müssen.

Ein Aspekt, der die Entwicklung der Energieversorgung – im speziellen die Erzeugung elektrischer Energie – in den letzten Jahren immer stärker prägt, ist das Problem der Importabhängigkeit bei fossilen Primärenergieträgern bzw. deren gesicherte Beschaffung. Es hat dies, zusammen mit einem stärkeren Bewusstsein im Bereich des Umweltschutzes und dem ständig steigenden Energieverbrauch, dazu geführt, dass immer neue Technologien entwickelt und verbessert werden, die es ermöglichen, elektrische Energie aus alternativen Energieformen zu gewinnen.

Neben einigen Vorteilen gibt es jedoch Probleme, die durch den Einsatz dieser neuen Technologien aus Sicht des Netzes entstehen:

- Diese Erzeugungsanlagen stellen keine (bzw. nur im Bereich ihrer Nennleistung) Kurzschlussleistung zur Verfügung. Der Grund dafür ist, dass Überströme die Halbleiterschalter in Umrichtern rasch zerstören. Die Verwendung von Umrichtern größerer Leistung (und damit entsprechend höheren Kurzschlussströmen) als für die Anwendung notwendig, ist aus wirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll.
- Manche dieser Anlagen beteiligen sich nicht an der Frequenzhaltung im Netz, da sie über keine Schwungmasse verfügen.
- Durch die Dargebotsabhängigkeit vieler dieser Technologien (z.B. Wind, Solar) verstärkt sich die Volatilität der Erzeugungsleistung im Netz, wodurch vermehrt Ungleichgewichte in der Energiebilanz auftreten können.

1.2 Virtuelle Schwungmassen

Das Konzept der Virtuellen Schwungmasse soll dahingehend die gleiche Wirkung als mechanische Schwungmassen aufweisen, dass sie als Zwischenspeicher in elektrischen Energienetzen plötzliche Differenzen zwischen Erzeugung und Verbrauch deckt, indem sie entweder Energie zur Versorgung beisteuern oder überschüssige Energie aufnehmen kann.

Es handelt sich in diesem Fall jedoch nicht um rotierende, mechanische Teile, sondern um Speicher für elektrische Energie, die über einen Umrichter mit dem Netz verbunden sind. Abbildung 1-1 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer ans Netz gekoppelten Virtuellen Schwungmasse. Die Energie wird in Form von elektrischer Ladung gespeichert und über den Umrichter in Wechselspannung bzw. –strom umgeformt. Ein Energieaustausch zwischen Netz und Zwischenspeicher ist in beiden Richtungen möglich.

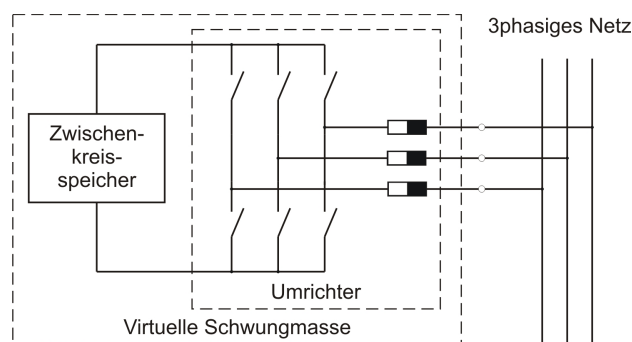


Abbildung 1-1: Prinzipieller Aufbau einer ans Netz gekoppelten Virtuellen Schwungmasse in schematischer Darstellung

Die Notwendigkeit des Einsatzes solcher Zwischenspeicher ist vor allem dann gegeben, wenn Netze mit einer geringen installierten Leistung (bezogen auf den größtmöglichen Lastsprung) betrieben werden sollen, da die Frequenzstabilität schlecht wäre und es eine sehr schnelle Leistungsregelung erforderlich machen würde, um bestimmte Frequenzgrenzen einhalten zu können. Dies tritt speziell bei kleinen Netzen auf. Für einen stabilen Netzbetrieb ist es notwendig, dass auch der Ausfall der größten Erzeugungseinheit abgefangen werden kann. Daraus ergibt sich eine vergrößerte Reserveleistungshaltung. Die im Netz verfügbaren Typen von Erzeugungsanlagen sind ebenfalls von entscheidender Bedeutung. Anlagen, die über Umrichter an das Netz geschaltet sind (z.B. drehzahlvariable

Wasser- oder Windkraftwerke, Photovoltaikanlagen, etc.), verfügen über keine mechanische Schwungmasse. Dies wirkt sich nachteilig auf die Frequenzstabilität im Netz aus.

Das Problem einer fehlenden Schwungmasse macht sich speziell zu Zeiten bemerkbar, in denen die Netzlast gering ist und das Netz vor allem mit umrichtergekoppelten Erzeugungsanlagen gespeist wird. Der Energiebedarf wird größtenteils von den regenerativen Quellen gedeckt, weshalb nur noch wenige echte Schwungmassen (in Turbinen-Generator-Anordnungen) am Netz hängen. Dies kann zu Problemen führen, wenn Leistungsdefizite auftreten, da etwa die Frequenzelastizität durch das Fehlen von Schwungmassen steigt oder durch die geringere Kurzschlussleistung die Spannungshaltung verschlechtert wird. Die dargestellte Problematik tritt bei kleinen Inselnetzen (wenige Einspeiser am Netz) entsprechend schneller auf, als etwa im UCTE-Netz.

2 Auslegung

Es soll gezeigt werden, welche Größe/Kapazität von Speicher notwendig ist, um mechanische durch Virtuelle Schwungmassen ersetzen zu können. Grundlage dafür sind die Rahmenbedingungen der UCTE, welche in heute betriebenen Netzen gelten müssen. Zudem soll die notwendige Umladezeit des Speichers ermittelt, und sich aufgrund ihrer Eigenschaften eignende Speichertechnologien ausgewählt werden.

2.1 Dimensionierung des Zwischenkreisspeichers

Es wurde ein erlaubtes Frequenzband von $\pm 5\%$ um die Nennfrequenz von 50Hz für die folgende Untersuchung unterstellt. Weiters soll eine Anlaufzeitkonstante T_A von 10s verwendet werden, da dies ein typischer Mittelwert für klassische, zentrale Anlage ist.

Es soll im Folgenden abgeschätzt werden, wie viel Speicheräquivalent für Schwungmassen, bezogen auf die installierte Leistung notwendig ist, um den unterstellten Rahmenbedingungen genügen zu können.

Die Angabe einer Trägheitskonstante J hat wenig Aussagekraft, wenn ein Bezug mit den Netzverhältnissen (z.B. der installierte Leistung) hergestellt werden soll. Deshalb wird anstelle der Trägheitskonstante die Anlaufzeitkonstante T_A eingeführt. Diese ist definiert als jene Dauer, die ein leerlaufender Generator-Turbinen-Satz unter Einwirkung seines Nennmoments M_N benötigt, um aus dem Stillstand auf seine Nenndrehzahl ω_N zu beschleunigen. Während des Vorganges wird eine konstante Winkelbeschleunigung $\dot{\omega}_N$ vorausgesetzt.

Somit ergibt sich aus der Definition der Anlaufzeitkonstanten samt Einschränkungen

$$\omega_N = \frac{M_N}{J} \int_0^{T_A} dt = \frac{M_N}{J} \cdot T_A$$

$$\Rightarrow T_A = \omega_N \cdot \frac{J}{M_N}$$

Mit dem Zusammenhang

$$P_N = \omega_N \cdot M_N$$

zwischen Nennleistung P_N , Nennmoment M_N und Nennwinkelgeschwindigkeit ω_N ergibt sich

$$T_A = \omega_N \cdot \frac{J}{M_N} = \omega_N^2 \cdot \frac{J}{M_N \cdot \omega_N} = \omega_N^2 \cdot \frac{J}{P_N}$$

$$\Rightarrow J = \frac{T_A \cdot P_N}{\omega_N^2}$$

Ist in einer Turbinen-Generator-Anordnung das Antriebsmoment gleich dem Gegenmoment, so ergibt sich eine Winkelbeschleunigung von Null. Tritt jedoch ein Leistungsdefizit ΔP auf, so ergibt sich eine Winkelbeschleunigung,

$$\dot{\omega} = \frac{M}{J} = \frac{M \cdot \omega_N^2}{T_A \cdot P_N} = \frac{\omega_N \cdot \Delta P}{T_A \cdot P_N}$$

Da ein Bereich von $\pm 5\%$ um die Nennfrequenz betrachtet wird, ist eine Linearisierung der Gleichung um den Nennpunkt möglich,

$$\frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{\omega_N \cdot \Delta P}{T_A \cdot P_N} \text{ bzw. } \frac{\Delta f}{\Delta t} = \frac{f_N \cdot \Delta P}{T_A \cdot P_N}$$

Aus der getroffenen Definition für die Leistungsdifferenz ΔP ergibt sich:

- $\Delta P < 0$: Es gibt ein Erzeugungsdefizit bzw. einen Verbrauchsüberschuss. Demgemäß ergibt sich lt. obiger Gleichung ein negativer Frequenzgradient bzw. ein Absinken der Frequenz über der Zeit.
- $\Delta P > 0$: Es gibt einen Erzeugungsüberschuss bzw. ein Verbrauchsdefizit. Daher ergibt sich für diesen Fall ein positiver Frequenzgradient bzw. ein Ansteigen der Frequenz mit der Zeit.

Auf Basis dieser Herleitung ist eine Abschätzung der, im Zwischenkreis zu speichernden, Energie in Abhängigkeit der installierten Erzeugerleistung möglich,

$$\Rightarrow \frac{\Delta P}{P_N} \cdot \Delta t = \frac{T_A}{f_N} \cdot \Delta t = \frac{10s}{50Hz} \cdot (52,5Hz - 47,5Hz) = 1 \frac{kWs}{kW_{inst}}$$

Für eine installierte Leistung von $1kW$ muss unter den genannten Vorgaben eine Energie in der Höhe von $1kWs$ im Zwischenkreis gespeichert werden, um diese im Falle eines Erzeugungsmangels in das Netz einspeisen bzw. um diese im Falle eines Erzeugungsüberschusses aus dem Netz aufnehmen zu können, um so das Netz zu stützen.

2.2 Abschätzung des Umladezeitbereiches

Um für den Einsatz in Virtuellen Schwungmassen geeignet zu sein, muss ein Speicher in der Lage sein, sich innerhalb einer bestimmten Zeitspanne umzuladen, um so die notwendige Leistung bereitstellen zu können. Die Lade- bzw. Entladeleistung muss also in einem

bestimmten Verhältnis zum Energieinhalt des Speichers stehen. Diese Dauer wird in der vorliegenden Arbeit als Umladezeitbereich bezeichnet.

Die Abschätzung erfolgt anhand zweier Extrembeispiele, um so einen zulässigen Bereich festlegen zu können. Als Basis dient die erforderliche Leistungsänderungsgeschwindigkeit der Generatoren für die Primärregelung. Daraus lässt sich die notwendige Ausregelzeit bestimmen.

Für das erste Extrembeispiel eines kleinen Inselnetzes² ergibt sich eine Ausregelzeit von 100s. Innerhalb dieser Zeit muss durch die Primärregelung das Leistungsdefizit ausgeglichen sein, um den erlaubten Frequenzbereich nicht zu verlassen. Durch die Verwendung von Virtuellen Schwungmassen kann im Netz die geforderte Anlaufzeitkonstante sichergestellt werden. Der aktuelle Speicherinhalt der Schwungmasse ist proportional zur aktuellen Netzfrequenz. Beim Erreichen des unteren Frequenzbandgrenzwertes erreicht der Energieinhalt des Zwischenkreisspeichers sein Minimum.

Das zweite Extrembeispiel behandelt das UCTE-Netz³. Es ergibt sich hierfür eine Ausregelzeit von 250s. Der höhere Wert im Vergleich zum Inselnetz ist damit zu begründen, dass der relative Lastsprung hier wesentlich geringer ist, weshalb die Anforderungen bzgl. der Umladezeit im großen Netz geringer sind.

Für die Anwendbarkeit einer Speichertechnologie in einer Virtuellen Schwungmasse hat dies nun folgende Konsequenzen: Der Speicher muss in der Lage sein, sich mindestens innerhalb diese Ausregelzeit (oder kürzer) vom halbvollen Ladezustand (entspricht der Ladung bei 50Hz ; bei $52,5\text{Hz}$ ist der Speicher voll) bis auf seinen Minimalwert (bei $47,5\text{Hz}$) entladen zu können. Für eine vollständige Umladung ist die doppelte Zeitspanne einzuhalten.

2.3 Energiespeichertechnologien

Um für den Einsatz als Zwischenkreisspeicher in Virtuellen Schwungmassen in Frage zu kommen, müssen Speicher für elektrische Energie folgende Eigenschaften aufweisen:

- Lebensdauer/Zyklenzahl: Virtuelle Schwungmasse werden eingesetzt, um Leistungsdefizite im Energienetz kurzfristig zu decken oder Energieüberschüsse aus dem Netz aufzunehmen. Da solche Bilanzabweichungen stets im Netz auftreten, kommt es zu einem kontinuierlichen Energieaustausch zwischen Netz und Schwungmasse. Aus diesem Grund ist es sehr wichtig für die eingesetzte Speichertechnologie, dass sie eine sehr hohe Zyklenzahl aufweist, um so über lange Zeiträume in Verwendung bleiben zu können.

² 200 Haushalte mit je 500W mittlerer Leistung, installierte Leistung 250-500kW, max. Leistungssprung 2-3,6kW

³ Installierte Leistung 540GW, max. Leistungssprung 2GW

- Ansprechzeit: Für die betrachtete Anwendung ist es notwendig, dass der eingesetzte Speicher in sehr kurzer Zeit nach der Anforderung seine Leistung zur Verfügung stellen kann. Die Ansprechzeit soll daher so kurz als möglich sein.
- Zeitbereich: Der oben abgeschätzte Umladezeitbereich fordert eine Zeitspanne (200-500 Sekunden), in der die Virtuelle Schwungmasse frequenzstabilisierend in das Netz einzugreifen hat. Innerhalb dieser Zeit muss der Speicher in der Lage sein, sich umzuladen. Der Zeitbereich hängt somit direkt mit der Leistungsfähigkeit des Systems zusammen.

Neben den oben angeführten, wesentlichen technischen Anforderungen an den Speicher in Virtuelle Schwungmassen gibt es einige weitere Punkte, die bei der Auswahl einer Technologie in Betracht zu ziehen sind: (Investitions-)Kosten, Energie- und Leistungsdichte, geringer Wartungsaufwand, weiter Betriebstemperaturbereich, etc.

In Tabelle 2-1 sind die wesentlichen Anforderungen an die Speichertechnologie für den Einsatz in Virtuellen Schwungmassen (VSM) mit den Eigenschaften von derzeit verfügbaren Technologien zusammengefasst und gegenübergestellt.

	VSM	Elko	Supercap	SMES	Akkus	Schwungrad
Zyklenzahl	möglichst hoch	100 Mio.	500.000	1 Mio.	einige 1000	1 Mio.
Ansprechzeit	0s	0s	0s	einige 10ms	0s	einige ms
Umladezeit	< 200-500s	0,01-0,1s	0,1s-min	1s	einige min-h	einige s-min

Tabelle 2-1: Gegenüberstellung der Anforderungen für Speicher in Virtuellen Schwungmassen und Eigenschaften von derzeit verfügbaren Speichertechnologien

Die Gegenüberstellung zeigt, dass als Speichertechnologie in Virtuellen Schwungmassen Kondensatoren, Supercaps, supraleitende magnetische Energiespeicher (SMES) und moderne Schwungradspeicher in Frage kommen. Der Einsatz von Akkumulatoren alleine ist aufgrund der geringen Zyklenzahl und des langen Zeitbereiches nicht sinnvoll. In Hybridspeichersystemen (d.h. ein System bestehend aus mehreren, verschiedenen Speichertechnologien) könnten in Verbindung mit den oben genannten Technologien eingesetzt werden, um länger Energie bereitstellen zu können.

3 Modellierung

Für die Modellierung und anschließende Simulation wurde das Softwaretool DYMOLA der Firma Dynasim verwendet.

Abbildung 3-1 zeigt den prinzipiellen Aufbau des Modells der Virtuellen Schwungmasse mit seinen Submodulen.

Die Basis für das Regelkonzept ist eine dreiphasige Frequenzmessung am Anschlusspunkt der Virtuellen Schwungmasse. Da das System auf Änderungen der Netzfrequenz (und den damit verbundenen Ungleichgewichten zwischen Erzeugung und Verbrauch) reagieren soll, ist es notwendig, aus der gemessenen Netzfrequenz den Frequenzgradienten durch Differenzieren zu bilden.

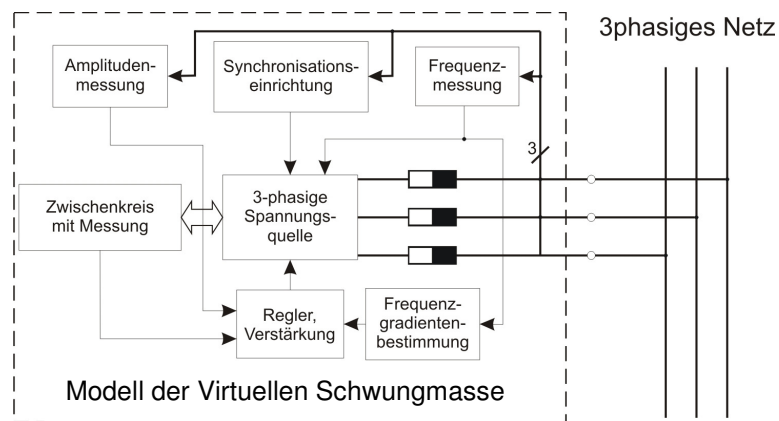


Abbildung 3-1: Prinzipieller Aufbau des Modells der Virtuellen Schwungmasse

Wird nun eine Frequenzänderung detektiert, so muss entweder Leistung an das Netz abgegeben werden (Frequenzabsenkung bzw. negativer Frequenzgradient) oder Leistung aus dem Netz aufgenommen werden (Frequenzerhöhung bzw. positiver Frequenzgradient). Um dies zu erreichen, wird eine interne Spannung \underline{U}_{VSM} nach Betrag und Phase (relativ zur Netzspannung \underline{U}_{Netz}) so eingestellt, dass diese im Zusammenspiel mit der Netzspannung am ohmsch-induktiven Innenwiderstand einen Spannungsabfall ΔU hervorruft, der einen Wirkstrom in das bzw. aus dem Netz erwirkt (siehe Abbildung 3-2).

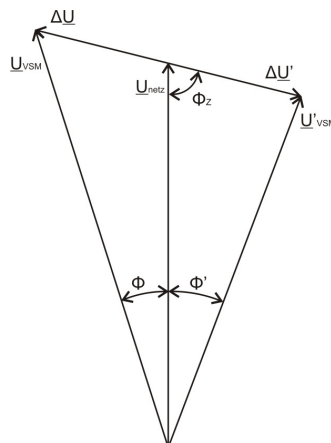


Abbildung 3-2: Zeigerdiagramm: Prinzip der Regelung der Virtuellen Schwungmasse

Aus regelungstechnischer Sicht hat das System der Virtuellen Schwungmasse eine Proportionalcharakteristik. Der Wert der abgegebenen bzw. aufgenommenen Leistung ist direkt proportional zum Frequenzgradienten.

Weitere Submodule sind die Synchronisationseinrichtung, welche beim Anschalten des Systems an das Netz in Aktion tritt, sowie eine Amplitudenmessung der Netzspannung, die als Eingangsgröße für die Regelung der internen Spannung dient. Im Zwischenkreis befindet sich der elektrische Energiespeicher, dessen aktueller Ladezustand ständig gemessen wird, da sich daraus physikalische Grenzen für die Regelung ergeben.

4 Dynamische Simulation

Als Testumgebung wurde ein Modell erstellt, das neben der dem Submodell der Virtuellen Schwungmasse auch einen herkömmlichen permanentmagneterregten Synchrongenerator sowie fixe und variable Lasten enthält, dargestellt in Abbildung 4-1.

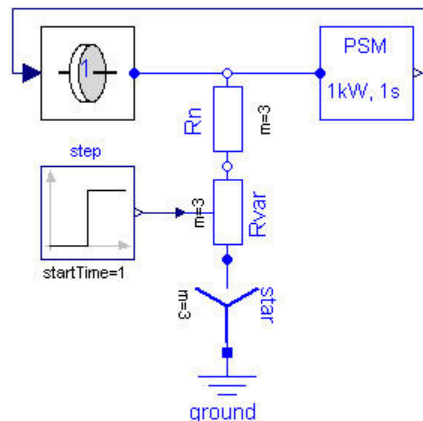


Abbildung 4-1: Modell der Testumgebung mit Virtueller Schwungmasse, PSM sowie variablen und fixen Lasten

Die Last wurde so eingestellt, dass im stationären Betrieb die Erzeugung gleich dem Verbrauch der elektrischen Energie ist, und die Nennfrequenz im Netz vorliegt. Durch eine sprungförmige Laständerung war es nun möglich ein zwischenzeitliches Ungleichgewicht herzustellen, weshalb es zu einer Abweichung von der Nennfrequenz kommt.

Abbildung 4-2 stellt die Frequenzverläufe zweier Netzanordnungen gegenüber. Die blaue Kurve (1) stelle den Verlauf im Netz mit PSM und Virtueller Schwungmasse dar, die rote Kurve (2) der Frequenzverlauf im Netz mit PSM, aber ohne Virtueller Schwungmasse. Es ist deutlich zu erkennen, dass durch Einsatz des entwickelten Systems die Elastizität der Frequenz gesenkt werden konnte. Es wird wohl der gleiche stationäre Endwert der Frequenz erreicht, jedoch mit gänzlich unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Somit bleibt übergeordneten Reglern in Netzen mit Virtuellen Schwungmassen mehr Zeit, um auf Frequenzabweichungen reagieren zu können und diese durch entsprechende Maßnahmen zu beseitigen. Es erhöht sich damit die Stabilität in solchen Netzen.

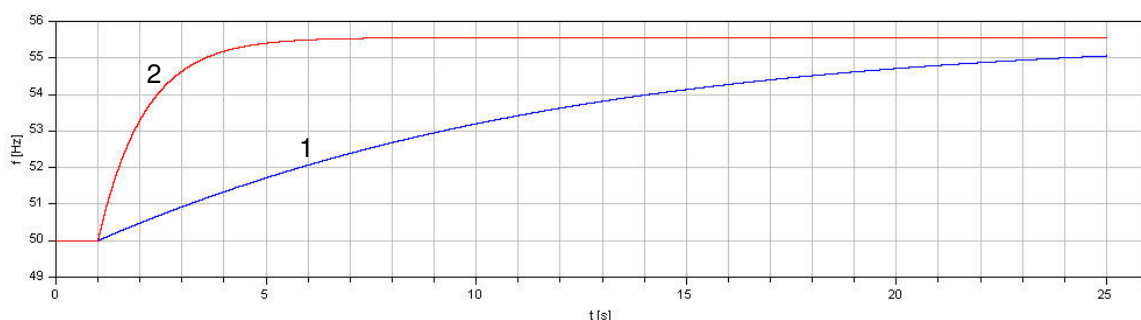


Abbildung 4-2: Frequenzverläufe im Netz mit Generator und Virtueller Schwungmasse (blaue Kurve – 1) bzw. ohne Virtuellen Schwungmasse (rote Kurve – 2)

5 Zusammenfassung und Ausblick

Durch den immer weiter steigenden Bedarf an elektrischer Energie, den Einsatz neuer, auf regenerativen Energiequellen basierenden, stark dargebotsabhängigen Technologien der Stromerzeugung und die verstärkte Anbindung von umrichtergekoppelten Einspeisern (ohne mechanische Schwungmasse), ergeben sich Probleme, welche sich auf die Qualität der Netzdienstleistung, sowie auf die Stabilität der Netze auswirken.

Sind nun nur wenige Schwungmassen im Netz, so wirken sich Laständerungen stärker auf die Frequenzänderung aus. Um die Frequenzelastizität zu verringern, und damit die Frequenzstabilität zu erhöhen, wurde in der vorliegenden Arbeit ein Konzept untersucht, das die Wirkung einer mechanischen Schwungmasse auf ein elektrisches System abbildet. Aufgrund des mechanischen Pendants werden diese Systeme als „Virtuelle Schwungmassen“ bezeichnet.

Es handelt sich dabei um Speicher für elektrische Energie, welche über einen Umrichter mit dem Netz gekoppelt sind. Die Anforderungen (hohe Zyklenzahl, kurze Ansprechzeit, geringe Lade-/Entladedauer) wurden den Eigenschaften von aktuell verfügbaren Systemen zur Speicherung von elektrischer Energie gegenübergestellt. Es hat sich gezeigt, dass Kondensatoren, Supercaps, supraleitende magnetische Energiespeicher und Schwungradspeicher geeignet sind, um als Speicher für Virtuelle Schwungmassen eingesetzt zu werden.

Die Regelung basiert darauf, dass Frequenzänderungen im Netz mit Hilfe des Differenzquotienten der Netzfrequenz erkannt werden. Je nach Größe der Änderung, wird die innere Schwungmassenspannung nach Betrag und Phase relativ zur Netzspannung verändert, wodurch eine Differenzspannung entsteht, die am ohmsch-induktiven Innenwiderstand des Systems abfällt und so einen Energiefluss erzwingt.

Durch charakteristische Systemanalysen wurde die deutliche Verbesserung des dynamischen Verhaltens der Netzfrequenz in Netzen mit Virtuellen Schwungmassen gegenüber Systemen ohne diese stabilisierenden Einrichtungen bestätigt.

In einem nächsten Schritt sollte das Modell der Virtuellen Schwungmasse in ein größeres System mit verschiedenen Einspeisern und Verbrauchern integriert und im Verbund simuliert werden. Darauf aufbauend könnte dieses Konzept zur Stabilisierung in Energieversorgungsnetzen in die Realität umgesetzt werden, um so auch die Wirkung in realen Netzen zeigen zu können.

Literatur

- [1] Boxleitner, Martin: Auslegung, Modellierung und dynamische Simulation von Virtuellen Schwungmassen zur Stabilisierung in Energieversorgungsnetzen, Diplomarbeit, EAEW, TU-Wien, 2008
- [2] Brauner, Günther: Energieversorgung, Skriptum, EAEW, TU-Wien, 3. Auflage, 2006
- [3] Raschbacher, Franz: Kraftwerks- und Netzregelung, Skriptum, EAEW, TU-Wien, 2000