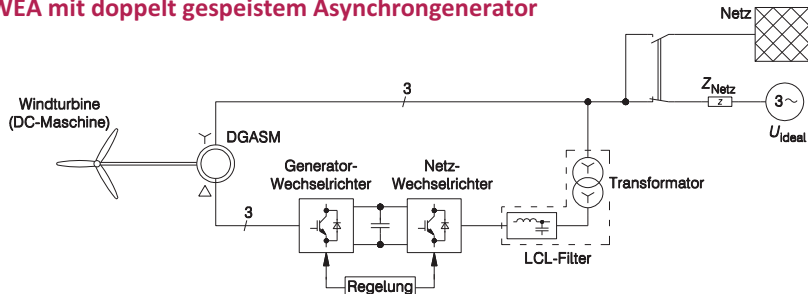
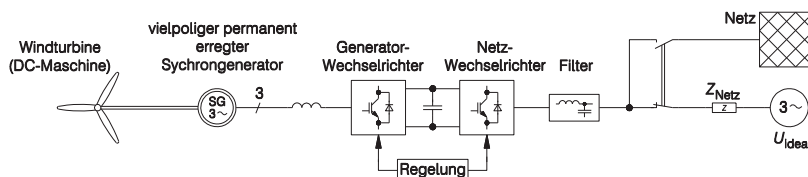


Für den Anschluss von Windenergieanlagen (WEA) an das öffentliche Energieversorgungsnetz müssen eine Reihe von technischen Anforderungen erfüllt werden. Dazu gehören die Einhaltung von Grenzwerten für Oberschwingungen sowie Bedingungen für den Netzbetrieb. Zwei besonders häufig in Windenergieanlagen eingesetzte Generatortypen arbeiten mit einem doppelt gespeisten Asynchrongenerator (DGASM) bzw. mit einem Synchrongenerator (SG). Ihr Verhalten am Netz wird mithilfe von Prüfständen untersucht.

WEA mit doppelt gespeistem Asynchrongenerator



WEA mit permanent erregtem Synchrongenerator



Aufbau der Prüfstände

- DC-Maschine:
 - $P_n = 23 \text{ kW}$
 - Generierung der Windmomente
 - regelbar in Drehzahl und Moment
 - bildet skalierte M-n-Kennlinie einer realen WEA nach
- DGASM:
 - $P_n = 5 \text{ kW}$, $n_{syn} = 1500 \text{ min}^{-1}$
 - Stator direkt mit dem Netz verbunden
 - Rotor über Wechselrichter netzgekoppelt
 - drehzahlvariabler Betrieb möglich
 - Drehzahlbereich von $1200 \text{ min}^{-1} - 1800 \text{ min}^{-1}$
- SG:
 - $P_n = 8,8 \text{ kW}$, Polpaarzahl $p = 10$
 - permanent erregt
 - durch Vollumrichter vom Netz entkoppelt
 - Drehzahlbereich von $0 \text{ min}^{-1} - 350 \text{ min}^{-1}$
- Umrichter:
 - $U_n = 400 \text{ V}$, $I_{max} = 20 \text{ A}$, max. Pulsfrequenz = 15 kHz
 - IGBT-Wechselrichter mit Spannungszwischenkreis
- Netzanschluss:
 - reales oder ideales Niederspannungsnetz
- reales Netz:
 - Asymmetrisches, Oberschwingungsbehaftetes Niederspannungsnetz mit zeitveränderlichen Netzimpedanzen
- ideales Netz:
 - 3-phasige Spannungsquelle
 - $P_n = 15 \text{ kW}$, rückspisefähig bis zu $P = P_n / 3$
 - Emulation aller Spannungsverläufe (z. B. Harmonische, Asymmetrien, Spannungseinbrüche)
 - Normimpedanz Z_{Netz} nach EN 6100-3 zur Nachbildung der Netzimpedanz für die Beurteilung von Stromharmonischen und Flickern

Regelung der Prüfstände

- Aktuatoren:
 - Sollwertvorgabe für die DC-Maschine
 - Ansteuerung der IGBT's in den Wechselrichtern
- Sensoren:
 - Messung von Strom, Spannung, Winkelposition, Drehzahl und Drehmoment
- Dspace-System:
 - Eigenständiges Prozessorboard als Schnittstelle zwischen Prüfstand und PC (hardware-in-the-loop)
 - A/D- und D/A-Umsetzung der Mess- und Steuersignale
 - Erzeugung der Pulssignale für die IGBT-Ansteuerung nach Vorgabe durch den PC
- Matlab/Simulink:
 - Implementierung der Regelung auf dem PC
 - Erzeugung der Pulsmuster (PWM mittels Raumzeiger)
 - Umsetzung des Simulink-Regelmodells in Echtzeit

Untersuchungen

- Anlagenverhalten am idealen symmetrischen Niederspannungsnetz
 - Übertragung der Harmonischen vom Rotor auf den Stator in DGASM
 - Untersuchung der Harmonischen in Abhängigkeit vom Verfahren zur Pulsmustergenerierung sowie der Pulsfrequenz
- Anlagenverhalten am realen Niederspannungsnetz:
 - Einfluss von Netzasymmetrien und Harmonische auf den Regelalgorithmus
 - Abhängigkeit der geforderten symmetrischen Leistungseinspeisung von der Netzqualität