

Regelverfahren für den Netz- und den Inselbetrieb eines Kleinwasserkraftwerks mit Asynchrongenerator

Yulong Huang, Hartmut Mrugowsky

1. Einleitung

Kleinwasserkraftanlagen für Netzbetrieb werden vorzugsweise mit Asynchrongeneratoren betrieben. Die Generatoren werden dabei direkt mit dem Netz gekoppelt und mit praktisch konstanter Drehzahl betrieben. Für die hydraulische Maschine ist diese „Zwangsjacke“ mitunter von Nachteil, da sich insbesondere bei unregelmäßigem Turbinen der optimale Wirkungsgradbereich mit sinkendem Durchfluss zu niedrigeren Drehzahlen verschiebt. Deswegen sind solche Anlagen nicht in der Lage, bei naturbedingt schwankender Fallhöhe kontinuierlich und optimal am Punkt maximaler Leistung zu arbeiten. Außerdem ist ein normgerechter Inselbetrieb mit solchen sehr einfachen und im Netzbetrieb bewährten Systemkonfigurationen nicht möglich.

Durch Einschaltung eines modernen mikrorechnergesteuerten IGBT-Umrichters zwischen Generator und Netz können Kleinwasserkraftanlagen mit Asynchrongenerator und unregelmäßigem Turbinen einerseits bei Netzbetrieb in Abhängigkeit vom Wasserdargebot automatisch und kontinuierlich am Punkt maximaler Leistung betrieben werden und andererseits bei Inselbetrieb unter auch unsymmetrischen, veränderlichen Lastbedingungen 3-phasig-symmetrische Spannungen mit konstanter Frequenz und Amplitude erzeugen.

2. Konfiguration der Anlage

Bild 1 zeigt das Prinzipschaltbild einer solchen Anlage. Die Ständerwicklung des Asynchrongenerators ist mit dem Stromrichtersystem, bestehend aus Pulsleichrichter (PGR), Gleichspannungszwischenkreis und Pulswechselrichter (PWR), verbunden. Der Wechselrichter aus-

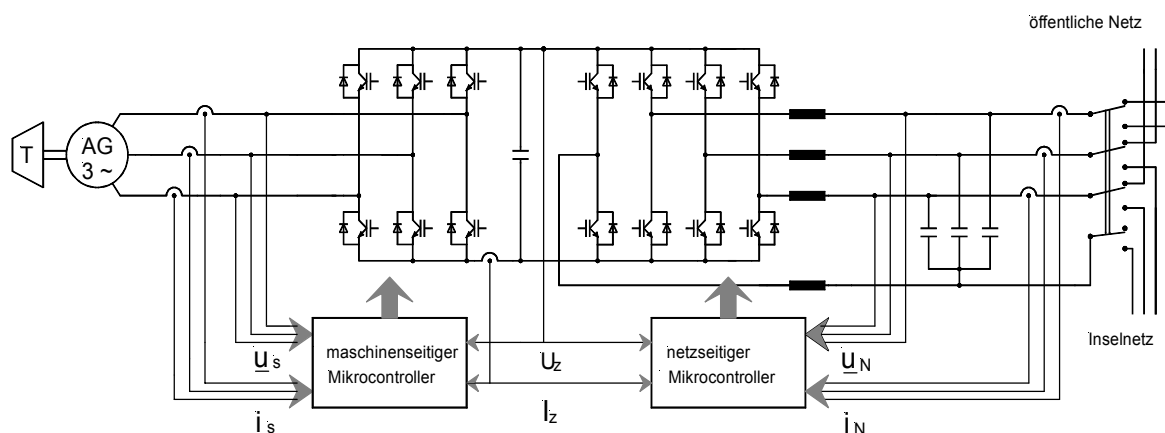


Bild 1: Konfiguration der Gesamtanlage

gang speist über ein Filter 3-strängig in das als symmetrisch vorausgesetzte öffentliche Netz bzw. auf die ggf. auch unsymmetrische Belastung des Inselnetzes, wobei dann über einen vierten Pulswechselrichter-Brückenweig die Nullkomponente des Netzstromes so geregelt wird, dass die Strangspannungen ein symmetrisches Dreiphasensystem bilden.

3. Regelungsstrukturen für Netzbetrieb

Die Regelung des maschinenseitigen Pulsleichrichters soll bewirken, dass sich eine für die Turbine optimale Drehzahl eingestellt, die Wirkleistung in den Zwischenkreis eingespeist und

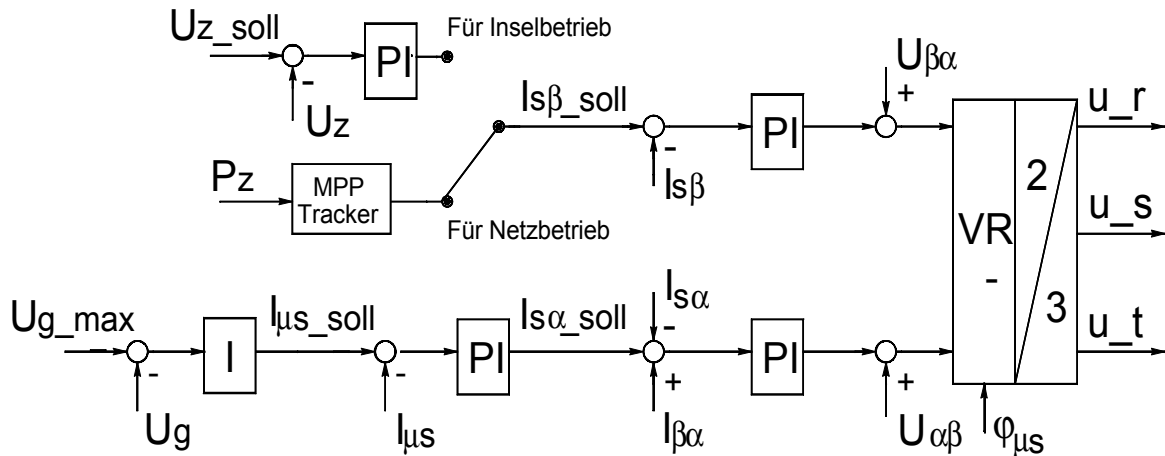


Bild 2: Regelungsstruktur des maschinenseitigen Stromrichters für Netz- und Inselbetrieb

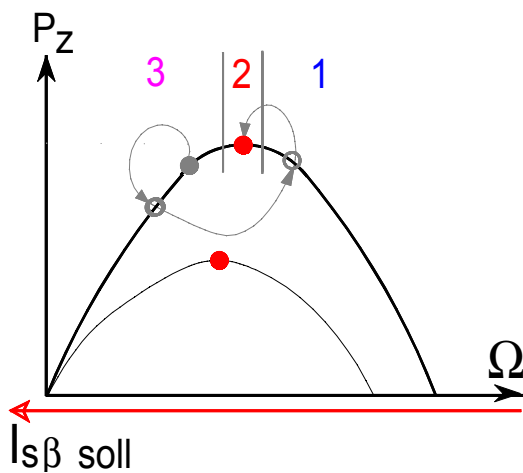


Bild 3: Suchvorgang für MPP

gleichzeitig die erforderliche Blindleistung für den Generator geliefert wird. Um zu dynamisch hochwertigen Regelungen von Asynchrongeneratoren zu gelangen, wird das Ständerflussorientierungsregelverfahren eingesetzt. Das Regelungsschema (Bild 2) enthält einen Regler für die Drehmomentkomponente und einen Regler für die Magnetisierungskomponente des Ständerstromes. Letzterem ist ein Ständermagnetisierungsstromregler überlagert, dessen Sollwert durch einen Spannungsbegrenzer erzeugt wird, der im Grunddrehzahlbereich einen konstanten Ständerfluss und im Feldschwächbereich eine konstante Spannung gewährleistet. Die Suche des für den optimalen Arbeitspunkt

(Leistungsmaximum) erforderlichen Sollwertes der drehmomentbildenden Stromkomponente übernimmt ein MPP-Tracker. Bild 3 zeigt den Suchvorgang für das Leistungsmaximum.

Um die an der Turbine verfügbare (maximale) Leistung möglichst vollständig über den Zwischenkreis ins öffentliche Netz einzuspeisen, wird über den netzseitigen Stromrichter die Zwischenkreisspannung konstant gehalten und der Blindstrom auf Null ($\cos\varphi=1$) geregelt.

4. Regelungsstrukturen für Inselbetrieb

Im Bild 2 wird der Unterschied zwischen die Regelungsstrukturen des maschinenseitigen Stromrichters für Netzbetrieb und Inselbetrieb gezeigt. Statt des MPP-Trackers erzeugt nun eine überlagerte Zwischenkreisspannungsregelung den Sollwert für die drehmomentbildende Ständerstromkomponente. Über die Regelung der Zwischenkreisspannung auf einen konstanten Wert wird erreicht, dass der Asynchrongenerator stets die Wirkleistung liefert, die gerade von Inselnetz benötigt wird.

Nach Bild 3 kann die für eine bestimmte Inselnetzbelastung erforderliche Wirkleistung von der Turbine durch 2 Arbeitspunkte, links und rechts vom Maximum, eingestellt werden. Aus Stabilitätsgründen und zur Minimierung der Verluste in der Wicklungen des Generators sollte der Arbeitspunkt auf der rechten Seite der Kurven zwischen dem Punkt der maximalen Leistung und dem Leerlaufpunkt verwendet werden. Dieser Arbeitspunkt muss durch den überlagerten Zwischenkreisspannungsregler gefunden werden.

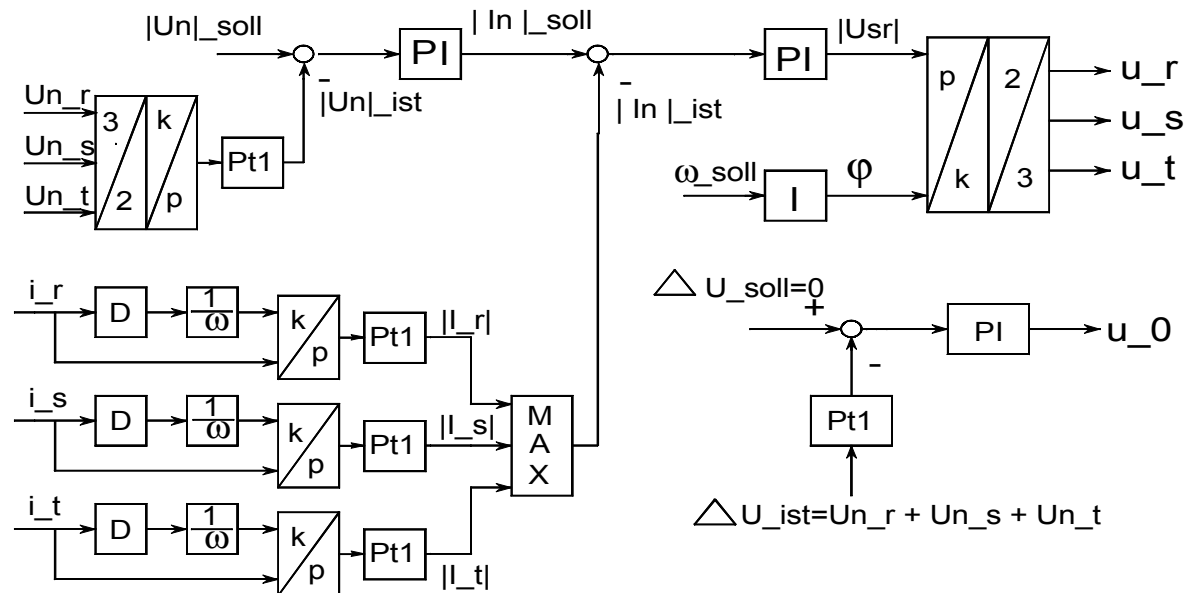


Bild 4: Regelungsstruktur des netzseitigen Stromrichters für Dreiphasen-Vierleiter-Inselnetze

Beim Inselbetrieb soll die Regelung des netzseitigen Pulswechselrichters die Amplitude und die Frequenz der Netzspannung konstantgehalten. Bild 4 zeigt die Regelungsstruktur des netzseitigen Stromrichters für ein Dreiphasen-Vierleiter-Inselnetz. Um 3-phasig-symmetrische Spannungen bei 3-phasig-unsymmetrischen Belastungen zu verwirklichen, wird außer der Kaskadenregelung, in der der Spannungsamplitudenregler dem maximalen Stromamplitudenregler überlagert ist, für den vierten IGBT-Zweig zusätzlich ein Symmetrieregler eingesetzt, der die Summe der 3 Strangspannungen ($\Delta U = U_{n_r} + U_{n_s} + U_{n_t}$) bei 3-phasig-unsymmetrischen Belastungen auf Null regelt.

5. Simulationen und Experimente

Um die Realisierbarkeit der vorgestellten Regelungsstrategien vor der Felderprobung einer Pilotanlage zu prüfen, wurde das Gesamtsystem auf dem Rechner simuliert. Bild 5 zeigt einen Belastungssprung von $R_a = 90 \Omega$, $R_b = 60 \Omega$, $R_c = 30 \Omega$ auf $R_a = 40 \Omega$, $R_b = 35 \Omega$, $R_c = 30 \Omega$. Erste Untersuchungen an der Pilotanlage, realisiert unter Verwendung des Mikrocontroller-typs Siemens 80C167, sind angelaufen.

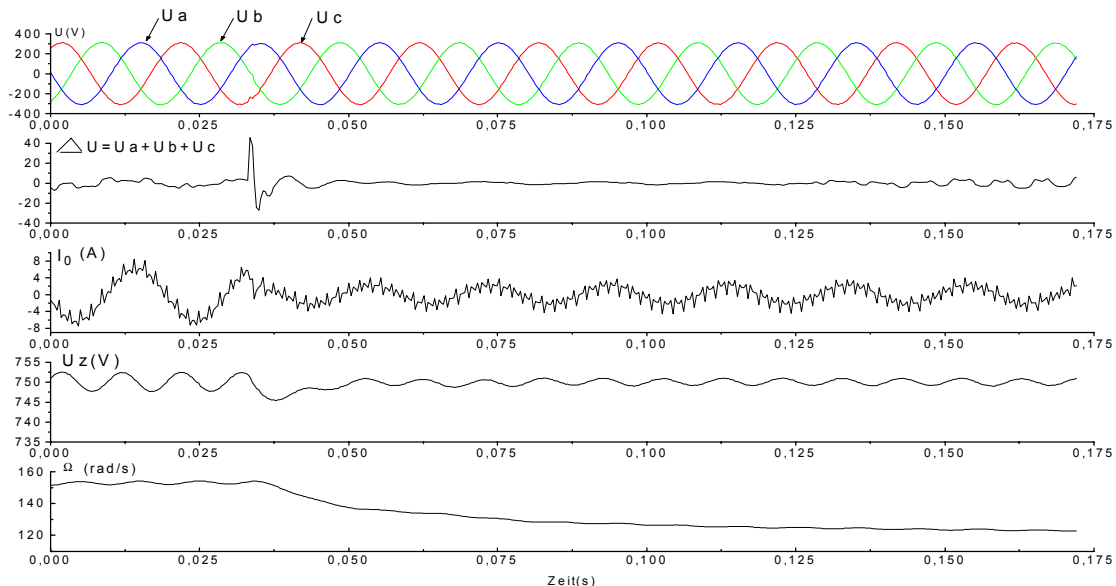


Bild 5: Simulationsergebnisse für ein Dreiphasen-Vierleiter-Inselnetz bei einer unsymmetrischen Lastschaltung

6. Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Simulationen und Experimente haben gezeigt, dass bei Kleinstwasserkraftanlagen mit Asynchrongenerator durch eine Drehzahl-Frequenz-Entkopplung über einen IGBT-Umrichter unter Verwendung geeigneter Regelungskonzepte einerseits im Netzbetrieb eine Arbeitspunktoptimierung realisiert und andererseits ein qualitativ hochwertiger Inselbetrieb gesichert werden kann.

Verfasser

M Sc Yulong Huang, Prof. Dr.-Ing. Hartmut Mrugowsky
Universität Rostock, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik
Institut für Elektrische Energietechnik
18051 Rostock