

Kleinwasserkraftwerk mit Asynchrongenerator und Umrichter – Regelungsstrategie für Inselbetrieb

Y. Huang, H. Mrugowsky

Kurzfassung

Kleinwasserkraftwerke mit Asynchrongenerator werden bisher vorzugsweise zur Einspeisung in das “starre Netz” genutzt. Durch Einschaltung eines Pulsumrichters zwischen Asynchronmaschine und Netz lässt sich nicht nur der Betriebsbereich einer solchen Anlage am Netz erweitern, sondern auch ein hochwertiger Inselbetrieb realisieren. Wichtig ist dann die Beherrschung auch unsymmetrischer Betriebszustände wie ein- und zweiphasige Belastungen. Entworfen, aufgebaut und erprobt wurde deshalb ein zur Einspeisung in ein Dreiphasen-Vierleiter-Inselnetz geeigneter IGBT-Umrichter einschließlich Mikrocontroller-Steuerung für die Maschinen- und Netzseite. Die simulativen und experimentellen Untersuchungen haben gezeigt, dass folgende Ziele durch eine geeignete Regelungsstrategie zu erfüllen sind:

- 1) Bei veränderlicher Belastung zwischen Leerlauf und maximaler Leistung sind die Amplitude und die Frequenz der Ausgangsspannung bezüglich der Phasen symmetrisch und konstant zu halten, wobei gleichzeitig an Turbine und Asynchrongenerator ein solcher Arbeitspunkt einzustellen ist, dass die abgegebene Leistung dem Bedarf der Verbraucher entspricht.
- 2) Bei Überlastung arbeiten Turbine und Generator am Punkt maximalen Leistung, wobei dann die Amplitude und bei Bedarf auch die Frequenz der Ausgangsspannung entsprechend zu verringern sind.

1. Einleitung

In Wasserkraftwerken wird mit Hilfe von Wasserturbinen und Generatoren die hydraulische in elektrische Energie umgewandelt. Bild 1 zeigt das Turbinendrehmoment, die Turbinenleistung und die Ausgangsleistung des Generators bei veränderlicher Winkelgeschwindigkeit. Bei einem bestimmten Wasserangebot besteht nur ein begrenzt verfügbarer Leistungsbereich, und nur innerhalb dieses Bereiches kann das Wasserkraftwerk bei entsprechend angepasster Drehzahl der Turbine das Inselnetz versorgen. Aus Bild 1 ergeben sich grundsätzlich zwei mögliche Arbeitspunkte bei einer bestimmten Wirkleistung bzw. einer bestimmten Inselnetzbelastung. Aus Stabilitätsgründen und zur Minimierung der Verluste in den Wicklungen des Generators wird der Arbeitspunkt auf der rechten Seite der Kurven, und zwar zwischen dem Punkt maximaler Leistung P_{MA} und dem Leerlaufpunkt P_{LE} , verwendet. Der aktuelle Arbeitspunkt P_{AR} muss durch eine geeignete Regelungsstrategie gefunden werden.

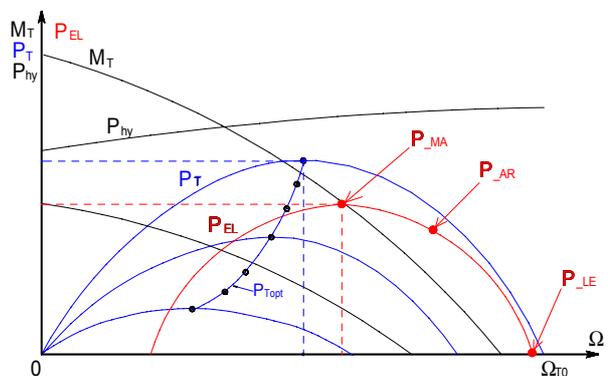


Bild 1: Betriebskennlinien einer Wasserturbine

2. Konfiguration der Anlage

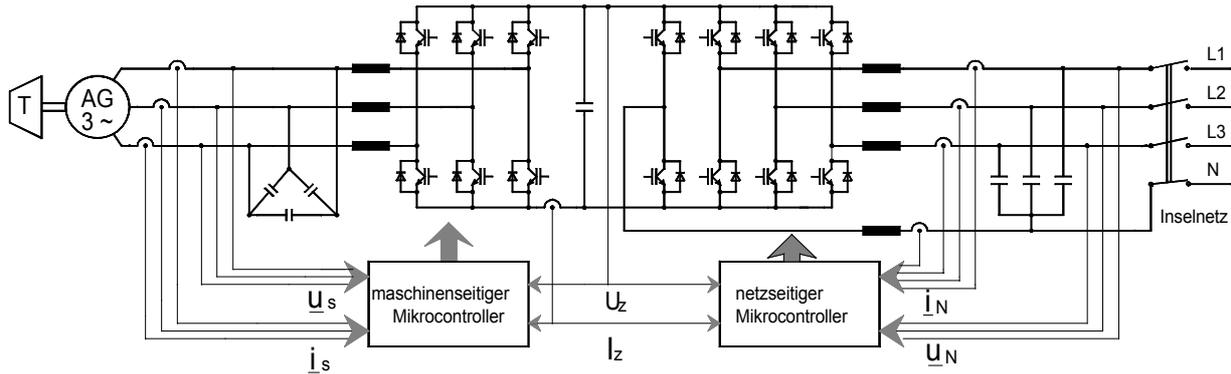


Bild 2: Konfiguration der Gesamtanlage

Bild 2 zeigt das Prinzipschaltbild der betrachteten Anlage. Die Ständerwicklung des Asynchrongenerators ist mit dem Stromrichtersystem, bestehend aus LC-Filter, Pulsgleichrichter (PGR), Gleichspannungszwischenkreis und Pulswechselrichter (PWR), verbunden. Der Wechselrichter-ausgang speist über ein LC-Filter in das Dreiphasen-Vierleiter-Inselnetz. Dabei wird die Nullkomponente des Netzstromes über einen vierten Pulswechselrichter-Brückenast so geregelt, dass die Strangspannungen ein symmetrisches Dreiphasensystem bilden.

3. Regelungsstruktur des maschinenseitigen Stromrichters

Um eine dynamisch hochwertige Regelung des Asynchrongenerators zu erreichen, wird ein auf den Ständerfluss orientiertes Regelverfahren eingesetzt. Die Ständerströme werden in die Drehmoment- und die Magnetisierungskomponenten zerlegt und in ein ständerflussorientiertes und mit der Ständerfrequenz umlaufendes Koordinatensystem transformiert. Das Ständerflussmodell, in Gleichung (1) und Bild 3 mit Hochindex S gekennzeichnet, stellt den für die Transformation erforderlichen Flusswinkel bereit.

$$\underline{i}_{\mu s}^s = \frac{1}{\omega} \left(\underline{u}_s^s \frac{1}{L_h} - \frac{R_s}{L_h} \underline{i}_s^s \right) e^{-j90^\circ} \quad (1)$$

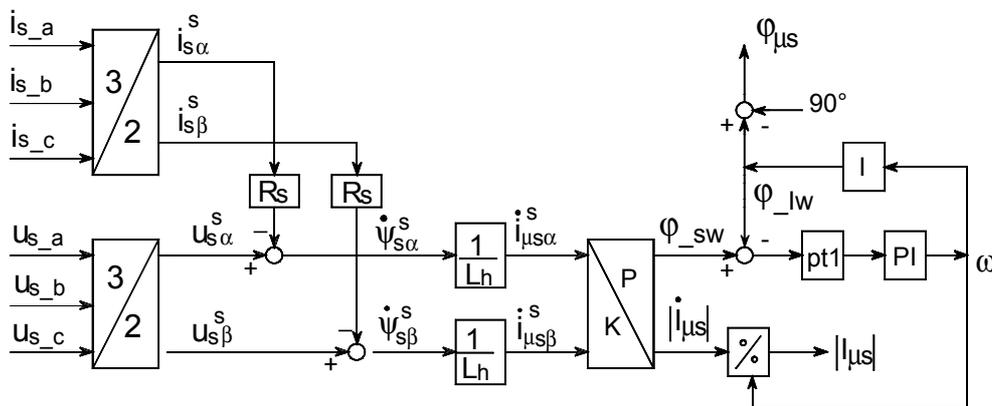


Bild 3: Ständerflussmodell

Die Regelungsstruktur zeigt Bild 4. Das Regelungsschema enthält einen Regler der Drehmomentkomponente und einen Regler der Magnetisierungskomponente des Ständerstromes. Letzterem ist ein Ständer-Magnetisierungsstrom-Regler überlagert, dessen Sollwert durch einen Spannungsbegrenzer erzeugt wird. Durch diesen Spannungsbegrenzer werden im Grunddrehzahlbereich der konstante Ständerfluss und im Feldschwächbereich die konstante Spannung gewährleistet.

Abhängend vom Lastfall ist dem drehmomentbildenden Stromregler entweder ein Zwischenkreisspannungsregler oder ein MPP-Tracker überlagert, die den Stromsollwert der Drehmomentkomponente erzeugt. Bei Normalbetrieb wird ein Zwischenkreisspannungsregler eingesetzt, der auf eine konstante Zwischenkreisspannung regelt und dafür sorgt, dass der Asynchrongenerator genau die Wirkleistung liefert, die gerade von Verbraucher benötigt wird. Bei Überlast wird der Zwischenkreisspannungsregler durch den MPP-Tracker ersetzt, der dann das mögliche Leistungsmaximum von Turbine und Generator einstellt.

In Bild 4 sind auch die die Umschaltungsbedingungen zwischen MPP-Tracker und Uz-Regler ausgewiesen.

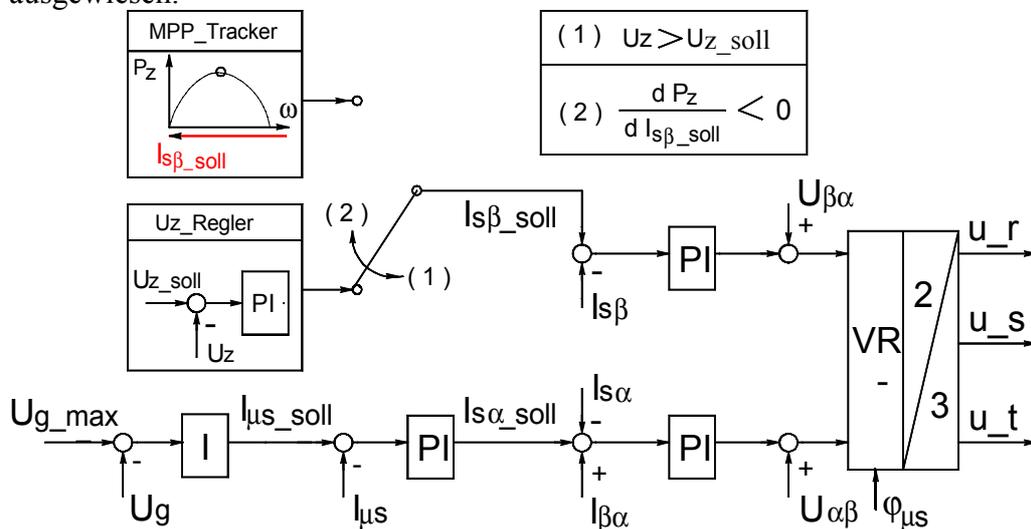


Bild 4: Regelungsstruktur des maschinenseitigen Stromrichters

Wenn der Uz-Regler arbeitet, wird das Differential $\frac{dP}{dI_{\beta_soll}}$ kontrolliert und bei $\frac{dP}{dI_{\beta_soll}} < 0$ auf den MPP-Tracker umgeschaltet. Ist der MPP-Tracker in Eingriff, wird die Zwischenkreisspannung U_z kontrolliert und bei $U_z > U_{z_soll}$ vom MPP-Tracker auf den Uz-Regler zurück geschaltet.

4. Regelungsstruktur des netzseitigen Stromrichters

Durch eine einphasige Belastung, z.B. eine Beleuchtungsanlage, wird die Symmetrie im Inselnetz gestört. Um auch unter solchen Bedingungen zwischen den 3 Außenleitern ein 3-strängig symmetrisches Spannungssystem zu sichern, wird die übliche 3-phasige IGBT-Brücke durch einen vierten IGBT-Zweig zur Bildung eines Dreiphasen-Vierleiter-Inselnetzes ergänzt.

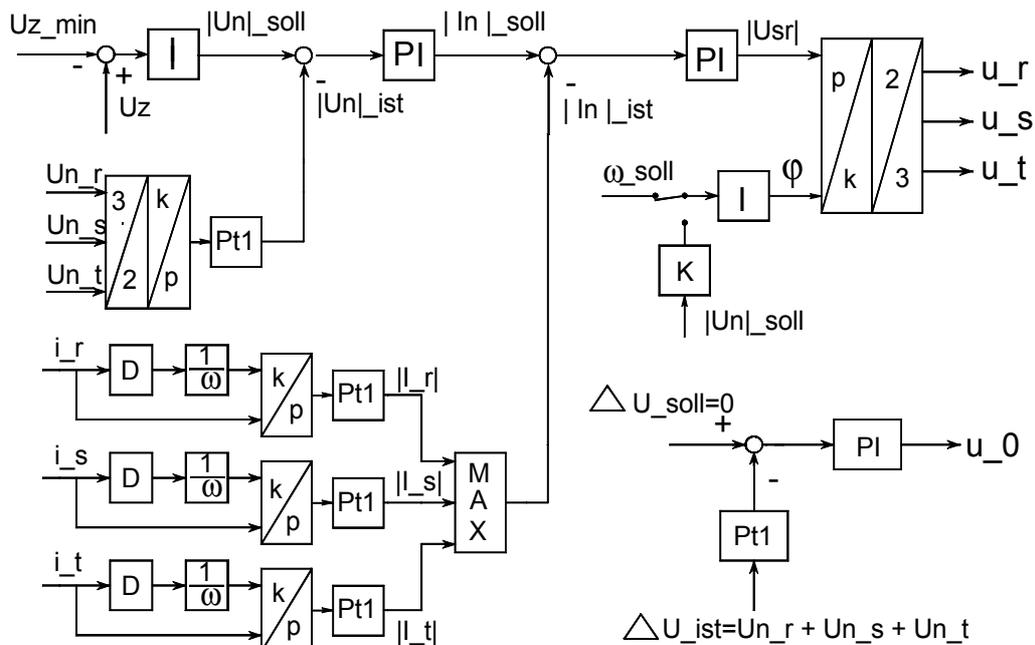


Bild 5: Regelungsstruktur des netzseitigen Stromrichters für ein Dreiphasen-Vierleiter-Inselnetz

Die Regelungsstruktur des netzseitigen Stromrichters ist in Bild 5 dargestellt. Im Normalbetrieb wird die Frequenz konstant vorgegeben und die Spannungsamplitude unter Berücksichtigung der maximalen Strangstromamplitude geregelt. Bei Überlast, wenn die Zwischenkreisspannung nicht mehr gehalten werden kann und ein vorgegebenes Minimum U_{Z_min} unterschreitet, wird auf der Maschinenseite auf den MPP-Tracker umgeschaltet, während auf der Netzseite Spannungsamplitude und Frequenz nach Bedarf abgesenkt werden. Zur Symmetrierung der 3 verketteten Leiter-Leiter-Spannungen bei unsymmetrischen Belastungen wird ein Symmetrieregler für den vierten IGBT-Zweig verwendet, der die Summe ($\Delta U = U_{n_r} + U_{n_s} + U_{n_t}$) der 3 Strangspannungen auf Null geregelt.

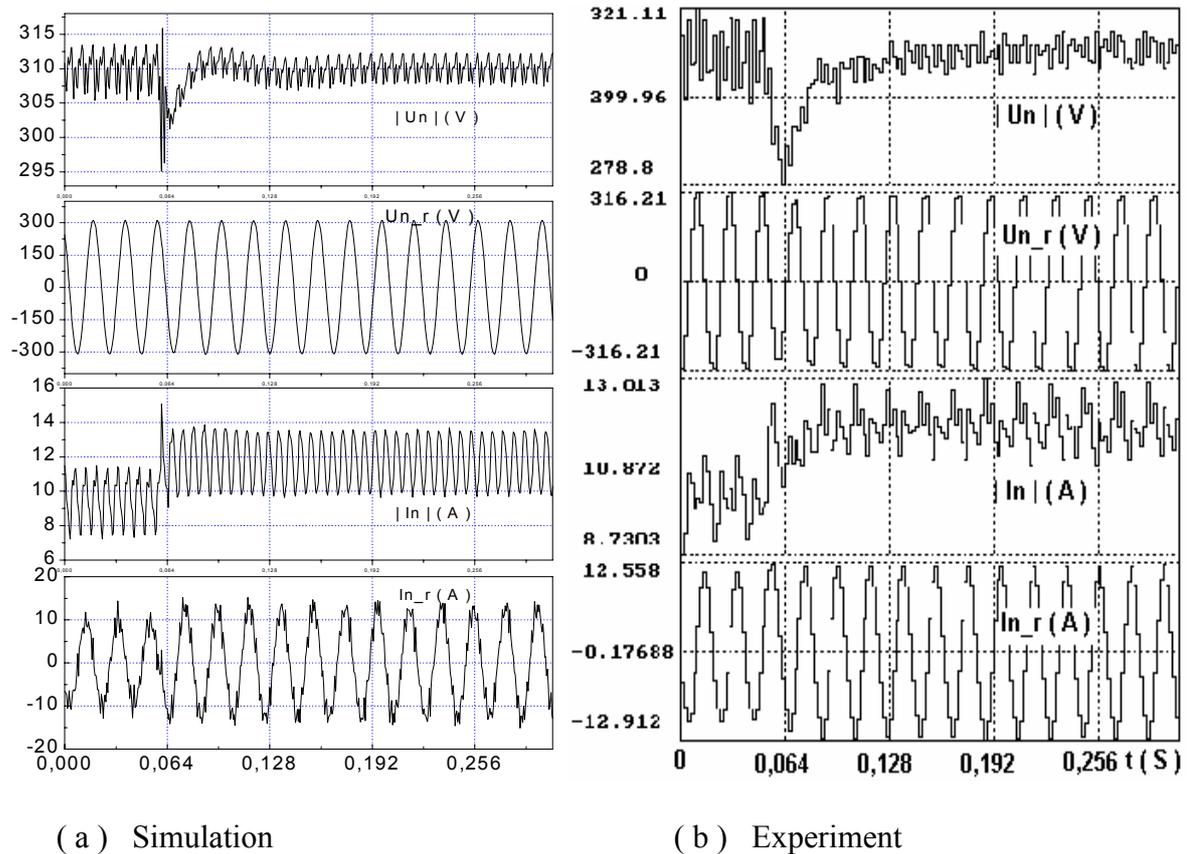
5. Simulation und Experiment

Zur Überprüfung der vorgestellten Regelungsstrategien wurde das Gesamtsystem auf dem Rechner simuliert und im Labor an einer Experimentieranlage untersucht. Die Turbine wurde im Labor durch einen Gleichmotor mit stark abfallender Drehmomentkennlinie nachgebildet:

$$M_T = k \cdot (n_{T0} - n)$$

M_T ist dabei das Turbinen-Antriebsmoment, n_{T0} die Leerlaufdrehzahl der Turbine, n die aktuelle Drehzahl und k ein Proportionalfaktor. Die Parameter n_{T0} und k ergaben sich bei der Experimentieranlage zu:

$$n_{T0} = 1088,62 \text{ U/min}; \quad k = 3,7543 \text{ Nm} \cdot \text{min}.$$



(a) Simulation

(b) Experiment

Bild 7: Inselnetzseitiger Regelungsvorgang bei einem Lastsprung

($|U_n|$ Amplitude der Inselnetzspannung, U_{n_r} Inselnetzspannung Strang R,
 $|I_n|$ Amplitude des Stromrichterstromes, I_{n_r} Stromrichterstrom Strang R)

6. Zusammenfassung

Die dargestellten Ergebnisse simulativer und experimenteller Untersuchungen belegen, dass Kleinwasserkraftwerke mit Asynchrongenerator nach diesem Konzept einen qualitativ hochwertigen Inselbetrieb erlauben.

Literatur:

- [1] Mrugowsky, H.: Drehzahlvariable Kleinstwasserkraftwerke für Netz- und Inselbetrieb. Fachtagung „Leistungselektronik und intelligente Bewegungssteuerungen“, Magdeburg, 24. und 25. März 1999.
- [2] Huang, Y.; Mrugowsky, H.: Regelverfahren für den Netz- und Inselbetrieb eines Kleinwasserkraftwerkes mit Asynchrongenerator. 10. Symposium Maritime Elektronik, Arbeitskreis Energie- und Steuerungstechnik, Rostock, 06 - 08 Juni 2001.
- [3] Palfy, S. O.: Wasserkraftanlagen: Klein- und Kleinstkraftwerke, 3. Aufl., Renningen-Malmsheim: expert-verlag, 1996.
- [4] Leonhard, W.: Regelung elektrischer Antriebe. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2000.