

Optimierung eines Kippreglers zur Drehzahlregelung einer kleinen Windkraftanlage

Optimisation of a pivot controller for the speed control of small wind turbines

J. Liersch, S. Lange, Fachgebiet Windkraftanlagen, Inst. f. Luft- u. Raumfahrt, TU Berlin

Summary

Due to lack of sufficient knowledge of aerodynamic forces concerning the skew winds on the rotor area there have been problems in modelling power control at small wind turbines by wind pressure as passive regulation. The supposed simplification of model making does not allow a clear dimensioning of single construction parameters by theory only. For speed limitation optimisation of a battery charger with pitch control "WB20" (ATLANTIS) the simulation programme WINDSIM developed by TU Berlin was extended with a pitch control module.

The missing transverse and moment coefficients of different rotor pitch positions were calculated using the TU Berlin characteristic mapping programme by means of the theory of blade elements. Dynamic strains of structure of rotors of high tip speed ratio, that is the inertia of rotor axes and motion of pitch axes, are described by motion-differential equation that are numerically integrated during simulation. Results of simulation confirm the calculated aerodynamic coefficients also for pivot angles of more than 45°. Parameter variation of geometrical parameters leads to suggestions for optimising speed control.

1. Einleitung

Die "WB 20" der Firma ATLANTIS arbeitet mit seinem vierflügeligen Rotor mit einem Durchmesser von 2 m in einem Leistungsbereich von 600 bis 700 W bei einer Nenndrehzahl von ca. 650 U/min und wird meist in Verbindung mit einem photovoltaischen System als Batterielader angeboten. Die Anforderungen an kleine Windkraftanlagen stützen sich vor allen Dingen auf eine einfache, kostengünstige und wartungsarme Konstruktion bei möglichst konstanter Leistungsabgabe. Die "WB 20" arbeitet mit einer selbsttätigen, passiven Regelung. Hierbei kippt bei steigender Windgeschwindigkeit der Rotor in eine horizontale Lage, indem der vom Rotor entwickelte Schub ausgenutzt wird. Der maximale Kippwinkel von ca. 76° wird daher auch Helikopterstellung genannt. Die Anlage besteht aus vier Baugruppen: der Turbine, dem Generator, dem Gegengewicht und dem Laderegler mit Gleichrichter und Batterien. Interessant für die eigentliche Kippregelung sind lediglich der Rotor und der Generator, welcher auf den kippenden Unterbau montiert ist, sowie das Gegengewicht, das über einen Hebelarm am Unterbau befestigt ist. Das für die Rückführung des Rotors in Normalstellung benötigte Moment stammt aus dem Eigengewicht des gesamten Turmkopfes und dem Gegengewicht (Abb. 1).

2. Stationäre Auslegung der Kippregelung

Der theoretische Ansatz des Kippreglers erfolgt nach [1]. In der ersten überschlägigen Abschätzung wird hiernach die Windgeschwindigkeit -wie aus Abb. 2 zu entnehmen- in einen Cosinus- und einen Sinus-Anteil aufgeteilt. Der Schub ist in Nabenhöhe axial zur Nabe gerichtet. Die beiden Kräfte aus Rotorschub und Gewicht erzeugen jeweils ein gegensätzlich wirkendes Moment um die Kippachse.

Geht man von einem stationären Regelverhalten aus, herrscht bei konstanter Windgeschwindigkeit ein Momentengleichgewicht. Die Anteile aus Schub und Gewicht sind dann vom Betrag gleich groß. Aus der Gleichsetzung kann die Kippwinkelcharakteristik dargestellt werden. Abb. 3 zeigt den Kippwinkel, der sich bei steigender Windgeschwindigkeit einstellt, bezogen auf die Windgeschwindigkeit, für die die Regelung einsetzt.

*Abb. 1: Funktionsweise eines Kippreglers: Kippen um die Querachse in Helikopterstellung
Fig. 1: Function of pivot control: Toppling at the transverse axes to helicopter position*

*Abb. 2: Mechanisches Modell einer Kippregelung
Fig. 2: Mechanical model of pivot control*

3. Digitale Simulation zur Erfassung des dynamischen Verhaltens

Im Institut für Luft- und Raumfahrt der TU Berlin entstand in den letzten Jahren innerhalb der Arbeitsgruppe Windenergie das Simulationsprogramm WINDSIM zur digitalen Simulation von Windkraftanlagen. Für den Rotor, verschiedene Lasten und Regelungen sowie für die Einstellung des Windeingangssignals und weiterer Simulationsparameter stehen einzelne Module zur Verfügung, die je nach Anwendung und Bedarf kombiniert werden können.

In der digitalen Simulation ist es möglich, das Zeitverhalten der Windkraftanlage und damit der Kippregelung zu berücksichtigen. Das Simulationsprogramm WINDSIM geht in diskreten Zeitintervallen voran und bestimmt für jeden Schritt sämtliche Variablen, die die Dynamik des Systems beschreiben.

Der erste Arbeitsschritt ist die Angleichung des digitalen Modells an die Realität. In Abb.3 sind neben der Kippcharakteristik des stationären Ansatzes außerdem eine von [2] gemessene Charakteristik und jene aus der digitalen Simulation mit WINDSIM gezeigt. Sowohl in den Messungen als auch in den Ergebnissen aus der Simulation sind die dynamischen (instationären) Effekte enthalten. Man sieht gut die qualitative Übereinstimmung im Regelverhalten. Die gemessene Windgeschwindigkeit, bei der der Kippwinkel gerade noch den Wert Null liefert, ist die Windgeschwindigkeit bei Regelbeginn und beträgt 10,7 m/s. Der ermittelte Wert der Simulation beträgt hingegen 11,2 m/s.

Als weiterer Vergleich für die ersten Simulationsläufe standen Messungen aus der Arbeit von Tychsen [3] zur Verfügung. In Abb. 4a ist ein Beispiel für einen gemessenen Wind gegeben, auf den sich die Zeitschriebe für Drehzahl und Kippwinkel in Abb. 4b + c beziehen. Man kann sehr gut das gleichartige Verhalten der Verläufe aus Messung und Simulation erkennen (Abb. 4b).

4. Optimierung der Kippregelung

Die weiteren Simulationsläufe führen durch Parametervariation der geometrischen Kenngrößen, wie Hebelarme und Gewicht, zu einer optimierten Drehzahlregelung. Die zu untersuchenden Geometrie Kenngrößen waren nach Abb.2 einerseits der Schubhebelarm und andererseits der Gewichtshebelarm bzw. der Schwerpunktneigungswinkel.

Abb. 3: Kippcharakteristiken im Vergleich.
Fig. 3: Comparison of pivot characteristics.

*Abb. 4: Drehzahl und Kippwinkel für Messung und Simulation.
Fig. 4: Rotational speed and pivot angle for measurement and simulation.*

Um mit der Simulation zum Optimum zu gelangen, müssen zunächst die zu variierenden Größen einzeln betrachtet werden. Für die Auswertung der Simulationsläufe ist ein Gütekriterium entwickelt worden, das den mittleren Abstand zur Nennwindgeschwindigkeit sowie die "Laufruhe" der Regelung bewertet. Es entstand eine Beurteilungsgröße mit den Anforderungen konstanter Drehzahl und ruhiges Kippverhalten. Dieses Gütekriterium wird für besseres Regelverhalten vom Betrag her kleiner, muß also minimiert werden.

5. Interpretation der Ergebnisse

Die Auswirkungen der Veränderung der geometrischen Größen auf das Drehzahlverhalten sind sehr unterschiedlich. Durch eine Verlängerung des Schubhebelarmes kann die durchschnittliche Drehzahl verkleinert werden, für den Gewichtshebelarm hingegen steigt die mittlere Drehzahl an. Für eine Optimierung müssen also die Einflüsse im richtigen Verhältnis stehen. Die sinnvolle Vergrößerung des Gewichtshebelarms und damit des Gegengewichts ist begrenzt, da sie den Regelbeginn zu einer höheren Windgeschwindigkeit verschiebt. Die Anlage beginnt also erst später die Drehzahl wirkungsvoll zu regeln.

Ein stabileres und ruhigeres Regelverhalten um die Kippachse konnte mit der Vergrößerung des Schubhebelarmes und des Gegengewichtsabstandes bei gleicher Gegengewichtsmasse erreicht werden. Für den Vergleich der optimierten Anlage mit der Originalkonzeption sind in folgender Tabelle die Größen gegenübergestellt.

Parameter	Originalkonstruktion der WB20	Optimierte Konstruktionsgrößen
Schwerpunktlagewinkel [°]	-8	- 29
Schubhebelarm [mm]	140	170
Gewichtshebelarm [mm]	106	119
Gütekriterium	1976	1339

Der Vergleich der Verläufe der Kippwinkel und Drehzahlen in Abb. 4b und Abb. 4c zeigt deutlich die Verbesserung im gesamten Verhalten der Anlage. Der Rotor wird mit den optimierten Parametern bei weniger Kippbewegungen besser auf Nenndrehzahl gehalten als mit den originalen Einstellungen. Dies zeigt sich auch im Vergleich der Werte für das Gütekriterium, welches für die optimierte Konstruktion gegenüber dem Original um 32% verbessert wurde. Dieses ruhigere Regelverhalten führt zu einer wesentlich geringeren Belastung der Struktur der Windkraftanlage und damit wahrscheinlich auch zu einer längeren Lebensdauer. Der glatte Drehzahlverlauf sorgt für eine in gleichem Maße gleichmäßigere Leistungsabgabe.

6. Literatur

- [1] Gasch, R. (Hrsg): Windkraftanlagen. Stuttgart: B. G. Teubner, 1993.
- [2] Puchert, U.: Entwicklung eines Meßaufbaus für die Kippmomentenvermessung am Sturmsicherungs-system einer 600 Watt WKA. Diplomarbeit Technische Fachhochschule Berlin, Unterlagen der Firma ATLANTIS, 1994.
- [3] Tychsens, C.: Meßtechnische Untersuchung des windgetriebenen Batterieladesystems ATLANTIS WB 20. Diplomarbeit Technische FH Flensburg, Unterlagen Fa. ATLANTIS, 1994.

Inserentenliste

Allianz Ingo Gatkowsky , Jever	37	Nordex , Melle	15
AN Maschinenbau , Bremen	7	Nordtank , Ostfeld,	11
DEWI , Wilhelmshaven	52	Planet , Oldenburg	55
Fries & Partner , Hamburg	71	Sonnenenergie und Wärmetechnik , Bielefeld	31
Enercon , Aurich	13	Südwind , Berlin	21
Energie Kontor , Bremen	35	Tacke Windtechnik , Salzbergen	5, 9
eNova , Leer	29	Vestas Deutschland , Husum	72
LMW , Groningen, NL	47	Windenergie aktuell , Hannover	23
NES , Langenselbold	2	WINKRA-RECOM , Hannover	26,27