

MINIMIERUNG DER AZIMUTANTRIEBSBELASTUNGEN DURCH STEUERUNG DES SCHLEIFBREMSEN-MOMENTES

Georg Böhmeke
PVO Engineering OY, Mikonkatu 15 A FIN 00101 Helsinki
Tel. +358 9 69306 363 Fax +358 9 69306 557 email georg.bohmeke@pvo.fi

Zusammenfassung

Der Einfluß des Schleifbremsenmomentes auf die Belastung der Azimut-Verstellantriebe wird untersucht und durch variables stets optimales Bremsmoment minimiert. Eine Option zur automatisierten Steuerung wird vorgeschlagen.

1. Einleitung

Im Rahmen einer Entwicklungsstudie wurden Maßnahmen zur Erhöhung der Betriebssicherheit von Windkraftanlagen in kaltem Klima ausgearbeitet, und unter anderem auch der Azimutbereich näher untersucht.

Schwenkzylinder-Antriebe haben sich bisher nicht am Markt etabliert, da sie offensichtlich nur bei Anlagengeometrien Vorteile versprechen, bei denen der obere Turmdurchmesser klein im Vergleich zum Rotor ist [1]. Standard ist eine Kombination aus Azimutbremsen sowie zumeist 4stufigen Planetengetrieben mit Elektromotor, gelegentlich Hydraulikmotor.

Die Antriebe sind zumeist kostengünstige Serienantriebe, deren Zahnflankenspiel nicht ohne unwirtschaftliche Zusatzkosten verringert werden kann. Auch ist die Verzahnung Ritzel/Drehkranz fertigungsbedingt spielbehaftet (ca. 0,3 mm). Eine Schleifbremse ist somit bekanntermaßen nötig, um hohe dynamische Zusatzlasten aufgrund wechselnder Lastrichtung ("Schlagen") im Betrieb zu vermeiden.

Die Schleifbremse wird häufig der Einfachheit halber fuer ein festes Moment gewählt und dieses über den gesamten Windgeschwindigkeitsbereich beibehalten. Da das Schleifbremsenmoment bis in die Nähe der Ausschaltwindgeschwindigkeit reichen muß, entsteht zwangsweise bei Teillast in schwachem Wind eine unnötig hohe Belastung der Azimutverstellantriebe. Ziel war es, diesen Zusammenhang zu optimieren.

2. Simulationsrechnungen

Es wurden Simulationsrechnungen wie folgt aufgestellt:

2.1 Simulation der Gesamtdynamik der Muster-Windkraftanlage in turbulentem Windfeld bei 8 einzelnen mittleren Windgeschwindigkeiten

von 6 bis 25 m/sec. Herausschreiben der Zeitreihen der Azimutlasten.

2.2 Berücksichtigung der Azimutlagerreibung. Bildung eines Verweildauerkollektives (Histogramm) der Azimutmomente. An dieser Stelle wurden drei Alternativen errechnet.

2.2.1 Ein festes Schleifbremsenmoment, was zum spielfrei-Halten bis in die Nähe des Ausschaltwindes reicht.

2.2.2 Eine Stufung von drei Schleifbremsenmomenten, die jeweils die Momentenspitzen des zugehörigen Windgeschwindigkeitsbereiches knapp abdecken.

2.2.3 Ein stufenlos variables Schleifbremsenmoment, welches für jede Windgeschwindigkeit die äußeren Momentenspitzen knapp abdeckt.

2.3 Wichtung der einzelnen Verweildauerkollektive entsprechend der angesetzten Wind/Häufigkeitsverteilung gemäß IEC 1400-10. Wichtung entsprechend Einschalthäufigkeit der Azimutantriebe. Diese wurde aus Betriebserfahrungen anderer Projekte abgeleitet und berücksichtigt, daß schwächere Winde stärkere Richtungsschwankungen aufweisen.

2.4 Umrechnung auf die Belastungen eines fiktiven aber typischen Antriebs, wobei zwei Antriebe pro Anlage angenommen wurden. Das Belastungskollektiv als Zusammenhang zwischen Betriebsstunden und Drehmoment liegt nun in den drei erwähnten Varianten vor. Errechnen eines Kriteriums für die Belastung der Verzahnung des Antriebs und Vergleich der Varianten.

3. Ergebnisse

Ein typischer Zeitverlauf zeigt die stets vorhandenen 3P-Anteile sowie eine gewisse Vorzugsrichtung, denen sich stochastische Anteile aus der Turbulenz überlagern.

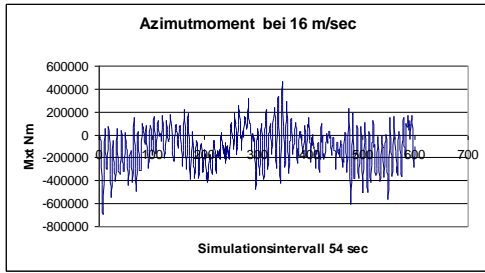


Fig. 1 typischer Zeitverlauf des Azimutmomentes

Aus diversen Zeitverläufen läßt sich ableiten, wie die Maximalwerte der Azimutmomente der Windkraftanlage mit der Windgeschwindigkeit wachsen.

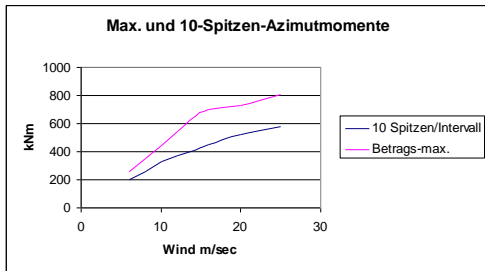


Fig. 2 Azimutmomente abhängig vom mittleren Wind

Die gewählten Schleifbremsmomente sind aus Fig. 3 ersichtlich. Es ist nicht notwendig seltene Maximalwerte vollständig abzudecken.

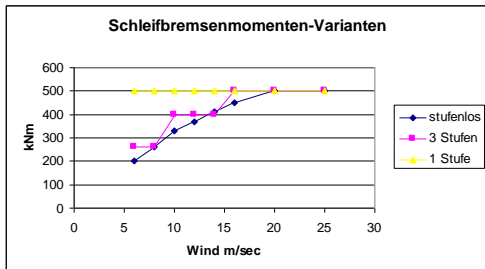


Fig. 3 Untersuchte Schleifbremsen-Varianten

Die Auswirkungen auf die Azimutantriebe zeigen die folgenden Diagramme.

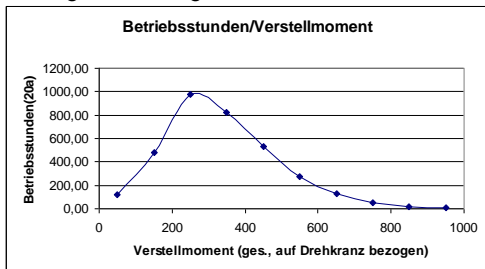


Fig. 4 Betriebsstunden/Verstellmoment für variables minimales Schleifbremsmoment

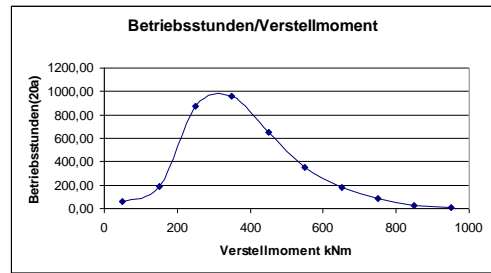


Fig.5 Schleifbremsmoment in drei Stufen

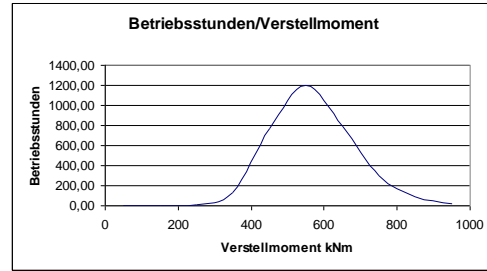


Fig. 6 Ein festes Schleifbremsmoment

4. Festigkeits-Vergleich

Man erkennt wie erwartet eine Verschiebung der Betriebszeiten zu höheren Momenten hin bei den Varianten "drei Stufen" oder "ein Moment". Exemplarisch wurden für die drei Versionen Verzahnungsberechnungen basierend auf DIN 3990 mit einem kommerziellen Berechnungsprogramm durchgeführt [2].

Dabei ergeben sich fuer eine angenommene recht konservativ ausgelegte Verzahnung Ritzel/Drehkranz Schädigungssummen der Zahnflankenbelastung von

0,035	für das variable
0,049	für das dreifach gestufte
0,139	für das feste Schleifbremsmoment

Man darf die Zahlenwerte nicht überbewerten, da zahlreiche andere Kriterien wie die Betriebsfestigkeit der Welle und die Lagerlebensdauer ebenso ausschlaggebend für die Auswahl der Antriebe sind. Es geht jedoch klar hervor, daß erhebliche Unterschiede in der Belastung der Antriebe bestehen, die natürlich alle internen Komponenten der Antriebe betreffen.

5. Details

Für den Schwachwindbereich gibt es noch eine interessante Variante, die vor etwa 4 Jahren erfolgreich bei einer 1,2 MW -Anlage realisiert wurde. Die Schleifbremse wird vollständig gelüftet, einer der beiden Antriebe arbeitet gegen den zweiten, der leer mitläuft. Dessen viskose Reibung wirkt als dämpfende Bremse und verspannt somit die Verzahnung. Dies setzt voraus, daß der gesamte Antrieb nichtselbsthemmend ausgeführt ist, was aber normalerweise von selbst der Fall ist. Damit wird im Schwachwindbereich ein eventuelles Quietschen der Schleifbremse vermieden.

Der nutzbare Windgeschwindigkeitsbereich läßt sich durch eine Gleichstrombremsung des angetriebenen Antriebs erweitern. Die Auslegung erfordert jedoch eine genaue Kenntnis des Wirkungsgradverlaufes bei Antrieb vom Langsamen ins Schnelle, der sich nur durch Versuche genügend genau bestimmen lässt. Auch diese Option wurde erfolgreich verwirklicht.

Es sei noch erwähnt, dass einem schwedischen Vorschlag nach auf die Azimutbremsen komplett verzichtet wird und man der Anlage erlaubt, ständige Ausgleichsbewegungen im Azimutlager durchzuführen [3]. Das Risiko von Riffelbildung im Azimutlager ist offensichtlich gering, wenn genügend grosse zyklische Schwenkwinkel vorliegen und das Lager mit relativ kleinen Kugeln, jedoch mäßiger Flächenpressung ausgelegt ist.

Rein konstruktiv ist das Bereitstellen von drei Hydraulik-Druckniveaus mittels Druckminder-Ventilen oder eines variablen Druckes mittels Proportionaldruckregelventil unglücklich. Diese Ventile sind leckölbehaftet und zudem als Schieberventile anfällig gegen Verklemmen aufgrund Sedimentier-Effekten. Deshalb wurde hier eine Speicherladeschaltung mit Drossel und Sitzventilen gängiger Bauart entworfen. Das Druckniveau wird über den Betriebsführungsrechner festgelegt, der den Ladevorgang bei Erreichen des gewünschten Druckes unterbricht. Das Signal dafür kommt aus einem verschleißfreien elektronischen Drucksensor. Auch mit dieser Schaltung besteht gute Betriebserfahrung, allerdings zur Versorgung der Rotorbremse zur Sanftbremsung.

Es ergibt sich dabei die Option einer automatischen Regelung. Ein Losefallen der Antriebe kann über den Azimutmotorstrom nach Kalibrierung relativ zuverlässig festgestellt werden. Man kann nun nach logischen Kriterien das Schleifbremsenmoment bei Bedarf erhöhen und nach Versuch erniedrigen, um dessen Verlauf als Lernkurve anstatt fest vorgegebener Kurve festzulegen. Damit paßt sich die Anlage an unterschiedlich turbulente Standorte an.

Zumindest kann man eine Warnungsmeldung ableiten, wenn der Motorstrom in die Nähe des Leerlaufstromes kommt.

6. Bewertung

Zunächst scheint der Aufwand groß und fraglich. Man muss jedoch bedenken, daß der Mehraufwand im Betriebsführungsrechner nahezu kostenlos ist, wenn dieser ohnehin genug Ein- und Ausgänge hat, und daß die benötigte Sensorik und der Mehraufwand an Hydraulik im Kostenrahmen um DM 1000,- realisierbar ist.

Die zusätzlichen Hydraulikteile, ein elektronischer Drucksensor sowie ein einphasiger Stromwandler mit Analogausgang sind industrielle Standardteile von hoher Zuverlässigkeit und verursachen kaum erhöhten Wartungsaufwand.

Im Vergleich zu den Kosten von Azimut-Antrieben und -Bremsen (ca. 20 bis 25 TDM) scheint somit der Aufwand subjektiv durch verlängerte Lebensdauer der Antriebe und Bremsbeläge gerechtfertigt.

Bei Neuauslegungen können die Azimutantriebe möglicherweise kleiner gewählt werden, sodaß die erwähnten Kosten mehr als eingespart werden.

In diesem Sinne sei dieser Beitrag als ein kleiner Schritt auf dem Wege der Kostenoptimierung von Windkraftanlagen zu verstehen.

7. Literatur

[1] Böhmeke, G. Hydraulic Yaw System for a Megawatt-Scale Wind Turbine, Poster P7.12, 1996 European Union Wind Energy Conference, Göteborg

[2] Calculation Programs for Machine Design, -Prospekt der Fa. Kissoft, Zürich

[3] Engström, Staffan. Yawing device and wind power plant comprising a yawing device. International publication published under the patent cooperation treaty (PCT), WO 97/42409.