

Energieoptimale Bewegungssteuerung von Wickel- und Stellantrieben mit variabler Getriebeübersetzung

DFG – HO 1483/63-1, 2012 - 2016

Zusammenfassung:

Mit einer stufenlos variablen Getriebeübersetzung kann die Motor- und Umrichterverlustenergie von Wickelantrieben sowie die erforderliche Leistungsklasse des Antriebs proportional zur Wurzel des Wickelfaktors reduziert werden. Eine energieoptimale Spannungssteuerung der Asynchronmaschine reduziert die Verlustenergie im Umrichter um 2 - 4 % und im Motor um 7 - 11 %. Die Verlustenergie in Motor und Umrichter kann mit variabler Anpassung der Getriebeübersetzung gegenüber einer Asynchronmaschine mit energieoptimaler Spannungssteuerung um weitere 12 % bzw. 40% für einen Wickelfaktor von 5 bzw. 40 reduziert werden. Das Energiesparpotenzial ist dabei nur geringfügig (1 - 2 %) von der Leistungsklasse (4 - 45 kW) abhängig. Das Energieeinsparpotenzial kann durch den Einsatz einer PMSM, die mit variabler Übersetzung immer mit maximalem Wirkungsgrad betrieben wird, um weitere 2 - 4 % gesteigert werden. Größeres Einsparpotenzial ist möglich, wenn der Asynchronmotor dank der variablen Getriebeübersetzung direkt am Netz betrieben wird. Durch den Wegfall der Umrichterverluste (ca. 13 - 26 % der Gesamtverlustenergie) sinkt die Verlustenergie um 27 % bzw. 58% für einen Wickelfaktor von 5 bzw. 40. Da der Anteil der Getriebeverlustenergie zwischen 38 % bzw. 20% liegt, darf die mittlere Verlustleistung eines CVT-Getriebes nur um 32 % bzw. 167 % höher sein als eines Getriebes eines mit variabler Übersetzung, damit noch eine Einsparung an Verlustenergie erzielt werden kann. Bei Verzicht auf den Umrichter darf die Getriebeverlustenergie um 73 % bzw. 250 % höher sein. Unter der Annahme, dass die mittleren Getriebeverluste proportional zum Nennwirkungsgrad sind, muss der Wirkungsgrad eines CVT-Getriebes höher sein als die im Anhang angegebenen Werte. Unabhängig davon liegt der Vorteil des CVT-Getriebes für einen kleiner dimensionierten Antrieb auf der Hand. Für Stellantriebe führt die analytische Lösung der optimalen Steuerung für minimales Effektivmoment zu nichtrealisierbaren Trajektorien der Getriebeübersetzung und Verstellgeschwindigkeiten. Auf Basis der analytischen Lösung kann die Struktur der optimalen Steuerung unter Berücksichtigung von Begrenzungen abgeleitet werden. Mit den entwickelten Ansatzfunktionen wurde eine optimale Steuerung numerisch berechnet, mit der die lastunabhängigen Motorverluste und die Schalt- und Durchlassverluste im Umrichter sowie Begrenzungen der Getriebeübersetzungen, Verstellgeschwindigkeit und des Motormoments berücksichtigt werden. Trotz eines eingeschränkten Stellbereichs der Getriebeübersetzung beträgt das theoretische Einsparpotenzial bis zu 45 % gegenüber der Steuerung mit Polynom 2. Grades. Die experimentellen Untersuchungen bestätigen das hohe Energiesparpotenzial in Motor und Umrichter. Allerdings wird die Energieeinsparung durch die hohen Reibungsverluste des eingesetzten Kugelscheibengetriebes kompensiert. Für elektrische Antriebe, bei denen die Bremsenergie vollständig rekuperiert wird, ist das Einsparpotenzial nahezu unabhängig von der Leistungsklasse des Antriebs. Da die Bremsenergie ebenfalls um ca. 45 % reduziert wird, ist das Einsparpotenzial mit variabler Getriebeübersetzung auch unabhängig von den Verlusten im Bremswiderstand gleichbleibend.