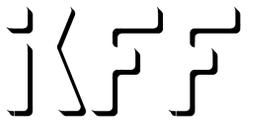


ANALYSE DES AUSFALLVERHALTENS VON EDELMETALLKOMMUTIERTEN KLEINANTRIEBEN



EINLEITUNG

Lebensdauer und Zuverlässigkeit sind Kriterien, die auch in der Antriebstechnik von wachsender Bedeutung sind. Angaben der Hersteller zum Ausfallverhalten von Kleinantrieben sind jedoch nicht immer ausreichend aussagefähig bzw. meist auch schwer zu interpretieren. Für den Anwender stellen sich jedoch stets Fragen nach der Lebensdauer, nach Ausfallursachen und nach Vorhersagemöglichkeiten für das Ausfallverhalten.

VERSUCHSPROGRAMM

Die Zielsetzung besteht insgesamt darin, möglichst schnell zuverlässige Daten zu gewinnen, gegebenenfalls Zusammenhänge zu bestimmten Motorparametern zu ermitteln. Durch Variation der Belastung kann beispielsweise die Auswirkung des Kommutierungsstroms auf den elektrischen Verschleiß und damit auf die Lebensdauer ermittelt werden.

Das Versuchsprogramm befasst sich schwerpunktmäßig mit edelmetallkommutierten Kleinantrieben. Parallel zur den Versuchen mit den elektromechanischen Komponenten werden Gesamtsystemversuche durchgeführt.

Dabei werden für die Komponentenversuche jeweils 16 Motoren einer Spannungs-kategorie bei 5 verschiedenen Belastungsstufen (50%, 75%, 100%, 125%, 150% des Nennmoments) im kontinuierlichen Dauerbetrieb getestet.

	Dauerbetrieb	Reversierbetrieb
Betriebsparameter	kontinuierlicher Betrieb (Rechtslauf)	Betrieb mit ständiger Richtungs-umkehr (300s Betrieb/ 3s Pause/ Richtungs-umkehr)
Bürstenverschleiß	+ Bürste verschleißt sehr stark - Bürste ohne gravierende Verschleißspuren	+ und - Bürste werden gleichmäßig stark durch den Umpolvorgang abgenutzt
Kollektorverschleiß	Verschleiß unter 5%, teilweise sehr starke Rillbildung erkennbar	Verschleiß unter 5%, vereinzelt etwas stärker glatt geschliffen, als beim Dauerbetrieb
Fettschmierung	Schmierung wird sehr schnell verbraucht und teilweise „weggeschleudert“	Schmierung bleibt länger erhalten, Position des Fettprofils nahezu konstant
Lebensdauer	die Lebensdauer des Motors im Reversierbetrieb liegt deutlich über der erreichbaren beim Dauerbetrieb	
Erkenntnisse	<ul style="list-style-type: none"> der Dauerbetrieb stellt die kritischere Belastung für den Motor dar die Anodenbürste ist auf Grund des Energieflusses einer höheren Belastung ausgesetzt der Kollektorverschleiß unterscheidet sich nur sehr geringfügig das Verhalten des Fettprofils ist im Dauerbetrieb ungünstiger die Drehzahl spielt eine untergeordnete Rolle. Der elektrische Verschleiß ist dominant. 	<ul style="list-style-type: none"> die ständigen Anfahr- und Abbremsvorgänge scheinen keinen entscheidenden Einfluss auf die Lebensdauer zu haben die Gefahr des Lamellenschlusses scheint auch vom Entstehungsort des Abriebs abhängig zu sein bzw. die Lage des Fettprofils bleibt länger stabil und kann daher mehr Schmutz binden

Tabelle 1: Vergleich unterschiedlicher Betriebsarten

Erste Versuche haben gezeigt, dass der Konstantbetrieb eine weit höhere Belastung als der normale Reversierbetrieb darstellt (Tabelle 1). Extremer Start-Stopp-Betrieb wird derzeit nicht betrachtet. Die durchschnittliche Laufzeit eines Versuchs beträgt hierbei in Abhängigkeit der Betriebsparameter 2 bis 6 Monate. Dies verdeutlicht wie zeitaufwendig und damit auch kostenintensiv solche Untersuchungen sind und erklärt auch den relativ geringen Stichprobenumfang.

Belastung	150%	125%	100%	75%	50%
Motortyp 1					
12V-Ausführung (Kon.)	16 Stk.				
12V-Ausführung (Rev.)			16 Stk.		
18V-Ausführung (Kon.)	16 Stk.				
24V-Ausführung (Kon.)	16 Stk.				
Motortyp 2					
24V-Ausführung (Kon.)	8 Stk.		8 Stk.		
System 1					
Übersetzung 1 (Rev.)			8 Stk.		
Übersetzung 2 (Rev.)			8 Stk.		
Übersetzung 3 (Rev.)			8 Stk.		
Übersetzung 4 (Rev.)			8 Stk.		
Übersetzung 5 (Rev.)			8 Stk.		

Tabelle 2: Versuchsplan

Der Gesamtversuchsumfang erstreckt sich damit über 312 Einzel-Motoren und 40 Systeme (Tabelle 2).

ANALYSE DER VERSUCHSERGEBNISSE

Bei dem untersuchten Motortyp sind zwei Ausfallmechanismen zu unterscheiden (Abb. 1). Zum einen kann es passieren, dass die Bürste aufgrund der Abnutzung der Kontaktfläche bricht. In diesem Fall spricht man von Bürstenverschleiß. Die zweite Ausfallursache stellt der sogenannte Lamellenschluss dar. Hierbei sammelt sich mit der Zeit Abrieb der Bürsten oder des Kollektors zwischen den einzelnen Lamellen des Kollektors an. Durch lokale Strom- und Temperaturerhöhungen kann es passieren, dass diese Partikel miteinander verschweißen, im Extremfall eine metallische Brücke zwischen zwei benachbarten Lamellen entsteht und dadurch ein Kurzschluss von Spulensegmenten erfolgt. Dies wiederum führt zu einer abrupten Absenkung des Spulenwiderstandes und dadurch zu einer Stromerhöhung, die die Motorwicklung, zerstört.

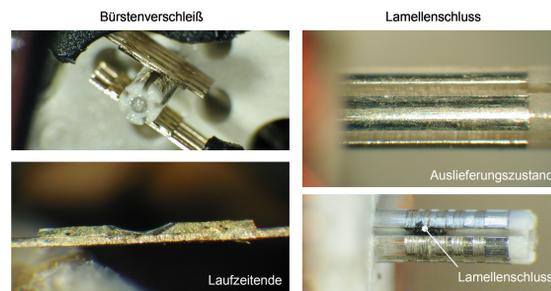


Abb. 1: Ausfallursachen des Kommutators

Bei den der Auswertung zu Grunde gelegten Versuchen trat als Fehlerursache nur der Lamellenschluss auf.

In umfangreichen Zusatzuntersuchungen konnte zudem nachgewiesen werden, dass die geringfügig unterschiedlichen Drehzahlen der Belastungsstufen keinen merklichen Einfluss auf das Verschleißverhalten haben (vgl. auch [1]).

INTERPRETATION DER AUSWERTUNG

Es ist tendenziell zu erkennen, dass mit steigender Belastung die Lebensdauer der Motoren abnimmt (Abb. 2). Allerdings liegt hier kein linearer Zusammenhang zwischen Belastung und Lebensdauer vor. Die Ergebnisse deuten auf eine Sprungfunktion hin, d.h. es gibt verschiedene Betrachtungsniveaus die mehrere Belastungsbereiche zusammenfassen. Die Resultate der einzelnen Belastungsstufen liegen allerdings so dicht beieinander, dass sie bei dem vorliegenden Stichprobenumfang nur sehr schwer voneinander zu unterscheiden sind.

Anhand der ersten kompletten Versuchsreihe (identischer Motortyp bei unterschiedlichen Belastungsstufen) wurde eine ausführliche Untersuchung bezüglich der vorliegenden Verteilungsfunktionen vorgenommen. Durch geeignete Anpassungstests konnte nachgewiesen werden, dass das Ausfallverhalten der Probanden durch eine Weibull-Verteilung gut zu beschreiben ist. Die Hypothese, dass eine Exponential-Verteilung vorliegt, kann mit Hilfe eines Likelihood-Quotienten-Tests gegen eine Weibull-Verteilung ausgeschlossen werden. Die

Annahme einer Normalverteilung ist in diesem Fall ebenfalls wenig sinnvoll, da bei einer Normalverteilung mit aus der Stichprobe geschätzten Parametern die Wahrscheinlichkeit negativer Ausfallzeiten nicht vernachlässigbar ist und sich somit keine vernünftige Beschreibung ergibt.

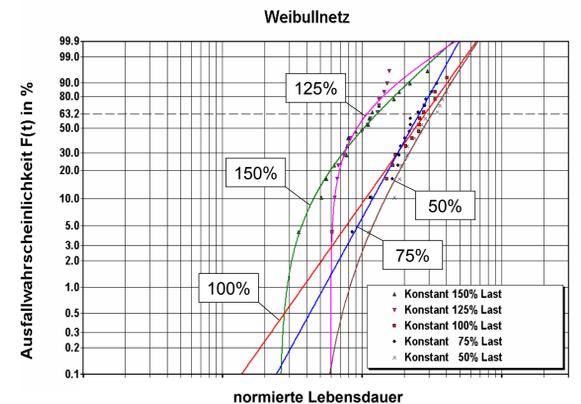


Abb. 2: Ausfallverhalten der Motoren

Bei der Versuchsauswertung muss stets berücksichtigt werden, dass nur ein relativ geringer Stichprobenumfang vorliegt und die Daten bisher nur auf einer Motorbaureihe basieren. Aus Kosten und Zeitgründen ist die Realisierung höherer Stichprobenumfänge nur sehr schwierig umzusetzen. Ferner können Streueinflüsse durch den Fertigungs- und Montageprozess nicht komplett ausgeschlossen werden.

AUSBLICK

Die Versuchsreihen werden derzeit weitergeführt und auf andere Baureihen und Hersteller ausgeweitet, um die gewonnenen Erkenntnisse abzusichern. Erste Ergebnisse zu weiteren Zusammenhängen bezogen auf die Lebensdauer, wie z.B. der Spuleninduktivität (Nennspannungsklasse) oder dem Verhältnis von Spulenlänge zu Durchmesser sind bereits vorhanden. Dabei sollen langfristig gesehen Daten und Methoden zur Ermittlung der Zuverlässigkeit in frühen Produktentwicklungsphasen bereitgestellt werden. Die Untersuchungen an Antrieben bilden hierbei nur einen Einstieg. Das Ziel besteht insgesamt darin, Positioniereinheiten und komplette mechatronische Systeme entsprechend beschreiben zu können.

LITERATUR

- [1] Halmai, A.; Huba, A.: Die Vorteile der Axial-Magnetfeld Gleichstrom-Kleinstmotoren. IWK 43, TU Ilmenau, 1998. Band IV. Vortragsreihen S. 511-516.
- [2] Köder, T.; Schinköthe, W.: DFG-Arbeitsbericht. Universität Stuttgart, IKFF, 2005.
- [3] Gandy, A.; Jensen, U.; Köder, T.; Schinköthe, W.: Ausfallverhalten bürstenbehafteter Kleinantriebe und dessen statistische Analyse. Mechatronik F&M, Heft 8-9, 2005 (eingereicht).

Kontakt:

IKFF Universität Stuttgart
Tel.: 0711 / 685 66408
Fax: 0711 / 685 56402
E-Mail: zuverlaessigkeit@ikff.uni-stuttgart.de

Mit freundlicher Unterstützung der DFG