

FRAGEN DER LEBENSDAUER VON AXIAL-MAGNETFELD GLEICHSTROM-KLEINSTMOTOREN

Attila HALMAI

Lehrstuhl für Feinmechanik und Optik
Technische und Wirtschaftswissenschaftliche Universität Budapest
Egry J. u. 1., H-1111 Budapest, Ungarn
Tel: 36 1 463-2603 Fax: 36 1 463-3787
E-mail: Halmai@FOT.BME.HU

Eingegangen: am April 5, 2000

Zusammenfassung

In the Budapest University of Technology and Economics, at the Department Precision Engineering and Optics has developed a family of the new axial flux DC micromotors, as a new electromagnetic type actuators for different applications on the field of mechatronics. This DC motors has some advantages with respect the traditional cylindrical, bell-form motors.

Keywords: DC micromotors, axial-flux micromotors, DC disc-micromotors.

1. Einleitung

An der Technischen Universität Budapest, am Lehrstuhl für Feinmechanik und Optik wurde eine neue Familie der Axial-Magnetfeld Kleinstmotoren, – als neue elektro-magnetische Aktoren für die Mechatronik – entwickelt. Diese Motoren besitzen einige Vorteile den traditionellen zylindrischen Motoren gegenüber [1], [2]. Natürlich treten auch einige Nachteile neben den Vorteilen auf. Eine nachteilige Eigenschaft der Axial-Magnetfeld Gleichstrom-Kleinstmotoren kann die Lebensdauer darstellen. Diese Motoren geben ihren maximalen Wirkungsgrad ab, wenn die Ankerwicklungen im Vergleich zu der herkömmlich angewendeten Delta-Schaltung eine Sternschaltung bilden. Tritt aber eine sehr starke und unerwünschte Bogenbildung während des Kommutationsprozesses auf, dann liegt es an der verwendeten Sternschaltung. Diese Bogenbildung vermindert die Lebensdauer des Motors durch die elektrische Erosion bedeutend. Mit Hilfe der Untersuchung des Kommutationsprozesses kann man diese Nachteile vermindern, und die Lebensdauer, sowie die Zuverlässigkeit dieser Motore erhöhen.

2. Die Untersuchung des Kommutationsprozesses

Bei diesen Kleinstmotoren ist die Untersuchung des Kommutationsprozesses nur theoretisch unmöglich. Es war notwendig, eine Meßmethode auszuarbeiten, und es mußte ein sogenanntes ‘umgekehrtes’ Motormodell gefertigt werden.

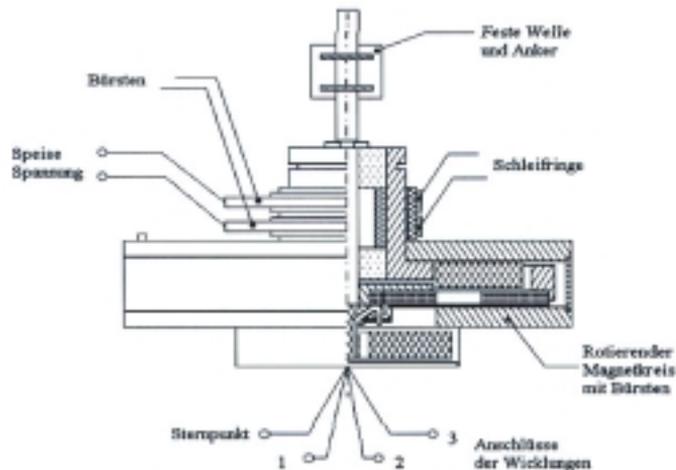


Abb. 1. Das 'umgekehrte' Motormodell

Der Anker liegt bei diesem Modell fest, und der komplette Magnetkreis rotiert mit den Bürsten um den Anker herum. Die Stromzuführung ist durch zwei Schleifringe gesichert. Da der Anker steht, besteht die Möglichkeit, die Anschlüsse der Wicklungen durch eine kleine Zentrierbohrung ($\varnothing 0,5$ mm) durchzuführen. Mit Hilfe dieser Anordnung konnten die Spannungsverhältnisse in einer Wicklung relativ leicht beobachtet und registriert werden. Diese Möglichkeit hat eine große Bedeutung, weil man während des Kommutationsprozesses die Ein- und Ausschaltung der Wicklungen beobachten kann.

Das nächste Bild (Abb. 2) zeigt den Verlauf der Spannung nur in einer Spule, wenn der Motor zu einem Arbeitspunkt gehörend bei maximaler mechanischer Leistung arbeitet. Der Motor hat einen vierpoligen Magnetkreis, und die Nennspannung des Motors beträgt 9 Volt.

Das ist das Bild einer halben Umdrehung des Motors. Das Diagramm zeigt, wie die Null- und Speisespannungen an einem Kommutatorsegment durch die Bürsten ein- und ausgeschaltet werden. Zwischen diesen Zeiträumen kann in den Spulen nur die induzierte Spannung gemessen werden, die ihr Vorzeichen ändert, solange das Kommutatorsegment stromlos ist. Die Aufnahme zeigt sehr gut, wenn der Ankerstrom durch einen Wechsel unterbrochen wird, entstehen hohe Spannungsspitzen und infolgedessen unerwünschte Bogenbildungen.

Das ist das Bild einer halben Umdrehung des Motors. Das Diagramm zeigt, wie die Null- und Speisespannungen an einem Kommutatorsegment durch die Bürsten ein- und ausgeschaltet werden. Zwischen diesen Zeiträumen kann in den Spulen nur die induzierte Spannung gemessen werden, die ihr Vorzeichen ändert, solange das Kommutatorsegment stromlos ist. Die Aufnahme zeigt sehr gut, wenn der Ankerstrom durch einen Wechsel unterbrochen wird, entstehen hohe Spannungsspitzen und infolgedessen unerwünschte Bogenbildungen.

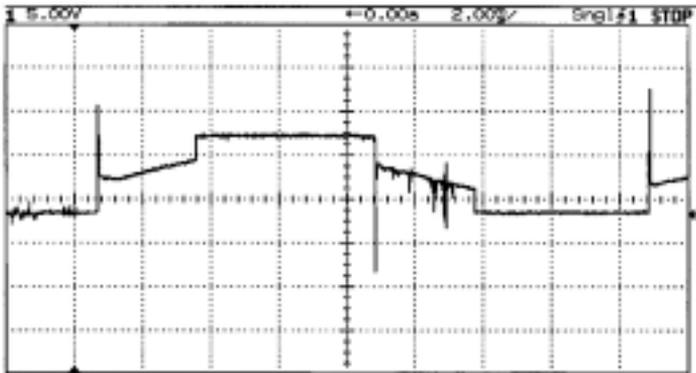


Abb. 2. Spannungsverlauf in einer Wicklung

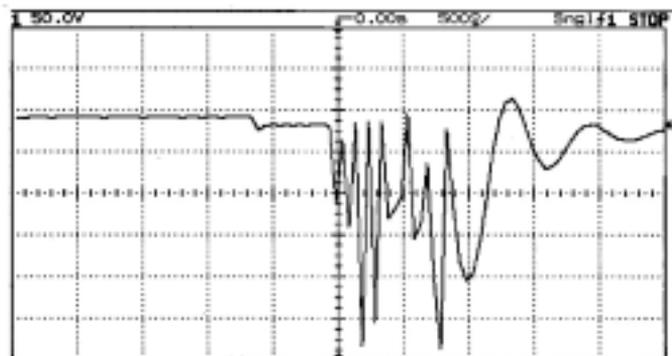


Abb. 3. Spannungsverlauf während eines Ausschaltvorgangs

Diese Bogenbildungen spielen eine große Rolle in der Einschränkung der Lebensdauer und in der Abnahme der Zuverlässigkeit eines Motors. Das obige Bild zeigt eine Aufnahme über den Ausschaltvorgang einer Wicklung. Es ist wichtig zu bemerken, daß der Spannungsmaßstab 10-fach, und der Zeitmaßstab 40000-fach(!) zur Beobachtung des Ausschaltprozesses vergrößert werden mußte. Die Abb. 3 zeigt den Bereich der Bogenbildung, anschließend den Bereich der durch die Selbstkapazität und die Selbstinduktivität gedämpften Schwingungen. Die exakte Modellierung oder Simulation der Bogenbildung ist unmöglich, da sich die Mikrooberfläche der Bürsten und des Kommutators von Umdrehung zu Umdrehung ändert. Andererseits ist es aus dem Diagramm gut erkennbar, daß die zeitliche Auflösung des Oszilloskops ungenügend war. Die letzte Bogen Spannungsspitze erreicht trotzdem den Wert von cca. 280 Volt. Die Zeitdauer der Bogenbildung beträgt cca. 800 ns, während die Ankerdrehung nicht mehr als nur cca. 0,53 Winkelsekunden (!) ist.

Zusätzlich besteht eine Möglichkeit zur Bestimmung der gesteuerten Selbstkapazität einer Wicklung durch die Analyse der letzten Strecke des Spannungsverlaufes. Aus der Periodenzeit der gedämpften Schwingungen konnte man für die gesteuerte Selbstkapazität einer Wicklung einen Wert von cca. 10 pF berechnen.

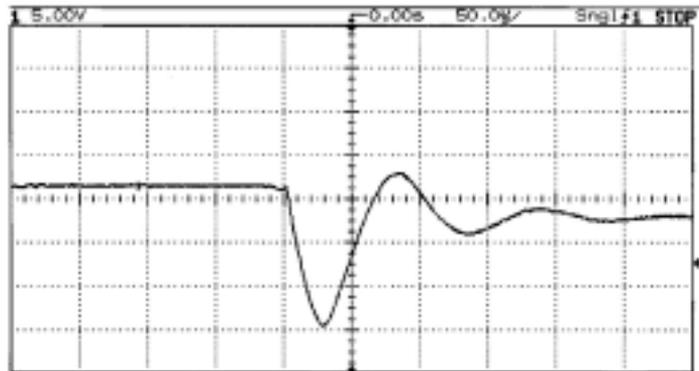


Abb. 4. Ausschaltung eines Kommutatorsegmentes, als der Kapazitätswert des Dämpfungskondensators 100 nF war

In dem obigen Bild (Abb. 4) wird die Wirkung der an den rotierenden Anker integrierten Kondensatoren dargestellt. Diese Kondensatoren sind SMD Vielschicht-Kondensatoren, und die drei Kondensatoren bilden eine Delta-Schaltung, in Sternschaltung der Spulen. Diese Abbildung zeigt, daß die Anwendung der drei Dämpfungskondensatoren für den Schutz gegen die Spannungsspitzen wirklich eine wirksame Möglichkeit anbietet. Diese Kondensatoren bilden ein System zweiter Ordnung mit den Induktivitäten der Wicklungen, und verringern die Spannungsspitzen. Die maximale Spannungsspitze bei der Stromunterbrechung erreicht nur den Wert von cca. 16 Volt. Die Periodenzeit des Schwingkreises beträgt cca. 103 μ s, diese entspricht einer Frequenz von 9,6 kHz.

Aus dem Obigen folgt, daß die Bogenbildung durch diese Kondensatoren sehr stark gedämpft werden kann. Trotzdem ist die unbegrenzte Erhöhung des Kapazitätswertes der Kondensatoren unzweckmäßig. Bei der Untersuchung des totalen Kommutationsprozesses muß man den Einschaltvorgang berücksichtigen.

Die Abb. 2 zeigt, daß man an den Spulen vor der Einschaltung nur die aus der Rotation folgende induzierte Spannung messen kann. Diese Spannung ladet die Dämpfungskondensatoren auch auf, aber wenn die Spule durch die Bürste auf die Speisespannung geschaltet wird, wird der weitere Einladestrom nur durch den inneren Widerstand der Spannungsquelle limitiert. Üblicherweise haben diese Spannungsquellen einen relativ kleinen inneren Widerstand, deshalb kann der Ladestrom der Kondensatoren sehr große Werte annehmen. Diese Stromspitzen verursachen auch eine starke elektrische Erosion. Für die Kontrolle der Stromspitzen sorgt das nächste Bild. In diesem Fall wurde der Stromverlauf mit Hilfe eines induk-

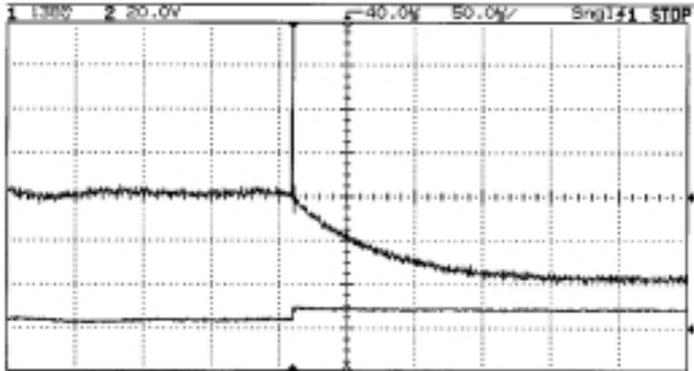


Abb. 5. Stromverlauf bei Einschaltung einer Spule

tivitätsarmen seriengeschalteten Meßwiderstandes gemessen. Da der Wert dieses Meßwiderstands cca. $1,38 \Omega$ ist, bedeutet eine Teilung auf der Aufnahme cca. 100 mA.

Es ist also deshalb zweckmäßig, mit den Kondensatoren einen strombegrenzenden Widerstand in Serie zu schalten. Das nächste Bild zeigt eine Spannungsverlauf-Aufnahme bei der Ausschaltung einer Spule, als ein Widerstand mit dem Kondensator seriengeschaltet wurde.

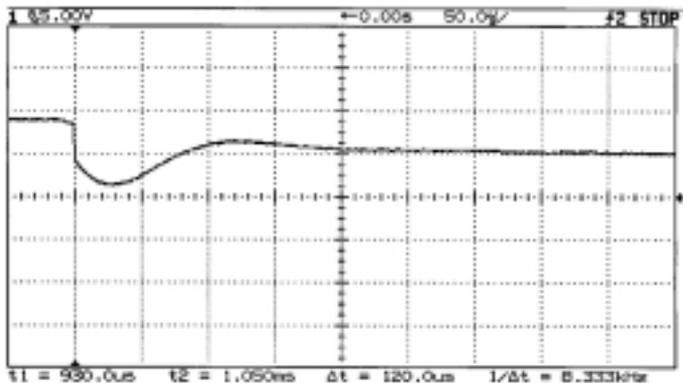


Abb. 6. Ausschaltung eines Kommutatorsegmentes, als der Kapazitätswert des Dämpfungskondensators 220 nF und der Widerstand 51Ω war

Die Wirkung dieses RC Gliedes wurde mit Hilfe der Strommessungen kontrolliert. In dem nächsten Bild ist ein Ausschaltvorgang und ein Einschaltvorgang zusammen dargestellt. Das Diagramm zeigt sehr klar, wie das RC Glied die Aus-

und Einschalttransienten dämpft, anstatt der großen Spannungen und Stromspitzen ergeben sich flache Übergänge.

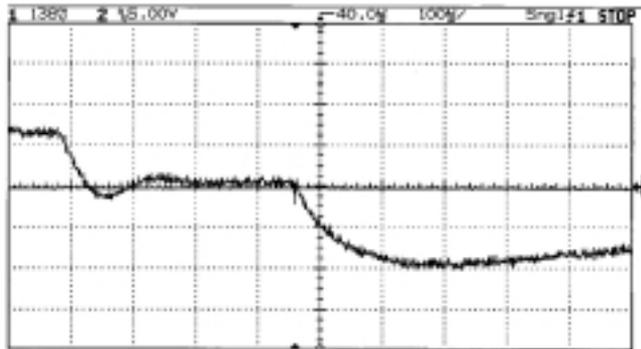


Abb. 7. Stromverlauf bei der Ausschaltung und Einschaltung einer Spule

3. Schlußfolgerungen

Bei den Gleichstrom-Kleinstmotoren spielt die Lebensdauer – besonders bei den industriellen Anwendungen – eine wichtige Rolle. Deshalb sind die Zuverlässigkeitsuntersuchungen von großer Bedeutung. Es wurde durch Kontrollprüfungen unterstützt, daß die auf dem Anker unmittelbar integrierten RC-Glieder die Bogenbildung sehr stark dämpfen und eine kleinere Abnutzung sichern. Mit anderen Worten: mit Hilfe dieser Kondensatoren und Widerstände kann die Lebensdauer des Motors verlängert, und die Zuverlässigkeit erhöht werden.

Literatur

- [1] HALMAI, A.: Die Vorteile der Axial-Magnetfeld Gleichstrom-Kleinstmotoren. *IWK 43*, TU Ilmenau, 1998. Band IV. Vortragsreihen S. 511–516.
- [2] HALMAI, A.: Új konstrukciójú elektromágneses aktuátorok a mechatronikában: a tárcsás forgórészű egyenáramú törpemotorok. Habilitationsdissertation, TU Budapest, 1998.
- [3] OESINGMANN, D.: Entwicklungsrichtungen dauermagneterregter Kommutatormotoren und bürstenlosen Motoren. *41. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium*. 23.- 26.09.1996 Ilmenau. Band 2. pp. 63–68.
- [4] KALLENBACH, E.: *Elektromagnete*, B. G. Teubner, Stuttgart, 1994.
- [5] MCMURRAY, W.: Selection of Snubbers and Clamps to Optimize the Design of Transistor Switching Converters. *IEEE Translation on Industrial Applications*, **16** No.4, July/August 1980.