

## EXPERTENGUTACHTEN

**über den Elektromotor von W.W.Schkondin, der für Radmotore der Leichfahrzeuge bestimmt ist**

### **Kurze Beschreibung des Antriebssystems.**

Der Elektromotor von W.W.Schkondin ist ein langsamlaufender Niederspannungs-Gleichstromkollektormotor mit hochkoerzitiven Permanentmagneten auf dem Stator und den **Anker-und Spulenwicklungen auf dem Rotor**. Der Rotor ist auch mit einem Bürstenapparat ausgestattet, der sich auf einer im Hinblick auf die Ankerwicklungen verstellbaren Kontaktbrücke befindet. Der auf dem Stator installierte Kollektor ist feststehend befestigt und hat **genausoviel Lamellen wie auch Magneten**. Die feststehenden Lamellen werden mit Spannung so beaufschlagt, dass sie wechselnde Polarität aufweisen. Jedes Elektromagnetpaar erzeugt ein heteropolares Magnetsystem, dessen Nutteilung der Polteilung von Permanentmagneten gleichsteht. Jedes Magnetspulenpaar addiert sich phasengleich mit einem anderen entgegengesetzt positionierten Paar. **Die Phase hat einen Anschlusskontakt mit den Bürsten und einem parallel zugeführten Energiespeicher**, dessen Größe von der Phasenwindungszahl proportional abhängt. Der Abstand zwischen den anliegenden Elektromagnetpaaren ist in der Regel größer als deren Nutteilung und erfüllt die Voraussetzung, die darin besteht, dass die Anzahl von Permanentmagneten  $10+4k$  und die Anzahl von Phasen  $2+k$  gleich ist, wobei  $k = 0,1,2,3$ .

### **Konstruktions- und Laufmerkmale des Antriebs.**

Das Merkwürdige des Gleichstromkollektormotors von W.W.Schkondin besteht in erster Linie in der nutförmigen Ausführung der Ankerwicklung und in zweiter Linie im parallelen Anschluss zu jeder Kondensatorphase.

**Die erste Neueinführung ermöglicht die Konzentration des Magnetfeldes** des Ankers sowie dessen Eingrenzung innerhalb eines Magnetspulenpaares in der Rotorlagerung, bei der die günstigsten tangentialen Bedingungen vorgegeben werden können, welche zur wesentlichen Erhöhung des elektromagnetischen Moments führen. Bemerkenswert ist, dass die gleiche Vorgehensweise bei der Projektierung von bürstenlosen Gleichstrommotoren (in der internationalen Fachliteratur als SRM – Switched reluctance motor bzw. geschaltete Reluktanzmotore bezeichnet) angewandt wird, und die den beiden Antriebssystemen, ungeachtet ihrer Schlichtheit, zu Führungspositionen unter Elektromotoren unterschiedlicher Typen verhalf.

**Die zweite Neueinführung (paralleler Anschluss zu den Energiespeichern) ermöglicht die Reduzierung des Einschaltstromes** der Kollektorbürsten-Gruppe, was durch den Reaktionsstromschluss in der geschlossenen Kette erreicht wird – "Phasenwicklung – Kondensator". Dabei entsteht die ferromagnetische Resonanzerscheinung, welche die Stromreduzierung in der Bürste zur Folge hat. Durch die angemessene Auswahl der Energiespeicher wird der Einschaltstrom reduziert und die Stromabnahme verbessert, was die Betriebsdauer der Kollektorbürsten-Gruppe verlängert.

**Die vom Erfinder angegebene Energierückgewinnung im Fahrbetrieb** ist vom theoretischen Standpunkt aus unreal, weil, im Grunde genommen, die Energierückgewinnung nur im Generatorbetrieb – also wenn die Umwandlung der mechanischen Energie in elektrische Energie erfolgt – möglich ist. Der Vorgang, um den es sich handelt, heißt, genau gesagt, **Rücklieferung der in den Wicklungen gespeicherten elektromagnetischen Energie** an die Stromquelle nach deren Abschalten. Wegen der relativ geringen Anzahl von Lamellen verläuft die Stromaufnahme in diesem Motor ziemlich pulsartig (das haben auch die Prüfergebnisse gezeigt), und daher liegt neben der Wirkkomponente des Wechselstroms auch Blindkomponente vor, die den wiederholten Übergang der Energie von der Stromquelle zum Motor und zurück hervorruft. Das führt lediglich zur Reduzierung des Wirkungsgrades infolge der Zunahme der elektrischen Verluste. Anders ausgedrückt, wird die von der Stromquelle abgenommene Leistung nicht

komplett in die mechanische Energie umgewandelt. Die übrige **Primärenergie** (die in die mechanische nicht umgewandelt wurde) **des elektromagnetischen Felds der Ankerwicklungen** erzeugt nach deren Abschalten von der Stromquelle den Reaktionsstrom. Der Urheber der Erfindung hat es geschafft, die Methode der Speicherung der elektromagnetischen Energie ausfindig zu machen, und dadurch den Wirkungsgrad elektromechanischer Energiewandlung zu erhöhen. Letztendlich kann dadurch der Wirkungsgrad des entwickelten Elektromotors theoretisch gesteigert werden.

**Das Anliegen des Erfinders, den Durchmesser des Radmotors im Gebrauch des entwickelten Motors größer zu machen**, ist durchaus gerechtfertigt. Das erlaubt bei unverändert gebliebener Stromstärke das Moment zu steigern, sowie die Rotorumlaufgeschwindigkeit und den Wirkungsgrad zu erhöhen. Im traditionellen Fahrzeuggbau liegen ähnliche Bestrebungen vor; vor allem können hier leistungsstarke Wasserkraftgeneratoren aufgeführt werden, welche zu langsamlaufenden Maschinen mit Durchmesser Zehner von Metern zählen.

### **Versuchsgegenstand.**

Als Versuchsgegenstand dient das Elektromotor MK-300.36 von W.W.Schkondin, der durch den Auftraggeber (Russische Technologien OAG) zwecks Durchführung von Prüfstandsversuchen zur Verfügung gestellt wurde. Das Motorengewicht beträgt 9,67 kg, Durchmesser – 295 mm, Dicke – 60 mm. Die Motorprüfung wurde im Prüflabor für Elektrogeräte des Lehrstuhls für automatisierten Elektroantrieb des Moskauer Energetischen Instituts (der Technischen Universität) unter Leitung von J.N.Sergievskij durchgeführt.

### **Versuchsergebnisse.**

Die Versuche haben zum Teil gezeigt, dass bei 24V-Spannung und der Belastung der Welle 11,6 Nm die Motordrehzahl bei 270 U/min bleibt. Der Stromverbrauch durch den Motor erreicht dabei 20A und die entwickelte Leistung beträgt 328 Watt. Der Wirkungsgrad in diesem Betriebszustand erreicht mit 66% seinen Höhepunkt. Höchstleistung an der Welle beträgt 592 Watt bei Drehzahl 161,7 U/min und Wellenmoment 35 Nm. Der Wirkungsgrad ist 45%, der Stromverbrauch – 55A. Oszillographische Aufnahme des Stroms, der vom Motor genutzt wird, zeigte, dass der Strom eine Wechselkomponente aufweist, deren Amplitude rund 20% seines Durchschnittswerts beträgt, was die oben aufgeführten theoretischen Auslegungen glaubhaft macht. Die in der Patentdokumentation erwähnten Spannungsstöße an den Motorklammern haben sich nicht konstatieren lassen. Dies erfordert eine eingehendere Untersuchung.

Ausführlichere Informationen zu Versuchsergebnissen werden in der **Anlage 1** (Prüfungsprotokoll Nr. 01/0054 vom 16.03.2004), die zu diesem Expertengutachten beigelegt wird, angeführt.

### **Elektromotor von W.W.Schkondin im Vergleich mit anderen Motoren.**

Der Elektromotor von W.W.Schkondin lässt sich schwer mit anderen Motoren vergleichen wegen der isolierten, schwer korrelierbaren und mangelhaften Angaben, welche über die Antriebe, die für Radmotoren der Leichfahrzeuge bestimmt sind, vorliegen. Beim Vergleich des Elektromotors von W.W.Schkondin mit den Antrieben von W.A. Evseenkov, C. Lynch, Antec, Heinzmann, Volkswagen, Inkar-M, der durch den Lehrstuhl für automatisierten Elektroantrieb des Moskauer Energetischen Instituts, MiassElektroApparat OAG, VNIIEM und andere Organisationen vorgenommen wurde, wurde festgestellt, dass der Wirkungsgrad und spezifische Energiekennzahlen des Elektromotors von W.W.Schkondin anderen Motor-Varianten nicht nachstehen.

Spezifische Nennleistung des Elektromotors von W.W.Schkondin MK-300.36 beträgt 34 Watt/kg, die Höchstleistung – 61 Watt/kg. Ähnliche Kennzahlen weisen Motoren von Inkar-M und Antec auf. Diese Motoren kosten vermutlich um die Hälfte bzw. um das Doppelte mehr, da es sich um bürstenlose Gleichstrommotoren mit elektronischer Antriebssteuerung handelt. Darüber hinaus, ist der Antec Motor mit geberloser Steuerung versehen, worauf seine träge

Dynamik zurückzuführen ist.

Evseenkov und C. Lynch Motoren erreichen einen hohen Wirkungsgrad und gute Dynamik, sind dennoch Hochdrehzahlmotoren (1500-3500 U/min) mit gedrücktem Anker, der hohe Stromdichte und Hochfrequenzwärmung mitbringt, und deshalb eines mechanischen Untersetzungsgtriebes (das führt zur Reduzierung des Wirkungsgrades und der Zuverlässigkeit) bedürfen.

Gute Kennzahlen weist der Motor (geschalteter Reluktanzmotor mit geberloser Steuerung) auf, der im Lehrstuhl für automatisierten Elektroantrieb des Moskauer Energetischen Instituts entwickelt wurde. Ungeachtet der schwächeren Leistungen dieses Motors ist das die billigste und zuverlässigste Variante von allen bürstenlosen Gleichstrommotoren, da sie nicht mit Permanentmagneten und Rotorwicklungen versehen ist.

Der höchste Wirkungsgrad (82%) ist bei Heinzmann Kollektormotor angegeben, was dennoch gewisse Bedenken erregt. Angesichts des Mangels an erforderlichen Informationen konnten seine spezifischen Energiekennzahlen nicht bestimmt werden. Wenn man von Motorabmessungen ausgeht, kann man vermuten, die Energiekennzahlen seien schwächer als beim Elektromotor von Schkondin.

### **Vorteile des Elektromotors von W.W.Schkondin**

Einsatz von Ankerspulenwicklungen, leichte Wicklung.

1. Verbesserte Stromabnahme durch den Einsatz von Energiespeichern, die zu jeder Phase parallel angeordnet sind.
2. Einfache, zuverlässige und technisch ausgewogene Bauart des sicher befestigten Kollektors mit genügend großen Trennstrecken zwischen den Lamellen, die Rundfeuer und Verschluss vermeiden lassen.

Die Ankerbürsten weisen beim Anlauf – also wenn die Stromstärke ihren Höhepunkt erreicht – einen guten Kontakt auf. Mit der Zunahme der Umdrehungszahl, wenn der Strom abnimmt, wird der Bürstendruck unter Einwirkung der Fliehkräfte schwächer, wodurch auch die Abnutzung von Bürsten verlangsamt wird.

3. Der Eisenkörper des Ankers wird in Form von separaten Elektromagneten mit zwei Spulen ausgeführt, da das Magnetfeld in seinem Volumen eingegrenzt ist. Das steigert das elektromagnetische Moment und reduziert die Eisenverluste.

Abgesehen davon, dass die Zuverlässigkeit der Maschine durch den Einsatz der Kollektorbürsten-Gruppe beeinträchtigt ist, wird dieser Nachteil durch ihre Einfachheit und technisch ausgewogene Bauart ausgeglichen, wobei der Kostenaufwand für den Aufbau dieses Motors viel niedriger ist.

### **Nachteile des Elektromotors von W.W.Schkondin**

Der Einsatz der Kollektorbürsten-Gruppe ist eine Kompromissentscheidung zwischen der Zuverlässigkeit und den Aufbaukosten.

Trotz der im Punkt 4 erwähnten Vorteile reduzieren die rotierenden Bürsten teilweise die Zuverlässigkeit des Motors.

Betriebssichere Bauweise und Befestigung der Anschlussdrähte zwischen den Elektromagneten (Ausführung des Versuchsmusters).

**Bemerkungen und Anweisungen bezüglich des konstruktiven Aufbaus des Elektromotors**  
von W.W.Schkondin sind in der **Anlage 2** aufgeführt.

### **SCHLUSSFOLGERUNG DES GUTACHTENS.**

Das Funktionsprinzip und der konstruktive Aufbau des Elektromotors W.W.Schkondin weisen wesentliche Neuheitsmerkmale auf und lassen kein Bedenken hinsichtlich deren Originalität und Effizienz entstehen.

Motorteste haben gezeigt, dass der Wirkungsgrad des Motors bei 24V-Spannung im

Betriebszustand 66% beträgt. Zu berücksichtigen wäre seine Aluminiumdrahtwicklung. Bei der Ersetzung des Aluminiumdrahts durch einen Kupferdraht soll der Wirkungsgrad bis zu 69-71% steigen. Trotz der konstruktiven Mängel kann der Wirkungsgrad des Motors zusätzlich um einige Prozent erhöht werden.

In Anbetracht der spezifischen Energiekennzahlen stellt sich der Elektromotor von Schkondin in eine Reihe mit besten Antrieben, die für Radmotoren der Leichfahrzeuge bestimmt sind, hat dennoch einen wesentlichen Vorteil, der in der Fertigungsfreundlichkeit und niedrigem Kostenaufwand besteht.

Der Ersatz der Kollektorbürsten-Gruppe durch einen elektronischen Schalter wird Verteuerung des Motors um ein Vielfaches zur Folge haben. Das bestätigt auch die Vorteile der gewählten konstruktiven Lösung beim Aufbau dieses Motors.

Im Hinblick auf den Grad des Schutzes vor Umgebungseinflüssen und bei entsprechender Ausführung kann der Motor in Klimazonen mit hoher Luftfeuchtigkeit verwendet werden. Dafür ist eine zusätzliche konstruktive und technische Nacharbeitung notwendig.

## **EXPERTE**

Doktor der technischen Wissenschaften

Dozent des Lehrstuhls für ELEKTROMECHANIK

des Moskauer Energetischen Instituts /gezeichnet/

FISENKO W.H.

17.03.2004