

E6 Rückblick ETG-Veranstaltungen

E6.1 Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik 14.-15. September 2015, Köln



Prof. Dr.-Ing. Gerhard Huth,
TU Kaiserslautern, Lehrstuhl für
Mechatronik und Elektrische
Antriebssysteme,
Mitglied im FB A1 „Elektrische
Maschinen und Antriebe,
Mechatronik“ der ETG,
Wissenschaftlicher Tagungsleiter

Die Fachtagung IKMT 2015 in Köln (14.-15. September) bot Anlass zum Feiern, fand doch die von ETG und GMM gemeinsam ausgerichtete Fachtagung bereits zum 10. Mal statt. Im Mittelpunkt der Fachtagung standen innovative elektrische, elektronische und mechatronische Komponenten und neue Werkzeuge für den Entwurf und die Simulation des Zusammenwirkens im mechatronischen System. Dieser Beitrag bietet einen Themenüberblick der Fachtagung und soll Interesse für einen Blick in den Tagungsband [1] wecken, der auch in den IEEE Xplore aufgenommen wurde.

Direktantriebe

Antriebe für handgeführte Elektrowerkzeuge müssen neben einer hohen Leistungsdichte wegen der Batteriespeisung auch über eine möglichst hohe Energieeffizienz verfügen. Von der *TU Ilmenau* wird ein PM Synchronantrieb in Zahnpulentechnik mit im Läuferaktivteil integrierten SE-Magneten vorgestellt, der diese Anforderungen erfüllt. Der axial an den Zahnpulenteilen angebaute Umrichter (*Bild 1*) führt zu einer kompakten Antriebseinheit, die hohe Anforderungen an die thermische Gesamtauslegung stellt.

Hochpolige PM Synchronmotoren kleiner Baugröße lassen sich zum Beispiel mit niederpoligen Ganzlochwicklungen realisieren, wenn statt des Wicklungsgrundfeldes ein Wicklungsoberfeld als Arbeitsfeld verwendet wird. Aufgrund des Wicklungs-

faktors bietet sich hierfür eine Nutharmonische an. Von *Fa. Lenze* wurde nach diesem Grundprinzip ein 22-poliger „PM Vernier Motor“ als Außenläufer-Direktantrieb für ein Fördersystem entwickelt.

Für zum Beispiel Turbo-Kompressoren oder High-Speed Fahrtriebe werden passende Inverter hoher Speise- und Schaltfrequenz benötigt. Vom *Fraunhofer IISB (Erlangen)* werden für diese Applikationen Inverter in SIC-Technik hinsichtlich Schaltungstechnik, Effizienz, Leistungsdichte und Schaltfrequenz untersucht und am Beispiel eines ausgeführten 60kW SIC-Inverters diskutiert.

Im Automotivebereich werden zugeschnittene Antriebslösungen benötigt, die neben einem kompakten und oft flachen Design eine hohe Leistungsdichte aufweisen müssen und zudem sensibel sind bezüglich der Drehmomentwelligkeit. Für diesen Applikationsbereich hat *Fa. MMT* ein Schrittmotorkonzept weiterentwickelt, das über eine einseitige Spulenordnung verfügt und sich so besser integrieren lässt (*Bild 2*). Das weiterentwickelte Motorkonzept wird detailliert hinsichtlich der Drehmomentwelligkeit untersucht.

Entwurf und Simulation von Antriebskomponenten

Bei direkt in den Prozess integrierten Motoraktivteilen, die hauptsächlich im Teillastbereich betrieben werden und bei denen Rastmomente absolut störend sind, kann ein eisenloser PM Synchronmotor eine geeignete Lösung sein. Es werden 3 Konzepte für eisenlose PM Synchronmotoren vorgestellt, die sich konstruktiv in der Komplexität der Luftspulenwicklung unterscheiden. In Form von Parameterstudien wird das stationäre Betriebsverhalten optimiert, das anhand von Funktionsmustern (*Bild 3*) im Vergleich von Messung und Simulation diskutiert wird.

Die Vorausberechnung der Eisenverluste ist auch weiterhin ein interessantes Forschungsgebiet. Von *Schneider Electric* wird ein erweiterter Modellansatz für die Grundfeld-Eisenverluste in PM Servomotoren vorgestellt, dessen Modellparame-

ter anhand von Messstudien bestimmt werden. Von der *RWTH Aachen* wird der Stanzkanteneinfluss auf die magnetischen Eigenschaften von Elektroblech untersucht. Der gewählte kristallographische Modellansatz führt zur Verbesserung von Feld- und Verlustberechnung.

Kleine permanentmagneterregte DC Motoren kommen in hohen Stückzahlen im KFZ-Bereich, zum Beispiel bei der Sitzverstellung oder beim Fensterheber, zum Einsatz. *Fa. Brose* beschreibt in einem Beitrag die transiente Simulation von DC Motoren zur Ermittlung der Bürsten-Stromdichteverteilung über den Kommutierungsverlauf mit dem Ziel der Lebensdauersteigerung. Die Verschleißmechanismen der Kommutierungseinrichtung werden beschrieben, Möglichkeiten der Weiterentwicklung dargestellt und die erreichten Verbesserungen anhand von Messungen belegt.

Innovative Applikationen

Bei minimal invasiven Operationen kommen Manipulatoren zum Einsatz, mit deren Hilfe im Bauchraum operiert werden kann. Von der *TU Darmstadt* werden Struktur und Design eines neuentwickelten Manipulators vorgestellt, der über 12 Freiheitsgrade verfügt. Die Antriebseinheit des Manipulators verfügt entsprechend über 12 bürstenlose DC Motoren, deren Bemessung beschrieben wird.

Für die Weiterentwicklung von Endoskopen hat die *Leibniz Universität Hannover* einen elektromagnetischen Kippaktor entwickelt, auf dessen Basis ein flexibles Endoskop realisiert werden kann. Das Konzept des Kippaktors wird vorgestellt und für dessen Speisung werden zwei Schaltungsvarianten zur Auswahl gestellt, deren Leistungsfähigkeit untersucht wird.

Die Abdichtung des geförderten Mediums zur Umwelt ist bei Pumpen ein zentrales Problem. Ein an der *RWTH Aachen* entwickeltes Konzept auf der Basis der Drehkolbenpumpe umgeht dieses Problem, indem der Antrieb über ein dichtungsfreies magnetisches Getriebe realisiert wird (*Bild 4 Seite 24*). Modellierung und Designprozess werden in Form von Parameterstudien vorgestellt.



Bild 1: Zahnpulenteile mit angebautem Umrichter

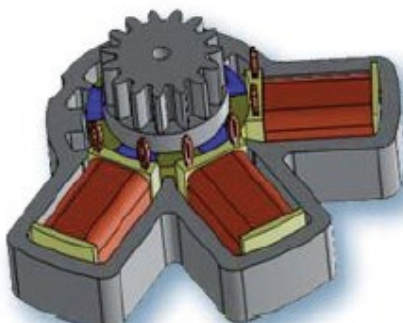


Bild 2: Konzept eines 3-strängigen Schrittmotors für Automotive-Applikationen



Bild 3: Ständer eines Versuchsträgers mit Luftspulenwicklung

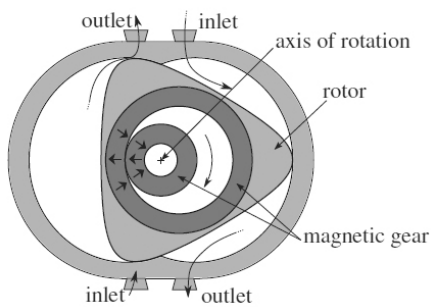


Bild 4: Pumpe nach dem Drehkolbenprinzip mit magnetischem Getriebe

Von der *TU Darmstadt* wird ein neuartiges Konzept für lagerlose High-Speed PM Synchronmotoren vorgestellt, das im Ständer mit zwei Drehfeldwicklungen ausgeführt ist. Die spezielle Wicklungstopologie ermöglicht die Generierung von Drehmoment und radialer Tragkraft. Neben Motor- und Regelungskonzept wird auch die Erprobung eines Funktionsmusters im Vergleich zur Simulation behandelt.

Ein neuartiges Mehrkoordinaten-Positioniersystem in Magnetschwebetechnik wird von der *FH Mittelhessen (Friedberg)* beschrieben. Neben dem Design und der Regelung des über 6 Freiheitsgrade verfügenden Positioniersystems werden die experimentellen Ergebnisse eines ersten Prototyps diskutiert.

Piezelektrische Antriebe

Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der piezelektrischen Antriebe werden von der *TU Darmstadt* vorgestellt: Wird ein Array aus Carbonfasern von einem Piezo-Stack aktiviert, so kann über die Strukturreibung der Carbonfasern eine Mikrobewegung erzielt werden. Die analytische Modellierung dieses kombinierten Aktuators und die Berechnung des Stellverhaltens werden detailliert dargestellt. Piezelektrische Stick-Slip Aktuatoren kommen zum Beispiel bei der Mikro-Positionierung zum Einsatz. Es wird untersucht, in welcher Weise die Aktivierungs-Zeitfunktion das Betriebsverhalten des Stick-Slip Aktuators beeinflusst. Hierzu werden unterschiedliche Aktivierungs-Zeitfunktionen theoretisch und experimentell untersucht.

Prüf- und Messtechnik

Gestiegene Anforderungen an lineare und rotierende Positionierantriebe führen zu entsprechend höheren Anforderungen an die Lage-Sensorik. *Fa. Sensitec* zeigt in einem Beitrag, dass magnetoresistive Sensoren diese Anforderungen erfüllen können. Es werden die Technologien für magnetoresistive Sensoren (Bild 5) aufgezeigt und auf dieser Basis eine Vielzahl von Applikationen behandelt.

Die angestrebte Symmetrie der Motorwicklung ist von großer Bedeutung und

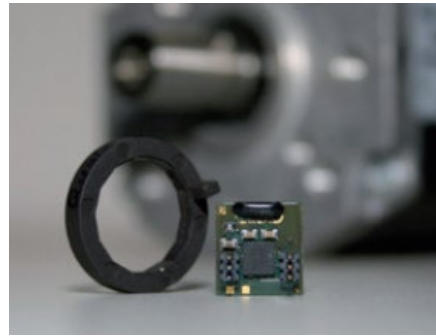


Bild 5: Encoder Kit, 32-poliger Magnetring mit Elektronikmodul

mögliche Abweichungen sollten bereits beim Produktionsvorgang erkannt werden. Von der *Universität des Saarlandes* wird am Beispiel der Luftspaltwicklung ein Messverfahren vorgestellt, das eine produktionsbegleitende Kontrolle der Wicklungssymmetrie ermöglicht. Neben der schaltungstechnischen Realisierung wird auch der praktische Einsatz des Messverfahrens behandelt.

Bei der Produktion elektromagnetischer Aktoren, hierzu gehören zum Beispiel Relais, Ventile und Bremsen, ist eine zerstörungsfreie Prüfung parallel zur laufenden Produktion möglich, wenn die Sensorfunktion des gefertigten Aktors genutzt wird. *Fa. Kendrion* verwendet dieses Prinzip und zeigt, wie die gewonnenen Sensorsignale zur Fehlerdiagnose genutzt werden können. An ausgewählten Fehlerfällen wird die Wirksamkeit des Verfahrens eindrucksvoll erläutert.

Antriebssteuerung und -regelung

Die für den feldorientierten Betrieb von PM Synchronmotoren erforderliche Rotorlage kann auch sensorlos erfasst werden. Von der *Universität des Saarlandes* wird hierfür ein neuartiges Verfahren vorgestellt, bei dem die Rotorlage aus der synchron zu den PWM-Signalen gemessenen Sternpunktspannung abgeleitet wird. Vorgestellt werden neben der Theorie des neuen Verfahrens auch die praktische Erprobung im Vergleich zur messtechnischen Erfassung der Rotorlage. Für die Analyse von Regelkonzepten für Klein- und Mikroantriebe, speziell für bürstenlose Motoren, wird ferner ein Motion Control Messsystem vorge-

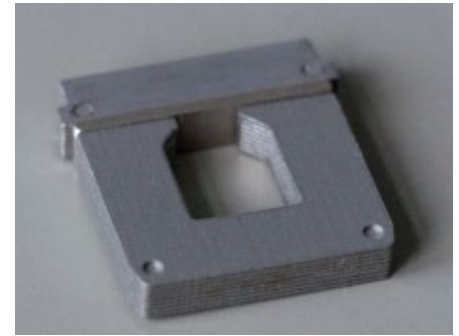


Bild 6: Ständerjoch einer Transversalflossmaschine

stellt, das sich durch eine einfache Bedienweise auszeichnet.

Am Beispiel von Antrieben mit permanentmagneterregten DC Motoren wird von der *TH Nürnberg* eine modellbasierte prädiktive Regelung vorgestellt. Neben der Modellierung und Simulation von Sollwert- und Lastsprüngen werden die Eigenschaften der modellbasierten prädiktiven Regelung experimentell untermauert.

Zur Reduzierung der Drehmomentwelligkeit von PM Transversalflossmaschinen (Bild 6) wird in einem Beitrag von der *Universität Magdeburg* eine Vorsteuerung in Form einer Stromsollwert-Aufschaltung vorgeschlagen. Die Entstehung der Drehmomentwelligkeit, die Regelungsstrategie und die experimentelle Erprobung der vorgeschlagenen Regelungsstrategie werden vorgestellt.

Ein Beitrag von *Fa. Bosch/TU Ilmenau* behandelt die Reduzierung der Zahneingriffsgeräusche von Getrieben in Antriebssträngen mit EC Motoren. Neben der Modellierung des Antriebsstranges werden die Regelungsstruktur sowie die Ergebnisse von Simulation und experimenteller Erprobung beschrieben.

Zur Verbesserung der Regeleigenschaften von KFZ-Kleinantrieben mit DC Motoren wird von der *FH Hannover* die Nutzung nichtlinearer Regelungsmethoden vorgeschlagen. Zwei Ansätze, die auf einer automatischen Identifikation des nichtlinearen Modells basieren, werden beschrieben und mittels einer Rapid-Prototyping-Hardware in Echtzeit erprobt. Von der *FH Hannover*

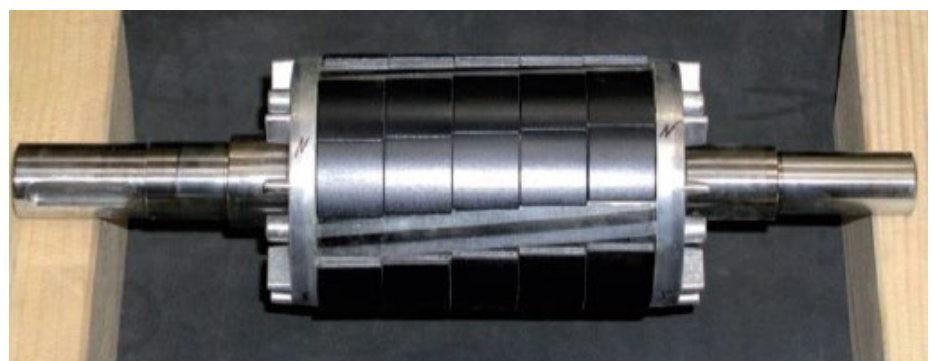


Bild 7: PM Line-Start Läufer mit Oberflächenmagneten (noch ohne Bandage)

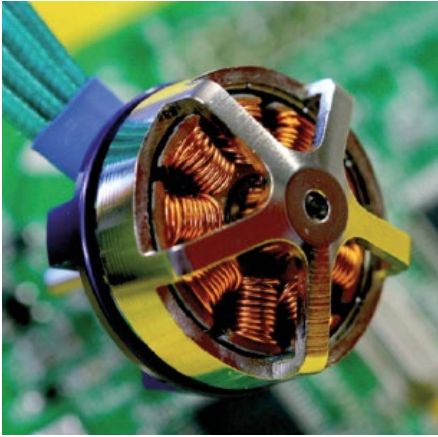


Bild 8: 12-poliger PM Synchronmotor in Zahnpulentechnik mit Außenläufer

wird ferner eine Methodik zur experimentellen Identifikation der Dynamik serieller Roboter vorgestellt. Ziel ist es hierbei, alle Modellparameter robust zu identifizieren. Die Ergebnisse der Parameteridentifikation liefern die Drehmomentgrößen zur Vorsteuerung der Roboterantriebe.

Entwurf und Simulation von Synchronmaschinen und Antriebssystemen

Bei kleinen Baugrößen ist es prinzipbedingt nicht möglich, Line-Start Motoren der Energieeffizienzklasse IE4 in bewährter Asynchrontechnik auszuführen. Von der *TU Kaiserslautern* wird untersucht, wie diese Produktlücke mit PM Line-Start Motoren geschlossen werden kann. In enger Komponentenkopplung zu bestehenden Käfigläufermotoren geringerer Energieeffizienzklasse wird der Käfigläufer hierzu um gegenfeldstabile Seltenerde-Magnete an der Läuferoberfläche erweitert (Bild 7 Seite 24). Neben dem Design der PM Line-Start Motoren wird durch Auslegungsstudien im Baugrößenbereich AH63-90 gezeigt, wie die IE4-Produktlücke geschlossen werden kann.

Für ein Elektro-Trike wurde von der *TU Ilmenau* der Fahrtrieb entwickelt. Es handelt sich um einen PM Synchronmotor in Zahnpulentechnik, der über einen Pulswechselrichter aus einer 50 V Batterie gespeist wird. Das Design des Antriebsstrangs und die Erprobung des Fahrtriebs auf dem Versuchsstand werden dargestellt.

Der Einfluss von Spannungsüberschwingungen und Rastmomenten auf den Gleichlauf von Servoantrieben mit PM Synchronmotoren wird von der *FH Hannover* untersucht. Am Beispiel einer Servoachse wird das Betriebsverhalten in d-q-Koordinaten beschrieben und der störende Einfluss von Rastmomenten bzw. Spannungsüberschwingungen wird in Form von Parameterstudien simuliert.

Die mögliche Ablösung von kleineren Käfigläufermotoren (Baugröße ≤ 90) bei umrichtergespeisten Antrieben durch Synchron-Reluktanzmotoren wird von der *FH*

Düsseldorf untersucht. Ausgehend von zwei 4-poligen Käfigläufermotoren unterschiedlicher Baugröße wird der numerische Entwurf für den jeweils alternativen Synchron-Reluktanzmotor detailliert beschrieben. In Abhängigkeit des mechanischen Luftspaltes werden die stationären Betriebsgrößen der alternativen Motorkonzepte verglichen.

Ein weiterer Beitrag der *FH Düsseldorf* beschäftigt sich mit der Verbesserung des Betriebsverhaltens kleiner Käfigläufermotoren durch eine optimale Wahl der gegenseitigen Schrägung zwischen Ständer und Läufer sowie durch die Wahl einer harmonisch verteilten Wicklung. Da der untere Leistungsbereich betrachtet wird, werden neben dem 3-phasigen Betrieb auch die Dreieck-Steinmetzschaltung und die 2-strängige Ausführung mit Kondensator-Hilfsphase betrachtet. Die theoretischen Überlegungen werden durch Messungen an einem Funktionsmuster, für das Läufer unterschiedlicher Schrägung zur Verfügung stehen, bestätigt.

Für den feldorientierten Betrieb kleiner PM Synchronmotoren (Bild 8) wird von der *Universität des Saarlandes* das „Direct Flux Control“-Verfahren genutzt, für das kein Rotorlagesensor benötigt wird. Die Erfassung der Rotorlage erfolgt über die rotorlageabhängigen Stranginduktivitäten. Die Möglichkeiten hierzu werden anhand von Simulationen und Messungen diskutiert.

Resümee

Auch die 10. Fachtagung vermittelte den rund 100 Tagungsteilnehmern wieder einen guten Überblick über aktuelle Vorfeldthemen und Produktentwicklungen auf dem Gebiet der Klein- und Mikroantriebstechnik. Die alle 2 Jahre stattfindende Fachtagung bot ein wichtiges Podium zum Meinungsaustausch zwischen Herstellern, Anwendern und Hochschulen.

Literatur

- [1] VDE [Hrsg.]: Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik – ETG/GMM Fachtagung am 14. und 15. September 2015 in Köln, ETG-Fachbericht Nr. 146, VDE Verlag GmbH · Berlin · Offenbach, 2015