

Jahresbericht 2003, 12. Dezember 2003

Projekt Integraldrive II: Integrierter Motor-Umformer mit be- darfsoptimierter Energieaufnahme

Autor und Koautoren	Dr. A. Stoev, Dr. A. Dittrich
beauftragte Institution	Integral Drive Systems AG
Adresse	Technoparkstrasse 1
Telefon, E-mail, Internetadresse	01 5620 620, idasg@idsag.ch , www.idsag.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	100058
Dauer des Projekts (von – bis)	15.03.2003 – 30.06.2005

ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel des Entwicklungsprojektes ist es, einen Low-Cost-Antrieb auf ASM-Basis im Leistungsbereich 0.1 ... 12 kW mit integrierter Energiedrosselung für Strömungsmaschinen zu realisieren, der kosten- und volumenmässig alle marktbekannten Lösungen für drehzahlverstellbare Antriebe unterbietet und eine echte Motivation für den Einsatz drehzahlvariabler Antriebe darstellt.

Die Projektziele für das Jahr 2003 wurden erreicht. Das Leistungsteil (rotierende Elektronik) wurde spezifiziert und ausgelegt. Für die Speisung und Signalübertragung zum Leistungsteil wurde eine kostengünstige und zuverlässige Lösung entwickelt. Für die mechanische Ausführung und das Packaging der gesamten Umrichter-Baugruppe, bestehend aus Zusatzwiderstand, Kühlkörper, Lüfterrad und Elektronikgehäuse liegt eine kompakte und robuste konstruktive Lösung vor. Der Zusatzwiderstand wurde designed und als Prototyp gefertigt und getestet.

Es wurde ein Prüfstand für Messungen, Tests und die weitere Entwicklung aufgebaut. Der verwendete 3 kW-Asynchronmotor wurde speziell für das Projekt ausgelegt.

Die Auslegung der Schaltung und Komponenten wurde durch Simulationen und Messungen unterstützt und verifiziert. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Beherrschung nichtstationärer und ausserordentlicher Betriebszustände und der thermischen und elektrischen Dimensionierung der Bauelemente.

Damit wurde ein wesentlicher Schritt zu einem innovativen drehzahlvariablen Antrieb geleistet, der als kompakte und kostengünstige Lösung im Pumpen- und Lüfterbereich ein bedeutendes Energiesparpotential bietet.

Projektziele

Die grössten Verbraucher elektrischer Energie in der Industrie in der Schweiz und im EU-Raum sind Pumpen und Lüfter, welche von Asynchronmotoren (ASM) angetrieben werden. Der Energieanteil beträgt etwa 30 % des industriellen Stromverbrauches.

Ein Grossteil der Motoren für Pumpen und Lüfter (P&L) laufen ungeregelt, d.h. Ihr Energiekonsum kann nicht an den Bedarf angepasst werden. Dadurch werden grosse Mengen elektrischer Energie unnötig verbraucht.

Das Einsparpotential für den verstärkten Einsatz geregelter P&L-Antriebe in der Industrie kann für die Schweiz überschlägig folgendermassen abgeschätzt werden [1]:

Bei einem Energieverbrauch in der Industrie im Jahr 2002 von 18'200 GWh (entspricht 34 % des Gesamtverbrauchs) entfallen auf

- P&L-Antriebe etwa 5500 GWh (30 %),
- davon auf geregelte Antriebe etwa 440 GWh (8 %).

Gelänge es, diesen Anteil zu verdoppeln, ergibt sich bei ca. 50 % Energieeinsparung gegenüber ungeregelten Antrieben ein Potential von ca. 220 GWh.

Geht man im EU-Bereich von anteilmässig ähnlichen Verhältnissen aus, ergibt sich hier bei einem Gesamtverbrauch von ca. 2600 TWh für 2001 [2] ein Einsparpotential von ca. 11000 GWh.

Das Ziel des Entwicklungsprojektes ist es, einen Low-Cost-Antrieb (**Integraldrive II**) auf ASM-Basis im Leistungsbereich 0.1 ... 12 kW mit integrierter Energiedrosselung für Strömungsmaschinen zu realisieren, der kosten- und volumenmässig alle marktbekannten Lösungen für drehzahlverstellbare Antriebe unterbietet und eine echte Motivation für den Einsatz drehzahlvariabler Antriebe darstellt.

Das Konzept des Integraldrive II beruht auf dem Prinzip der Drehzahlstellung von ASM mittels gepulstem Läuferwiderstand, wobei durch Integration des Läuferzusatzwiderstandes und der Leistungselektronik im rotierenden Teil des Motors ein extrem kompaktes Design und eine bisher nicht erreichte Kosteneffizienz realisiert werden.

Für das Berichtsjahr waren folgende Entwicklungsziele gestellt:

Spezifikation und elektrisches Design

- Leistungsteil
- Speisung und Signalübertragung

Simulation

- Elektronik und Netzrückwirkungen
- Energiebilanz

Konstruktion

- Modifikation des Motors, Gesamtaufbau
- Design Zusatzwiderstand
- Design Kühlkörper und Lüfterrad
- Design Steuerelektronik rotierend

Prototypenbau, Messungen

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

SPEZIFIKATION UND ELEKTRISCHES DESIGN

Leistungsteil

Fig. 1 zeigt das Blockscha von Leistungsteil und Steuerelektronik für den mitrotierenden Teil.

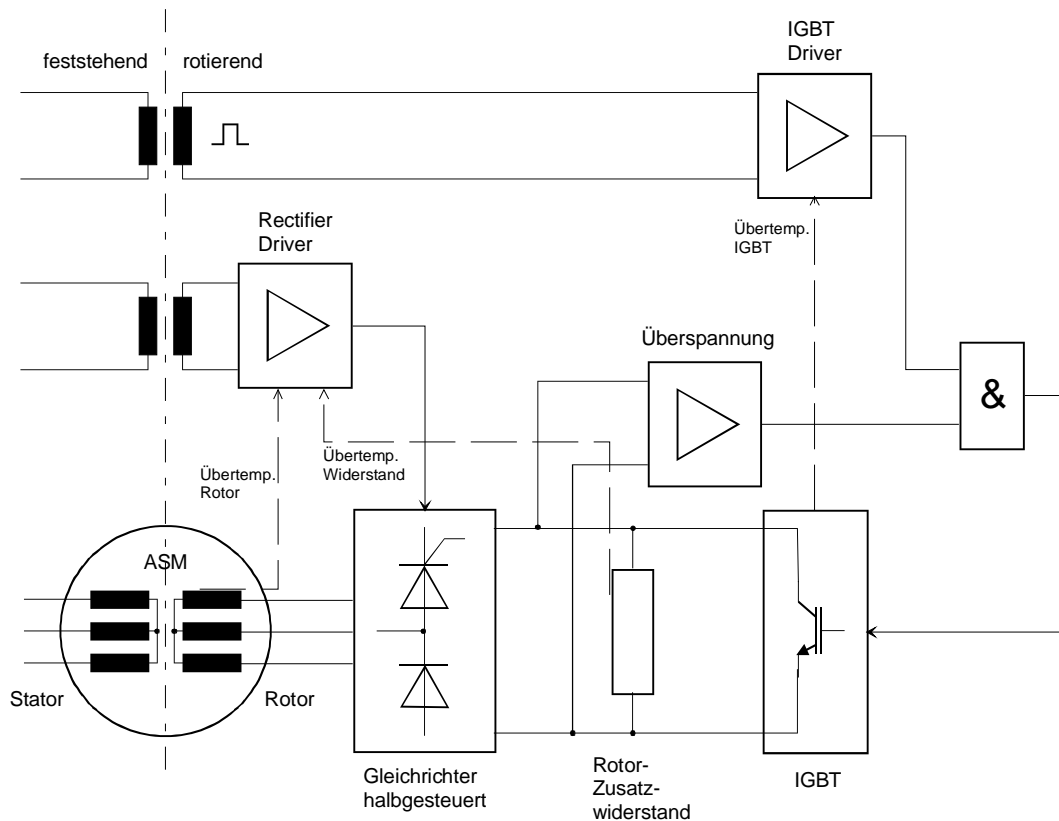


Fig. 1: Übersichtsscha der mitrotierenden Rotorelektronik

Hauptkomponenten sind der Rotorzusatzwiderstand zur Schlupfverstellung und der IGBT zur Modulation und damit kontinuierlichen Verstellung des Zusatzwiderstandes. Der Rotorstrom wird gleichgerichtet und teilt sich je nach Modulationsverhältnis zwischen IGBT und Zusatzwiderstand auf. Der Rotorgleichrichter ist halbgesteuert ausgeführt, damit der Rotorstromfluss im Fehlerfall unterbrochen werden kann. Die Steuersignale werden induktiv über Übertrager eingekoppelt. Neben der Funktion der Schlupfverstellung durch Widerstandsmodulation sind folgende Schutzfunktionen integriert:

- Übertemperaturschutz des Zusatzwiderstandes und des Rotors (Unterbrechung des Rotorstroms)
- Anlauf- und Überstromschutz. Zum Schutz des IGBT vor allem beim Anlauf wird der IGBT bei zu hoher Rotorspannung (zu kleiner Drehzahl) gesperrt. Der Motor wird mit Zusatzwiderstand hochgefahren.
- Übertemperaturschutz des IGBT (IGBT wird gesperrt)

Speisung und Signalübertragung

Für Speisung und Signalübertragung wurden verschiedene Varianten untersucht, wie Gewinnung der Ansteuerleistung aus der Rotorwicklung oder optische Übertragung der Steuersignale. Als günstigste Lösung wurde die Übertragung mittels Luftübertrager ermittelt. Diese bietet folgende Vorteile:

- Speisung und Signalübertragung über den gleichen Übertragungsweg (vgl. Fig. 1)
- Keine zusätzlichen Modifikationen im Motor
- Robuster (unanfällig gegen Verschmutzung) und platzsparender Aufbau

Fig. 2 zeigt den Prototyp eines entsprechenden Übertragers.

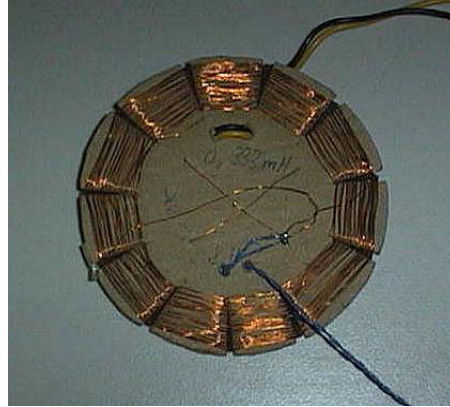


Fig. 2: Prototyp eines Übertragers für Signal- und Speisespannungs-Übertragung

SIMULATION

Elektronik und Netzrückwirkungen

Die Simulation der Schaltung und der Verläufe der auftretenden elektrischen Größen erfolgt erstens mit dem Ziel, die Spannungs- und Strombeanspruchung der Komponenten zu ermitteln, um die notwendigen Daten für deren Auslegung zu gewinnen.

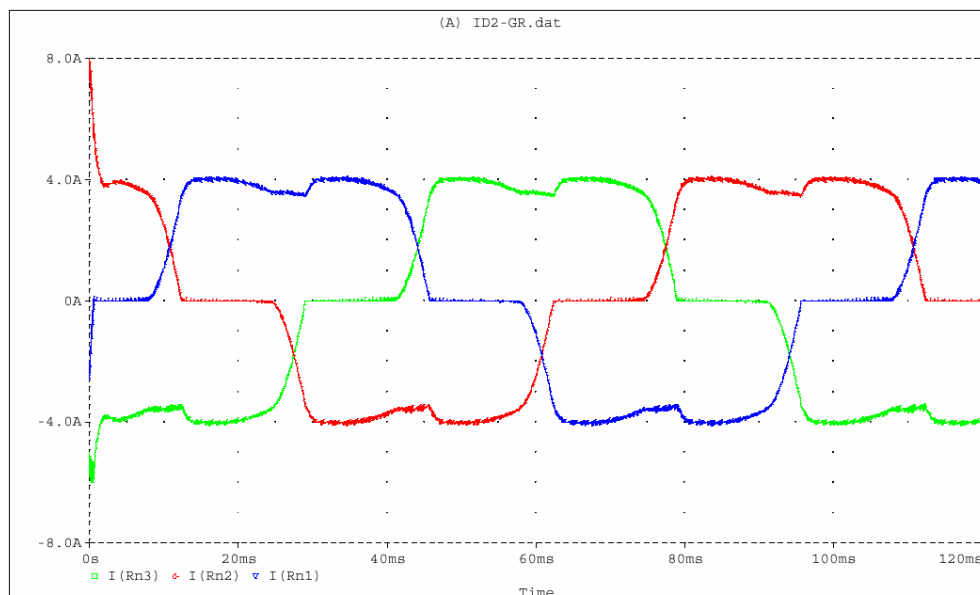


Fig. 3: Rotorstromverläufe für Schlupf = 20% und $M = 0.25 \cdot M_N$

Durch die leistungselektronische Steuerung (Gleichrichtung, Pulsung) der Rotorgrößen treten Stromverzerrungen und Harmonische in den Strömen auf, die auch auf die Statorseite gekoppelt werden und im Netz erscheinen. Daher hat die Simulation weiterhin das Ziel, die entsprechenden Werte quantitativ zu erfassen und die Auslegung so zu optimieren, dass einschlägige Grenzwerte nicht überschritten werden. Fig. 3 zeigt als Beispiel die Rotorstromverläufe für 10 Hz Rotorfrequenz (20% Schlupf) und 25% Drehmoment.

Leistungs- und Energiebilanz

Die Simulationen zur Leistungs- und Energiebilanz haben folgende Ziele:

- Ermittlung der Läuferverluste für verschiedene Lastfälle und damit der notwendigen Daten zur thermischen Auslegung des Zusatzwiderstandes und der Elektronik
- Ermittlung der Steuerkennlinien (Modulationskennlinien) für verschiedene Lastfälle und Moment/Schlupf-Charakteristiken
- Ermittlung energetisch optimaler Steuerkennlinien

Die Fig. 4 und 5 zeigen Beispiele für die Fälle konstantes Moment und quadratisch von der Drehzahl abhängiges Moment (Lüftercharakteristik).

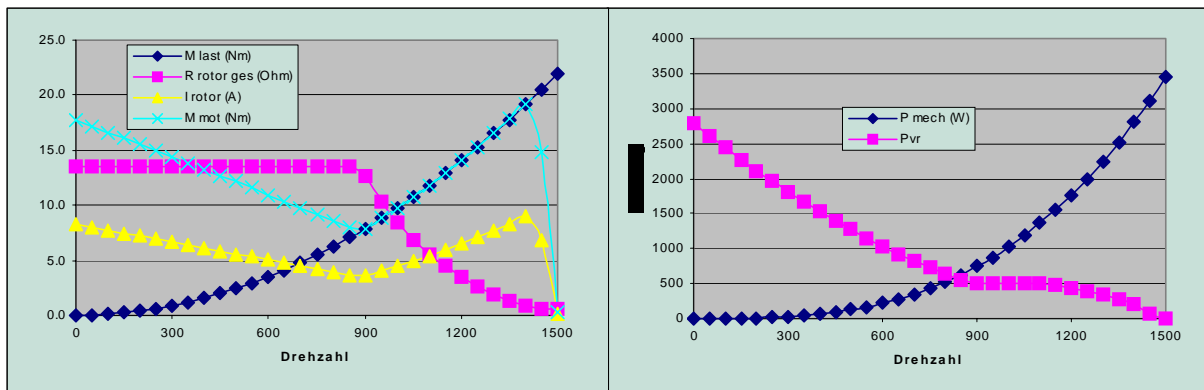


Fig. 4: Kennlinien für quadratische Moment-Drehzahl-Charakteristik

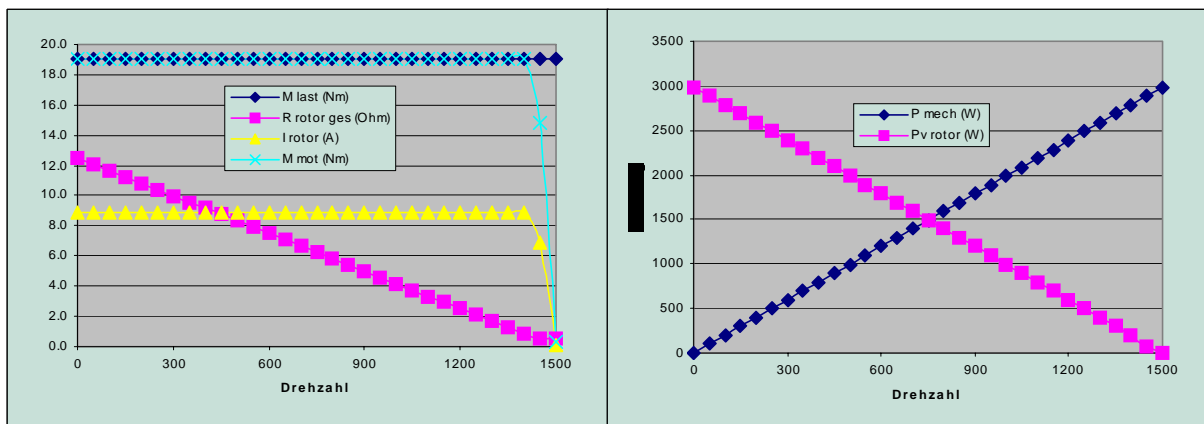


Fig. 5: Kennlinien für konstantes Lastmoment (= Nennmoment)

Integraldrive II ist vorrangig für das Marktsegment Pumpen- und Lüfterantriebe konzipiert, und die Ergebnisse der Simulation lassen deutlich erkennen, dass ein derartiger Antrieb für diese Lastcharakteristik energetisch vorteilhaft betrieben werden kann. Der praktisch nutzbare Stellbereich (Fig. 4) liegt für die gegebene Auslegung und Belastung bei etwa 900 ... 1500 min⁻¹, also im Modulationsbereich des Zusatzwiderstandes. Eine Erweiterung des Stellbereichs nach unten würde für die gegebene Lastcharakteristik eine Vergrößerung des Wertes des Zusatzwiderstandes erforderlich machen.

Die Kennlinien für konstantes Moment wurden zum Vergleich in Fig. 5 dargestellt. Sie zeigen, dass der Antrieb bei unmoduliertem Zusatzwiderstand mit Nennmoment anlaufen kann. Anlaufüberströme, wie bei Kurzschlussläufermotoren üblich, werden durch den Widerstandsanlauf vermieden.

KONSTRUKTION

Gesamtaufbau

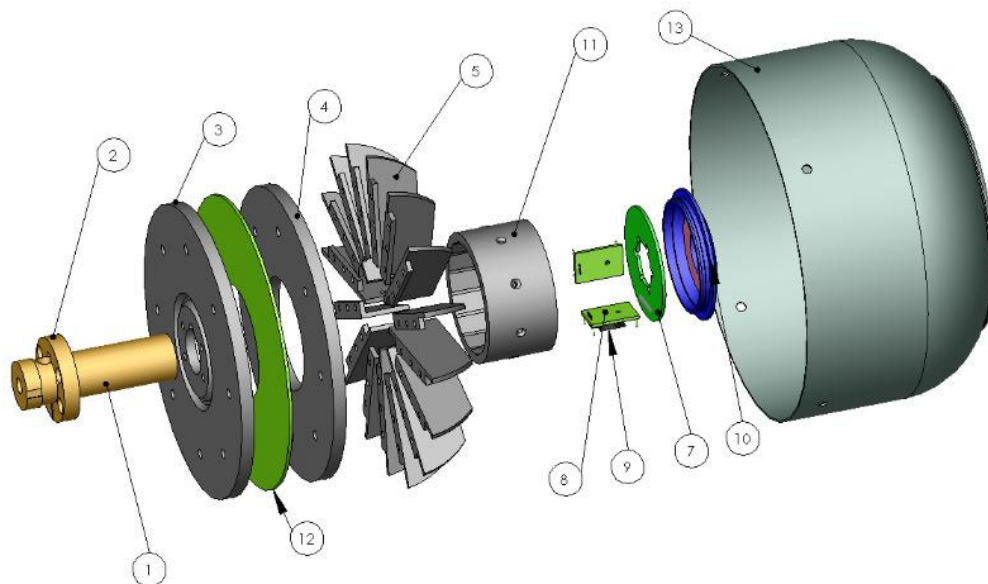
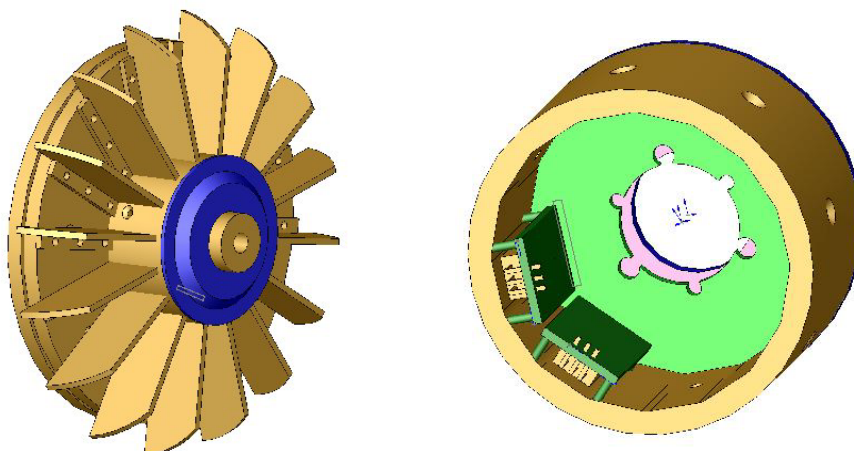


Fig. 6: Gesamtansicht mit Einzeldarstellung der Komponenten

- | | |
|---|------------------------------|
| 1 - Motorwelle | 8, 9 - Elektronikkomponenten |
| 2 - Klemmring | 10 - Gehäusedeckel |
| 3, 4 - Kühlkörper für Zusatzwiderstand | 11 - Elektronikgehäuse |
| 5 - Lüfterrad | 12 - Zusatzwiderstand |
| 7 - Trägerplatine für rotierende Elektronik | 13 - Lüfterhaube |

Fig. 6 zeigt eine Ansicht der am Motor zu platzierenden, rotierenden Komponenten in Einzeldarstellung. Der Zusatzwiderstand wird zwischen zwei scheibenförmige Kühlkörper montiert. Die Elektronikkomponenten sind als Bestandteil des Lüfterrades nahe an der Welle angeordnet, wodurch Exzentrizitäten vermieden werden. Die Anordnung und Ausführung des Lüfterrades gewährleistet eine ausreichende Kühlung von Zusatzwiderstand, Elektronik und Motor.

Fig. 7: Montierte Umrichtereinheit (links) und Elektronikgehäuse (rechts)



In montierter Form (Fig. 7) entsteht daraus eine hochkompakte und robuste Einheit, die nur unwesentlich länger als das Standard-Lüfterrad ist. Zusätzlich ist in Fig. 7 das Elektronikgehäuse als Detail dargestellt.

Zusatzwiderstand

Der Zusatzwiderstand besteht aus Standard-Printmaterial, auf dessen gesamte Fläche eine Leiterbahn geätzt ist (Fig. 8). Durch die direkte Montage zwischen 2 Kühlkörper ist eine optimale Wärmeabfuhr gewährleistet.

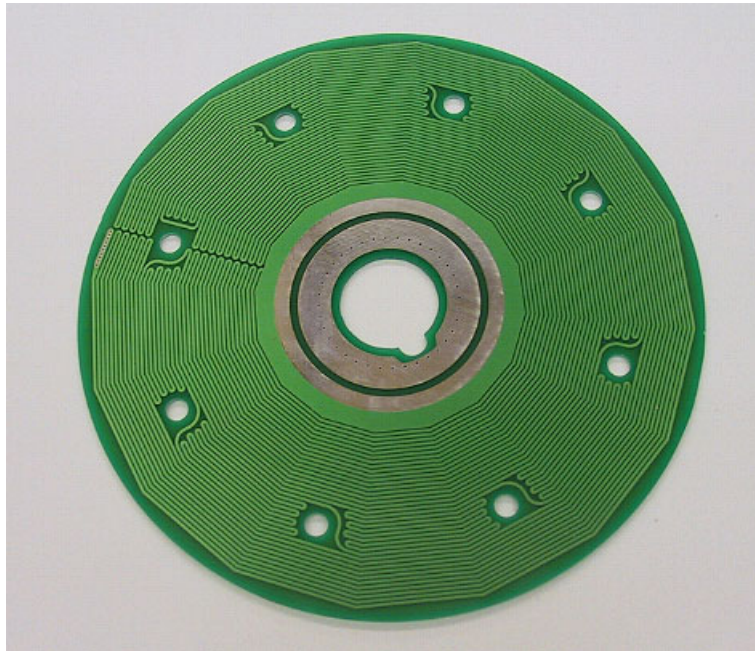


Fig. 8: Zusatzwiderstand

PRÜFSTAND, PROTOTYPBAU UND MESSUNGEN

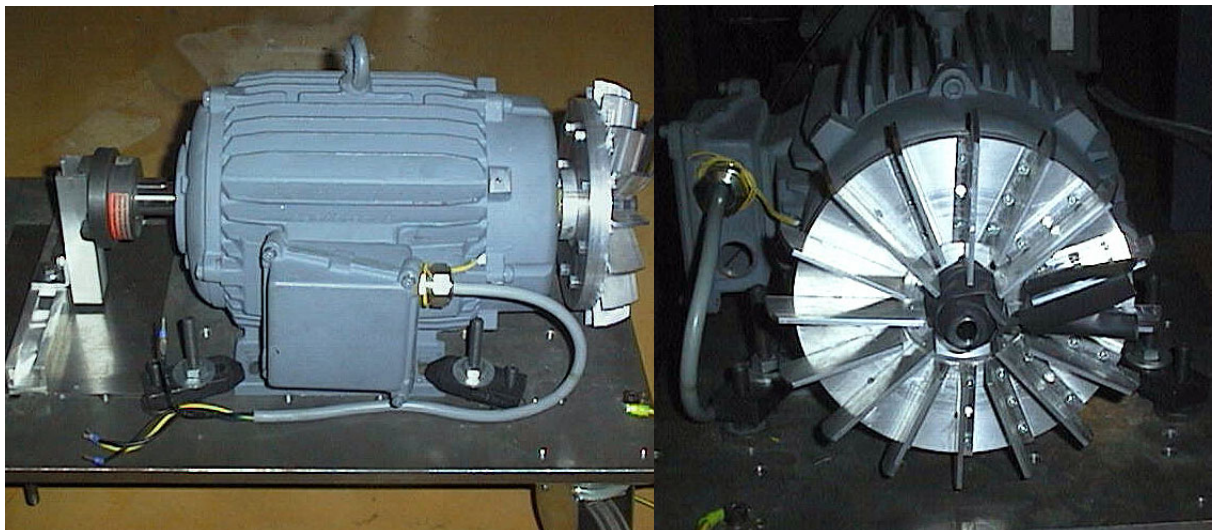


Fig. 9: Testmotor und Prüfstand

Für Messungen und Tests wurde der in Fig. 9 dargestellte Prototyp-Prüfstand aufgebaut. Es wird ein 3 kW-Asynchronmotor der Firma *KATT Motoren* mit gewickeltem Läufer ohne Schleifringe verwendet, der speziell für das Projekt ausgelegt wurde. Die Anschlüsse der Läuferwicklung sind herausgeführt und für die Verschaltung mit der Integraldrive-Elektronik vorbereitet.

Die Elektronik wurde für die Testmessungen zunächst als eigenständige Baugruppe extern aufgebaut (Fig. 10). Es ist bereits an diesem Prototyp zu erkennen, dass der Platzbedarf sehr gering und eine Integration in die Lüftereinheit konstruktiv lösbar ist.

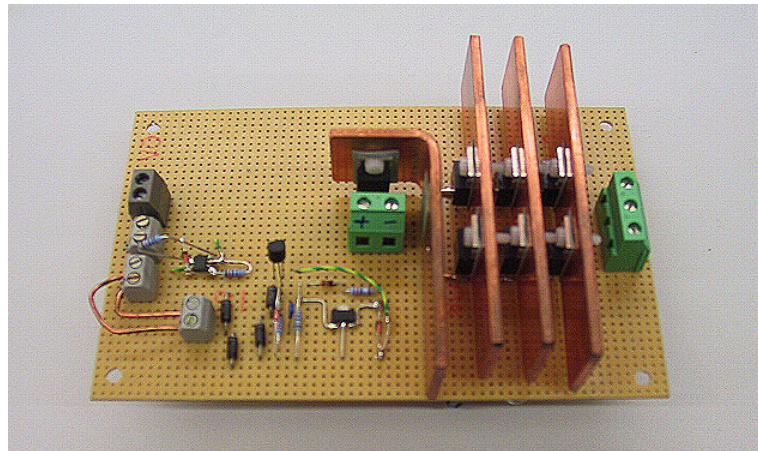


Fig. 10: Prototyp für rotierende Elektronik

Mit dem aufgebauten Prototyp wurde eine Reihe von Messungen durchgeführt:

- Ermittlung der Motordaten und des Ersatzschaltbildes
- Auslegung der Elektronik: Ansteuerdynamik, Ansteuerleistung, thermische Belastung, Schaltverhalten der Komponenten und erreichbare Schaltfrequenz, Belastung durch Oberschwingungsströme
- Messungen am festgebremsten Motor zur Untersuchung des Anlaufverhaltens und der thermischen Belastung der Komponenten
- Modulation und Pulsbetrieb des Zusatzwiderstandes
- Funktion und Auslegung des Übertemperatur- und Überstromschutzes, Anlaufverhalten des Antriebs
- Rückwirkungen des Umrichterbetriebs im Läufer auf den Ständerkreis
- Transformatorische Übertragung der Speisung und der Steuersignale und Auslegung der zugehörigen Signalelektronik

Im Ergebnis liegt eine optimierte Baugruppe als Prototyp vor. Die Funktionalität unter verschiedenen Lastfällen und Betriebsbedingungen wurde getestet und nachgewiesen. Besonderes Augenmerk wurde auf die nichtstationären und ausserordentlichen Betriebszustände gelegt (Anlauf, Bremsen, Überlastung), die die grösste Beanspruchung für die Komponenten darstellen.

Nationale Zusammenarbeit

Eine technische und kommerzielle Zusammenarbeit mit der Firma *Pabst*, dem europaweit führenden Lüfterhersteller, ist nach Abschluss der Prototypentwicklung vorgesehen.

Internationale Zusammenarbeit

Das Motordesign für den Prototyp erfolgte gemeinsam mit der Firma *KATT Motoren*, Deutschland.

Bewertung 2003 und Ausblick 2004

Die Projektziele für das Jahr 2003 wurden erreicht. Das Leistungsteil (rotierende Elektronik) wurde spezifiziert und ausgelegt. Für die Speisung und Signalübertragung zum Leistungsteil wurde eine kostengünstige und zuverlässige Lösung entwickelt. Für die mechanische Ausführung und das Packaging der gesamten Umrichter-Baugruppe, bestehend aus Zusatzwiderstand, Kühlkörper, Lüfterrad und Elektronikgehäuse liegt eine kompakte und robuste, konstruktive Lösung vor. Der Zusatzwiderstand wurde designed und als Prototyp gefertigt und getestet.

Es wurde ein Prüfstand für Messungen, Tests und die weitere Entwicklung aufgebaut. Der verwendete 3 kW-Asynchronmotor wurde speziell für das Projekt ausgelegt.

Die Auslegung der Schaltung und Komponenten wurde durch Simulationen und Messungen unterstützt und verifiziert. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Beherrschung nichtstationärer und ausserordentlicher Betriebszustände und der thermischen und elektrischen Dimensionierung der Bauelemente.

Damit wurde ein wesentlicher Schritt zu einem innovativen drehzahlvariablen Antrieb geleistet, der als kompakte und kostengünstige Lösung im Pumpen- und Lüfterbereich ein bedeutendes Energiesparpotential bietet.

Zum Teil wurden Aufgaben der zweiten Projektphase vorgezogen (Untersuchung des Anlaufverhaltens, Teststandbau), da die entsprechenden Ergebnisse für die Komponentenauslegung erforderlich waren, und dafür die mechanische Komplettierung des Prototypen in die zweite Phase verlegt.

In der zweiten Projektphase werden die Arbeiten fortgesetzt mit den Schwerpunkten

- Design und Aufbau der externen (stationären) Steuerung
- Design, Implementierung und Test der Steueralgorithmen für ein- und dreiphasige Lösung
- Komplettierung des Prototypen, Messungen am Testantrieb für verschiedene Lastfälle, Anwendungen und Steuerungsverfahren
- Redesign von Elektronik und Konstruktion

Referenzen

- [1] Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2002,
<http://www.energie-schweiz.ch/internet/02360/index.html?lang=de>
- [2] eurostat-Statistik Energie – Elektrizität – Nettoerzeugung,
<http://europa.eu.int/comm/eurostat>