

Jahresbericht 2004, 02. Dezember 2004

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/ 150059
Dauer des Projekts (von – bis)	15.03.2003 – 30.06.2005

ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel des Entwicklungsprojektes ist es, einen Low-Cost-Antrieb auf Asynchronmotor-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 derartiger Antriebe darstellt.

Der Meilenstein für 2004 wurde erreicht.

Das Leistungsteil (rotierende Elektronik) wurde komplettiert und in den Prototyp integriert. Für Speisung und Signalübertragung zum Leistungsteil wurden kostengünstige und zuverlässige Lösungen entwickelt und ebenfalls in den Prototyp integriert. Für die mechanische Ausführung und das Packaging der gesamten Umrichter-Baugruppe, bestehend aus Zusatzwiderstand, Kühlkörper, Lüfterrad und Elektronikgehäuse, liegt eine funktionsfähige, kompakte und robuste Prototyplösung vor. Es wurde eine externe Steuereinheit als Prototyp entwickelt.

Es wurde ein Prüfstand für Messungen, Tests und die weitere Entwicklung aufgebaut. Der Prototyp wurde umfangreichen Testmessungen zur Verifizierung des mechanischen, elektrischen und thermischen Designs unterzogen.

Im Ergebnis der Tests, zur weiteren konstruktiven Optimierung und im Hinblick auf die Ableitung verschiedener Baugrößen wurde die Umrichtereinheit einem konstruktiven Redesign unterzogen. Wesentliches Ziel des Redesigns ist die Ableitung einer Baureihe mit den Baugrößen 0.8 ... 4 kW aus dem gleichen Basisdesign, damit Reduzierung der späteren Produktions einführungskosten und Verbreiterung des Zielmarktes.

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 Asynchronmotor(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:

Komplettierung und Redesign des Prototyps

- Integration des Leistungssteils
- Integration von Speisung und Signalübertragung

Prüfstandaufbau und Messungen

- Mechanische Tests
- Thermische Messungen, Verifizierung der Auslegung
- Messungen zur Signalübertragung

Überarbeitung der Konstruktion

Regelung und externes Steuergerät

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

KOMPLETTIERUNG UND REDESIGN DES PROTOTYPS

Der im ersten Projektjahr aufgebaute Prototyp wurde mechanisch überarbeitet und komplettiert mit den folgenden Zielstellungen:

- Implementierung der Bauteile zur Signalübertragung
- Integration der rotierenden Elektronik
- Vorbereitung von Prüfstandsmessungen

Gesamtansicht

Der Kühlstern der Umrichtereinheit ersetzt das ursprüngliche Lüfterrad des Motors. Er umschliesst radial den Elektronikzylinder. Axial ist auf der Motorseite der Zusatzwiderstand (als Printwiderstand) aufgeschraubt und wird durch eine Aluminium-Kühlplatte an den Kühlstern angepresst. Zwischen Kühlstern und Lagerschild des Motors sind die Signaltransformator-Prints angeordnet, bestehend aus feststehendem (am Lagerschild fixiert) und rotierendem Teil.



Bild 1: Motor mit montierter Umrichtereinheit

Bild 2: Demontierter Kühlstern mit rotierendem Teil des Signaltrafos



Zusatzwiderstand und Kühlstern

Der Zusatzwiderstand wird zwischen zwei scheibenförmige Kühlkörper montiert, wobei einer fest mit dem Kühlstern verbunden ist. Die Anordnung und Ausführung des Lüfterrades gewährleistet eine ausreichende Kühlung von Zusatzwiderstand, Elektronik und Motor. Der Zusatzwiderstand besteht aus Standard-Printmaterial, auf dessen gesamte Fläche eine Leiterbahn geätzt ist. Durch die direkte Montage zwischen die Kühlkörper ist eine optimale Wärmeabfuhr gewährleistet. Bild 3 zeigt den Kühlstern von der Widerstandsseite mit teilweise montierter Elektronik.

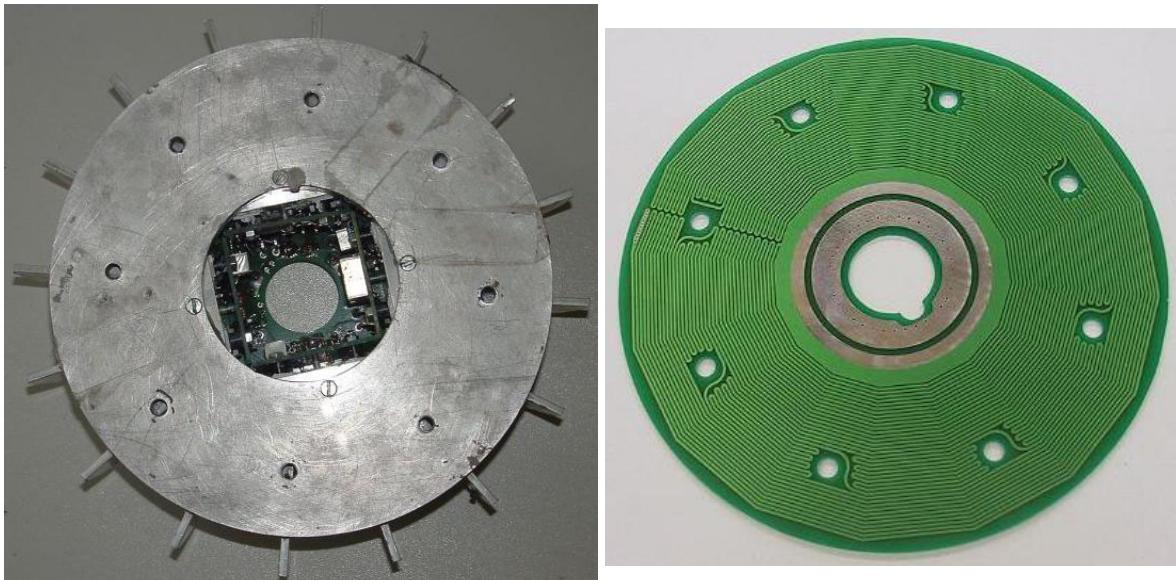


Bild 3: Kühlstern und Zusatzwiderstand

Elektronik

Die Elektronikkomponenten sind als Bestandteil des Kühlsterns nahe an der Welle in einem zylindrischen Gehäuse angeordnet, wodurch Exzentrizitäten vermieden werden. Die Elektronikkomponenten sind auf 4 Leiterplatten angeordnet, die wiederum auf einer Trägerplatine befestigt sind. Die Leistungsbauteile (IGBTs) befinden sich aussen und werden zur Wärmeableitung auf Vorsprünge im Inneren des Elektronikzylinders geschraubt (Bild 4).



Bild 4: Rotorelektronik, links separat, rechts in Elektronikzylinder

Nach Montage wird der Elektronikzylinder vergossen und im Kühlstern befestigt (Bild 5).

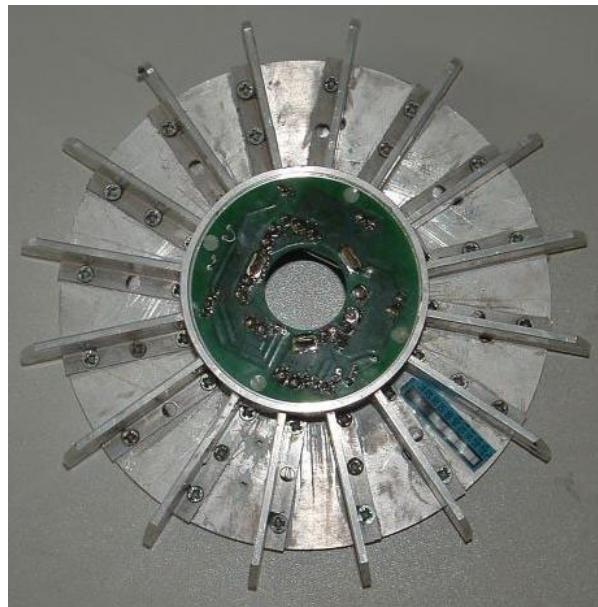


Bild 5: Kühlstern mit eingebauter und vergossener Elektronikeinheit

Signaltransformator

Der Signaltransformator überträgt die Ansteuersignale für die IGBTs des Pulsstellers von der externen Steuereinheit auf die rotierende Elektronik. Nach intensiven Vorarbeiten und Versuchen erhielt das Prinzip der induktiven Übertragung gegenüber optischen Verfahren den Vorzug aus Gründen der Zuverlässigkeit, mechanischen Robustheit und der Unempfindlichkeit gegen Verschmutzung.

Alle Bauelemente sind auf zwei Prints lokalisiert (Bild 6), wobei einer am Lagerschild fixiert ist und der zweite mit der Elektronik rotiert (siehe auch Bild 1). Die Transformatorwicklungen sind als geätzte Printspulen ausgeführt. Bild 2 zeigt den rotierenden Teil des Trafos, montiert am Kühlkörper.



Bild 6: Signaltransformator, links: feststehender Teil, rechts: rotierender Teil

EXTERNES STEUERGERÄT

Es wurde eine Prototypversion eines externen Steuergerätes entwickelt (Bild 7). Die Steuerelektronik erfüllt folgende Funktionen:

- Generierung eines pulsbreitenmodulierten Signals zur Ansteuerung der IGBTs im Umrichter
- Generierung eines Signals zur Ansteuerung der Thyristoren im Umrichter
- Kodierung und Aufbereitung der Signale (Modulation) zur transformatorischen Übertragung auf die rotierende Einheit.

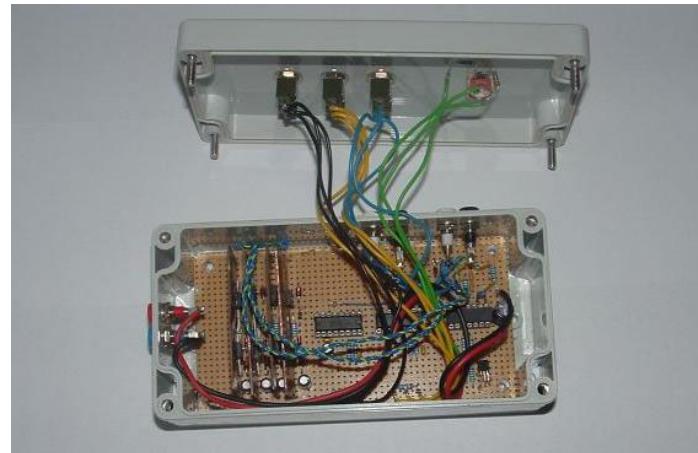


Bild 7: Prototyp der externen Steuereinheit

Bild 8 zeigt ein Blockdiagramm der Schaltung.

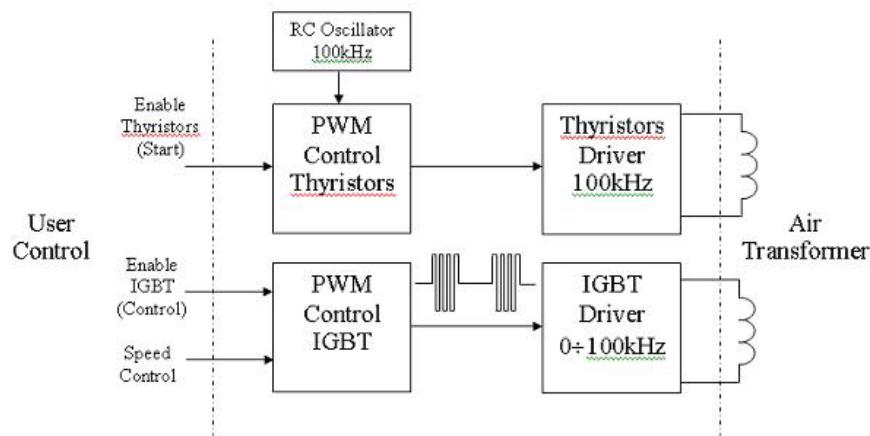


Bild 8: Blockdiagramm des Steuergeräts

PRÜFSTANDSAUFBAU UND TESTMESSUNGEN

Für Messungen und Tests wurde der in Bild 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.

Als Lastmaschine wurde ein drehzahlgeregelter 3 kW Motor verwendet (im Bild nicht dargestellt). Es wurden umfangreiche Messungen durchgeführt zu folgenden Schwerpunkten:



Bild 9: Prüfstand

Mechanische Tests

- Ermittlung der mechanischen Robustheit der Steuerelektronik bei verschiedenen Drehzahlen,
- Messung der Zusatzverluste durch den Lüfter,
- Funktionstest bei verschiedenen Aussteuerungen der IGBTs.

Thermische Messungen und Verifizierung der Auslegung

- Ermittlung der thermischen Eigenschaften von externem Widerstand, Lüfter und Gehäuse
- Messung von Leistungsdichte und thermischer Zeitkonstante des externen Widerstandes
- Messung des Temperaturkoeffizienten der mechanischen Komponenten und des Gehäuses

Messungen zur Signalübertragung zwischen Control-Einheit und Umrichtereinheit

- Ermittlung der optimalen Übertragungsfrequenz
- Ermittlung des optimalen Designs (Luftspalt, Spulenanzahl, Leiterquerschnitt, Verstärker-einheit)

Zuverlässigmessungen

Wichtige Ergebnisse:

- Die Robustheit des mechanischen Designs wurde bestätigt, es wurden keine Probleme festgestellt.

- Der externe Widerstand ist mit dem vorliegenden Design für Verlustleistungen bis 500 W verwendbar, was einem Antrieb mit 3 kW Motor entspricht. Die Temperatur des Elektronikgehäuses liegt zu Nahe am Grenzwert, was ein Redesign erforderlich macht.
- Die Signalübertragung hat sich als zuverlässig und robust erwiesen, im Verlauf der Messungen konnte ein optimiertes Design gefunden werden.

Im Ergebnis liegt eine funktionsfähige Baugruppe als Prototyp vor. Die Funktionalität unter verschiedenen Lastfällen und Betriebsbedingungen wurde getestet und nachgewiesen.

MECHANISCHES UND KONSTRUKTIVES REDESIGN

Im Ergebnis der durchgeführten Messungen und Tests wurden die mechanischen Komponenten einer Optimierung und Überarbeitung unterzogen mit den Zielen

- Optimierung der thermischen Eigenschaften zur Abführung der Verluste in der Elektronik
- Fertigungstechnische Optimierung, Vergrösserung des Platzangebots für die Elektronik
- Optimierung des Volumens
- Abdeckung einer Baureihe mit den Baugrößen 0.8 ... 4 kW mit dem gleichen Design, damit Reduzierung der späteren Produktionseinführungskosten und Verbreiterung des Zielmarktes (Economy of Scale)

Das Ergebnis der konstruktiven Überarbeitung ist in den Bildern 10 und 11 dargestellt. In Auswertung der Prototyp-Messungen wurde vor allem an Verbesserungen hinsichtlich der Wärmeableitung gearbeitet. Kühlstern, Elektronikzyylinder und Widerstandskühlkörper bilden eine Einheit aus Aluminiumguss. Die Elektronik-Leiterplatten werden direkt an den Innenwänden der Einheit befestigt. Der Luftdurchsatz wurde verbessert durch Vergrösserung der wirksamen Lüfterfläche.

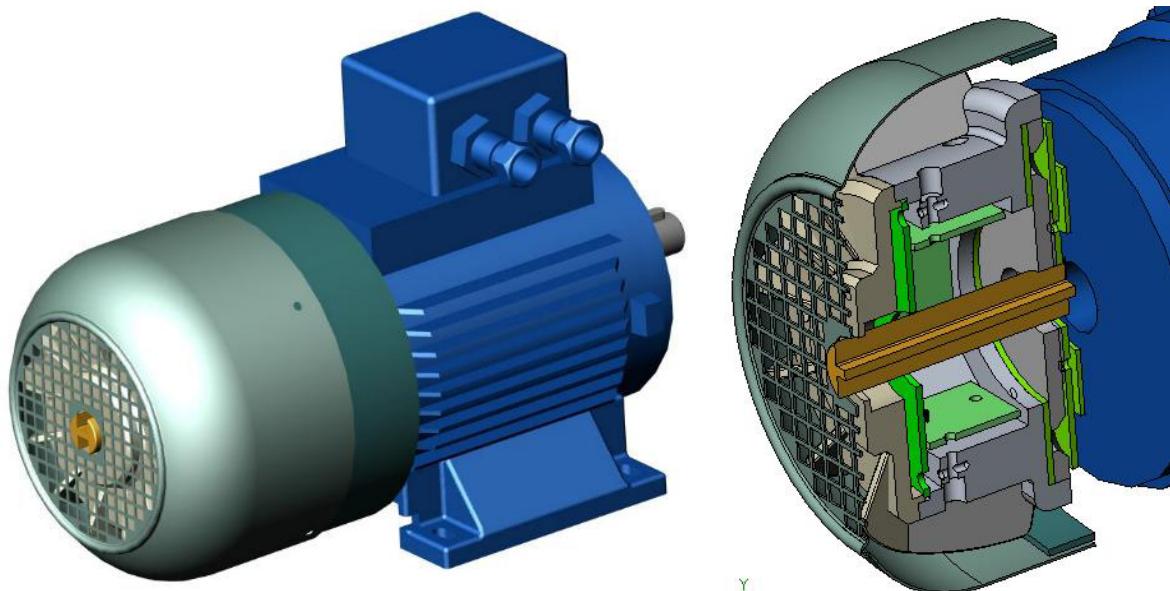


Bild 10: Integraldrive II nach mechanischem Redesign, Gesamtansicht und Schnitt durch Umrichtereinheit

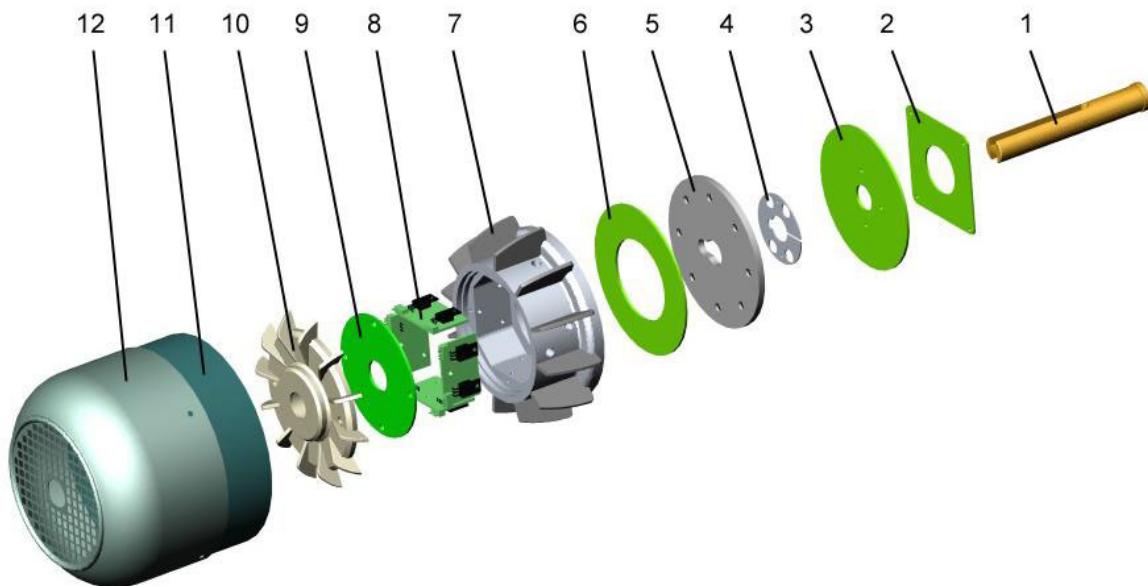


Bild 11: Integraldrive II nach mechanischem Redesign, Explosionsdarstellung

- | | |
|--|---|
| 1 – Wellenaufsatz | 2 – Signaltransformator, feststehender Teil |
| 3 – Signaltrafo, rotierender Teil | 4 – Halterung |
| 5 – Andruck- und Kühlplatte für Widerstand | 7 – Elektronikgehäuse und Kühlstern |
| 6 – externer Widerstand | 9 – Basisprint für Elektronik |
| 8 – Elektronikbaugruppen | |
| 10 – Lüfterrada | 11, 12 – Lüfterhaube |

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 2004 und Ausblick 2005

Die Projektziele für das Jahr 2004 wurden erreicht. Das Leistungsteil (rotierende Elektronik) wurde komplettiert und in den Prototyp integriert. Für Speisung und Signalübertragung zum Leistungsteil wurden kostengünstige und zuverlässige Lösungen entwickelt und ebenfalls in den Prototyp integriert. Für die mechanische Ausführung und das Packaging der gesamten Umrichter-Baugruppe, bestehend aus Zusatzwiderstand, Kühlkörper, Lüfterrada und Elektronikgehäuse, liegt eine funktionsfähige, kompakte und robuste Prototyplösung vor. Es wurde eine externe Steuereinheit als Prototyp entwickelt.

Es wurde ein Prüfstand für Messungen, Tests und die weitere Entwicklung aufgebaut. Der Prototyp wurde umfangreichen Testmessungen zur Verifizierung des mechanischen, elektrischen und thermischen Designs unterzogen, wobei der Schwerpunkt auf die Verifizierung und Optimierung

der thermischen Eigenschaften und die Robustheit des Designs im Hinblick auf die spätere Produktonalisierung gelegt wurde.

Im Ergebnis der Tests, zur weiteren konstruktiven Optimierung und im Hinblick auf die Ableitung verschiedener Baugrößen wurde die Umrichtereinheit einem konstruktiven Redesign unterzogen.

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

Zum Teil wurden die Aufgabenschwerpunkte der zweiten Projektphase neu gewichtet. Priorität wurde mit Sicht auf Zuverlässigkeit und Produktonalisierung dem thermischen und mechanischen Design und umfangreichen diesbezüglichen Tests gegeben. Das Steuergerät liegt als Prototyp vor und wird in der 3. Phase weiter entwickelt. Das konstruktive Redesign erfolgte mit dem Ziel der Ableitung einer Baureihe mit den Baugrößen 0.8 ... 4 kW aus dem gleichen Basisdesign, damit Reduzierung der späteren Produktionseinführungskosten und Verbreiterung des Zielmarktes (Economy of Scale).

In der dritten Projektphase werden die Arbeiten fortgesetzt mit den Schwerpunkten

- Weiterentwicklung der externen (stationären) Steuerung, Komplettierung mit intelligenten Funktionen
- Design, Implementierung und Test der Steueralgorithmen für ein- und dreiphasige Lösung
- Weiterentwicklung des konstruktiven Designs zu einer Produktreihe
- Fortsetzung der Messungen für verschiedene Baugrößen und Steuerverfahren

Referenzen

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