



VERBESSERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ VON AUFZÜGEN UND FÖRDERANLAGEN DURCH ENT- WICKLUNG EINES NEUARTIGEN FREQUENZUM- FORMERS

Jahresbericht 2007

Autor und Koautoren	Paul Kanyó, Mario Bolla
beauftragte Institution	Econodrives GmbH
Adresse	Gewerbeweg 10, 3662 Seftigen
Telefon, E-mail, Internetadresse	033 359 30 52, mario.bolla@telma.ch, www.econodrives.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	101691 / 152042
BFE-Projektleiter	Roland Brüniger
Dauer des Projekts (von – bis)	2007-2008
Datum	30. Nov. 2007

ZUSAMMENFASSUNG

Der Elektrizitätsverbrauch von Aufzugs-Antrieben ist ein bedeutender Anteil vom Energieverbrauch in der Haus-technik. Heute verwendet man in der Aufzugstechnik vorwiegend klassische U-Umrichter. Frühere Arbeiten zeigen, dass in diesem Gebiet ein grosses Energie-Sparpotential vorliegt, da diese Systeme

- Bremsenergie vernichten anstatt rekuperieren (30% bis 40% vom gesamten Energieverbrauch)
- relativ grossen Standby-Verbrauch haben (bis 75% vom gesamten Energieverbrauch)

Systembedingt ist ein U-Umrichter nicht geeignet ohne die Verwendung eines Rückspeisemoduls die Bremsenergie ins AC-Netz zurückzuspeisen (wesentlich höhere Systemkosten, erhöhter Standby- Verbrauch.)

Bei einem U-Umrichter ist es problematisch die Standby-Leistung mit kompletter Abschaltung zwischen zwei Fahrten zu reduzieren, da der Umrichter, auch in stromlosem Zustand, relativ viel Energie in die Zwischenkreis-Kondensatoren speichert.

Von der Fachliteratur sind grundsätzlich zwei Umrichter-Topologien bekannt, welche ins AC-Netz zurückspeisen können und in stromlosem Zustand keine Energie speichern:

- der Matrix Umrichter
- der klassische I-Umrichter

Trotz grossen Anstrengungen konnte sich der Matrix Umrichter bis heute nicht durchsetzen. Gründe dafür sind die erheblich technischen Schwierigkeiten und der sehr hohe Preis.

Im klassischen I-Umrichter sind die Kommutierungs-Kondensatoren an die Streuinduktivität vom verwendeten Motor angepasst. Deshalb ist es sehr problematisch, verschiedene Motoren mit verschiedenen Streuinduktivitäten anzutreiben.

Ziel unseres Projekts ist, einen neuen I-Umrichter zu entwickeln, welcher, dank unserem patentierten Kommutierungsverfahren und seiner Topologie, frei vom oben erwähnten Nachteil ist, jedoch die gewünschten Vorteile (Rückspeisung, Standby) vollständig verwirklicht. Zudem soll er industrietauglich sein, mit vergleichbaren oder tieferen Entstehungskosten als die heute verwendeten Systeme.

Wir haben zwei Prototypen entwickelt und gebaut welche beweisen, dass wir unsere Ziele erreichen können.

1. Ausgangslage

Der Bericht **Elektrizitätsverbrauch und Einspar-Potenziale bei Aufzügen** [1] stellt fest, dass der jährliche Elektrizitätsverbrauch der ca. 150'000 Aufzugsanlagen in der Schweiz 300 GWh beträgt. Dieser Verbrauch ist auch auf Nationalebene bedeutend.

Der Bericht [1] analysiert mit Hilfe von Messungen die Aufzugsanlagen, und stellt fest, dass bedeutende Einsparpotenziale vorliegen, hauptsächlich bei den hohen Standby-Leistungen und bei der Bremsenergievernichtung.

Betreffend des Antriebes schlägt der Bericht [1] vor:

- Ausschalten der Frequenzumrichter bei Stillstand (Seite 34)
- Rückspeisefähige Umrichter (Seite 35)."

1.1 Stand der Technik

Heute verwendet man bei Aufzugsanlagen fast ausschliesslich den klassischen U-Umrichter.

Der U-Umrichter ist ein ideales Antriebsmittel für Synchron- und Asynchronmotor-Antriebe mit zwei Nachteilen:

- In die Zwischenkreis-Kondensatoren gespeicherte Energie ist die Voraussetzung für den Betrieb. Bei jeder Netzausschaltung geht diese Energie verloren und bei jeder Netzeinschaltung muss man die Kondensatoren neu aufladen. Deshalb ist eine häufige Netz - Ein und - Ausschaltung problematisch, die meisten Geräte sind nicht geeignet für einen solchen Betrieb.
- Ein klassischer U-Umrichter ist, grundsätzlich wegen seiner Topologie, nicht geeignet für die Zurückspeisung ins AC-Netz.

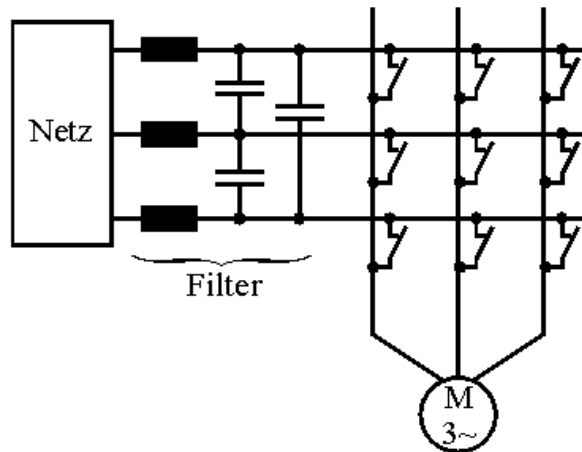
1.2 Möglichkeiten mit bekannten Technologien

Von der Fachliteratur sind grundsätzlich zwei Umrichter-Topologien bekannt, welche ins AC-Netz zurückspeisen können und in stromlosem Zustand keine Energie speichern:

- der Matrix Umrichter
- der klassische I-Umrichter

1.2.1 Der Matrix Umrichter

Der Matrixumrichter ist ein selbstgeführter Direktumrichter (Figur 1). Er hat keine Zwischenkreiskondensatoren und braucht einen Netzfilter. Er ist rückspeisefähig.

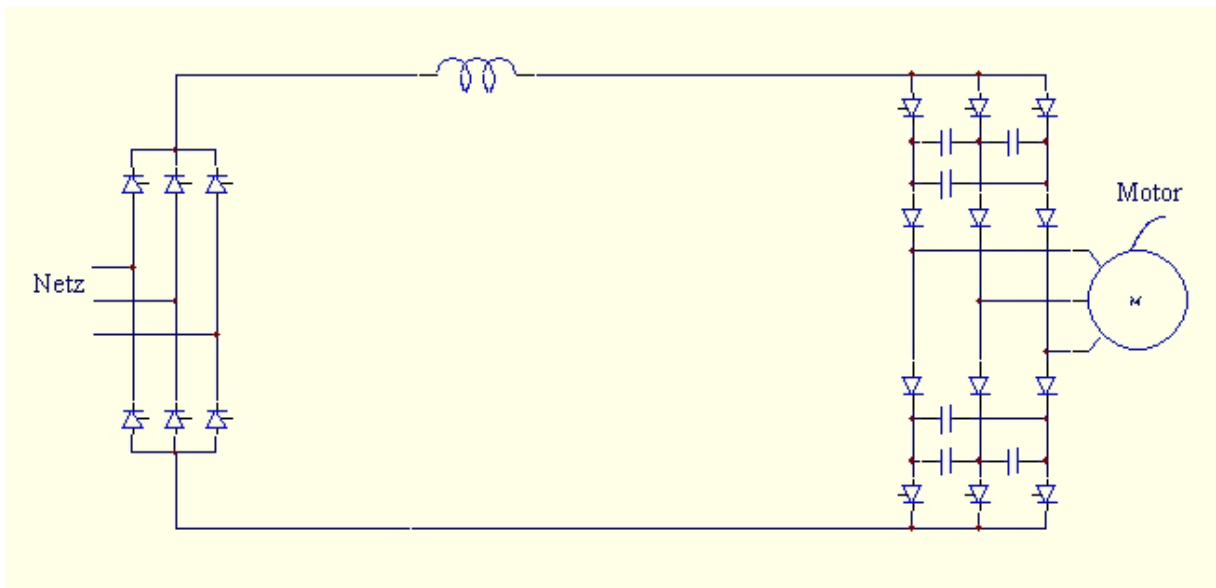


Figur 1: Matrixumrichter

Ein Matrixumrichter braucht spezielle Halbleiter (kundenspezifische IGBT) [2] und hat eine komplizierte Steuerung. Sein Preis ist etwa 2 bis 2.5 mal so hoch wie ein heutiges Standardgerät [2]. Deshalb hat er trotz grossen Anstrengungen in der Entwicklung praktisch keinen Marktanteil.

1.2.2 Der klassische I-Umrichter

Figur 2. zeigt das Blockschaltbild eines klassischen I-Umrichters.



Figur 2: Der klassische I-Umrichter

Ein I-Umrichter ist rückspeisefähig und hat keine Zwischenkreiskondensatoren.

In einem klassische I-Umrichter sind die Kommutierungs-Kondensatoren an der Streuinduktivität vom verwendeten Motor angepasst. Deshalb ist er nicht geeignet für Liftantriebe, da je nach Aufzugsanlage, verschiedene Motoren verwendet werden.

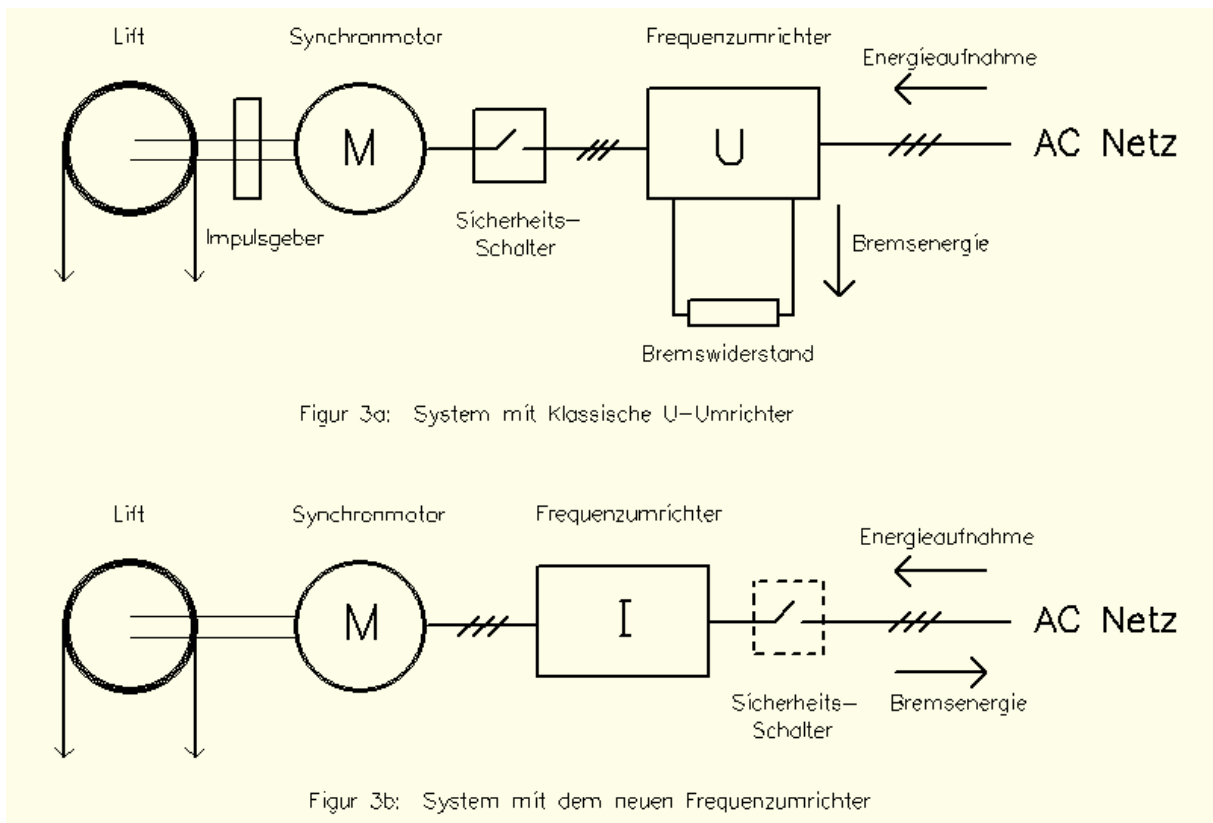
Weitere Nachteil ist die relativ grosse Zwischenkreisdrossel und die Verwendung von Thyristoren im Inverter.

2. Ziel der Arbeit

Das Projektziel ist die Entwicklung einer neuen Frequenzumrichterfamilie mit den folgenden Eigenschaften:

- Rückspeisung beim Bremsen ins AC-Netz (Kein Bremswiderstand)
- Kleine Standby Leistung (Im Stillstand keine Energiespeicherung, deshalb problemlos abschaltbar)
- Industrietauglich (Serieproduktion)
- Die Entstehungskosten sind kleiner oder vergleichbar mit den marktüblichen „klassischen“ Frequenzumformern.

Figur 3 zeigt die Unterschiede zwischen dem neuen und dem klassischen System.



Figur 3: Systemvergleich

3. Methode

Ausgegangen vom klassischen I-Umrichter, mit Verwendung von unserem Patent [3] haben wir eine neue I-Umrichter Topologie entwickelt mit den folgenden Merkmalen:

- Verwendung moderner IGBT im Inverter anstatt Thyristoren.
- Mit der patentierten Kommutierungs-Schaltung ist der I-Umrichter unabhängig von der Streuinduktivität vom verwendeten Motor.

- Kleinere magnetische Komponenten, (Netzdrossel und Zwischenkreisdrossel ca. 50%) durch die Verwendung einer speziellen Gleichrichteransteuerung mit zwei zusätzlichen IGBT.

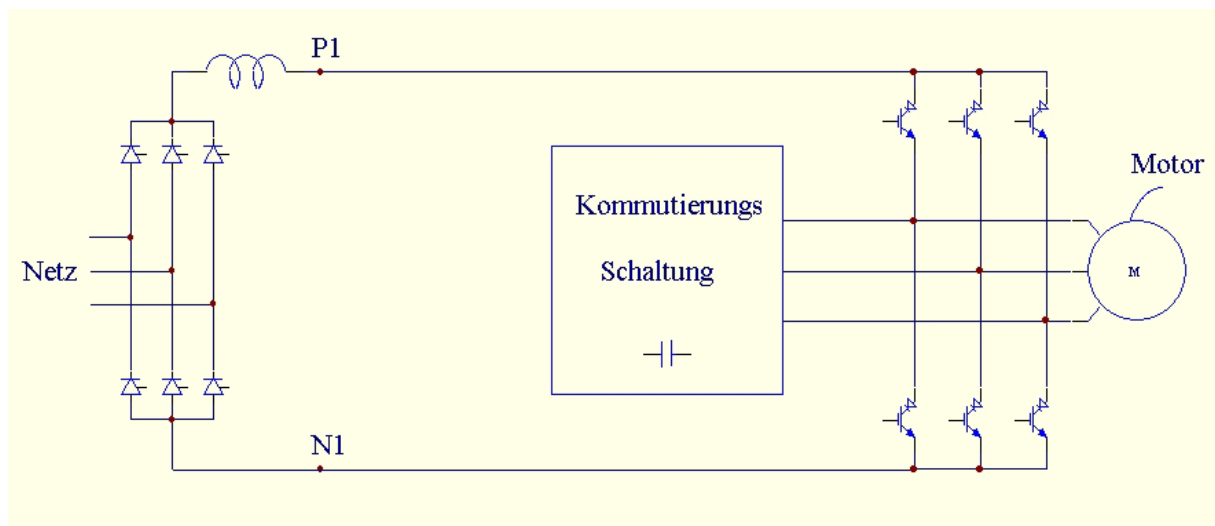
4. Ergebnisse

4.1. Der Inverter

Figur 4 zeigt das vereinfachte Blockschaltbild von einem mit IGBT aufgebauten Stromzwischenkreis-Inverter welcher unsere neue Kommutierungs-Schaltung [3] beinhaltet.

Die IGBT Symbole repräsentieren einen rückwärts-sperrenden IGBT (RIGBT) oder einen IGBT mit in Serie geschalteter Diode.

Unsere Prototypen haben wir mit IGBT und seriellen Dioden aufgebaut, da die RIGBT heute noch relativ teuer sind.



Figur 4. Der neue I-Umrichter

Die genaue Funktion von der Kommutierungs Schaltung ist im [3] beschrieben.

Die Inverter Kommutation wird in zwei Schritten durchgeführt:

1. Bei motorseitiger Kommutation wird die Kommutierungs-Energie, welche schlussendlich vom Zwischenkreis stammt, in einen Kommutierungs-Kondensator geleitet.
2. Nach abgeschlossener motorseitiger Kommutation wird diese Energie, mit Hilfe von Halbleitern, vollständig in den Zwischenkreis zurückgeführt.

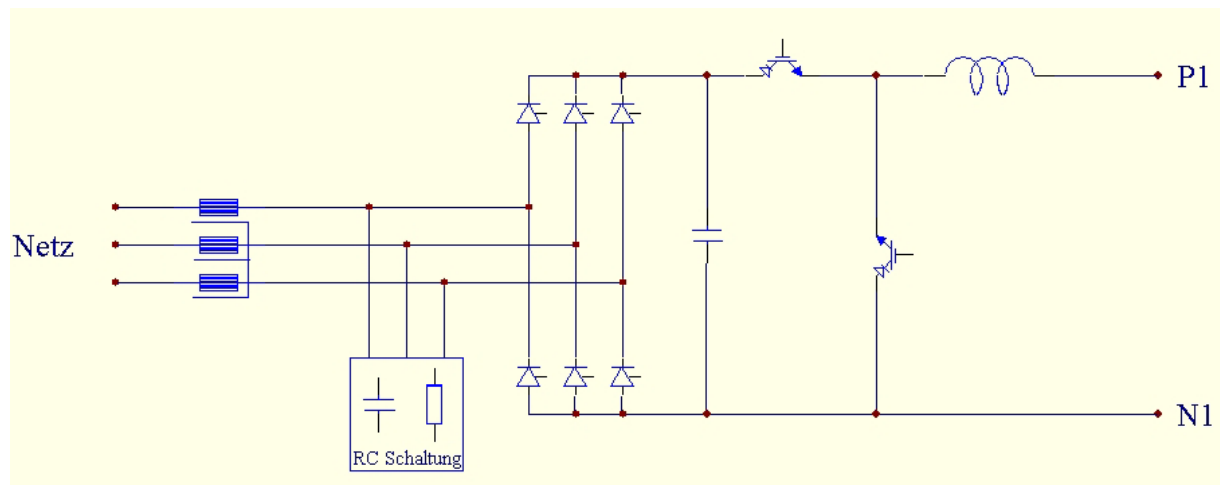
4.2. Der netzseitige Gleichrichter

Die verbreitete Industrielösung für zwei-quadrante Netzgleichrichter (fahren - rückspeisen) ist die 3-phasige, vollgesteuerte Thyristor-Brücke.

Diese Lösung braucht ziemlich grosse induktive Bauteile (Netzdrossel und DC Drossel).

Zur Verbesserung der netzseitigen Gleichrichtung bietet die Fachliteratur z.B. [4] und [5] eine „high-tech“- Lösung an. Mit dieser Lösung ist sogar ein sinusförmiger Netzstrom möglich. Dies sprengt aber den Kostenrahmen von unserem Projekt, weil dies hardwaremässig zu aufwändig ist (es sind 6 abschaltbare, rückwärts-sperrende Halbleiter nötig). Zudem treten kontrolltechnisch erhebliche Schwierigkeiten auf.

Unsere Lösung nach Figur 5 ergibt deutliche Verbesserungen mit akzeptierbarem Mehraufwand.



Figur 5: Netzseitige Gleichrichter mit Ergänzungen

Durch die Verwendung von zwei weiteren IGBT mit seriellen Dioden und einigen passiven Bauteile (Figur 5) erzielen wir einen besseren netzseitigen Leistungsfaktor und können damit um ca. 50% kleinere Netzdrosseln und DC-Drosseln verwenden. Die durchgeführte Simulationen ergeben gute Ergebnisse.

5. Das Produkt

Um die im Kapitel 2 geschilderten Ziele zu verwirklichen, haben wir einen neuartigen Frequenzumrichter entwickelt und zwei Prototypen gebaut.

5.1. Anwendungsgebiete

Aufzugsantriebe mit getriebelosen Synchronmotoren.

5.2. Elektrische Anschlüsse

Die Anschlüsse (Steuerung und Leistung Input-Output) entsprechen weitgehend den herkömmlichen, in der Aufzugstechnik verwendeten Frequenzumrichtern, mit zwei Unterschieden:

- a. Unser Frequenzumrichter hat keine Bremswiderstand-Anschlüsse, da er die Bremsenergie ins Netz zurückspeist.
- b. Unser Frequenzumrichter hat einen zusätzlichen Kontrolleingang für sichere Anlaufsperrung. Falls wir die Zusage von den Behörden (TÜV) erhalten, dürfen wir Systeme ohne Sicherheits- Schützplanen. Die Prototypen beinhalten eine zusätzliche Thyristor, welcher nach dem anhalten den DC-Kreis kurzschliesst.

5.3. Technische Daten

Im Anhang A sind die Nenndaten und die Daten des gekauften Motors für die Prototypmessungen ersichtlich

5.4. Volumen, Gewicht

Diese Daten entsprechen den üblichen Werten der in Aufzugstechnik verwendeten konventionellen Frequenzumrichter.

5.5. Verwendete Bauteile

In den Prototypen sind vorwiegend Standardindustrie-Bauteile eingebaut. Wir brauchen keine teuren Spezialkomponenten.

5.6. Entstehungskosten

Nach den ersten Berechnungen erreichen wir unser Ziel (Kapitel 2). Genaue Preise werden nach der 0 - Serienproduktion vorliegen (Nachkalkulation).

6. Prototypen

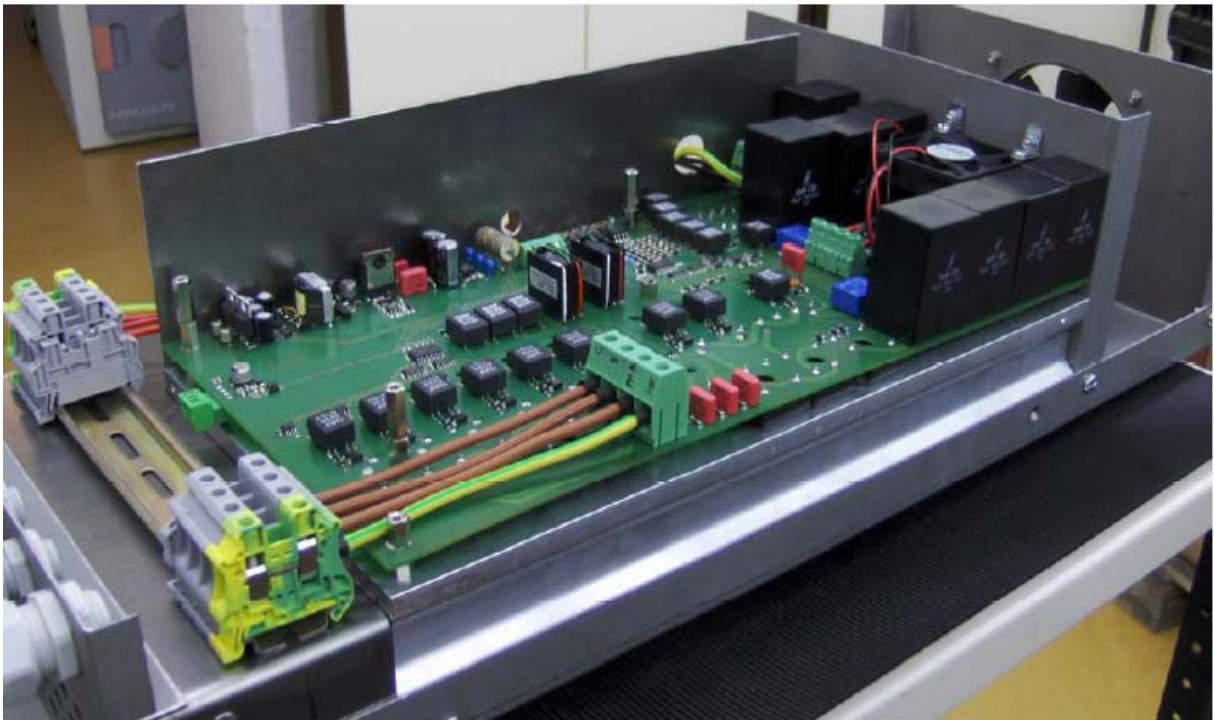
Es wurden 2 komplette Prototypen gebaut welche nun für die Typenprüfungen und die Systemtests verwendet werden.

Die Prototypen verwenden weitgehend die in Kapitel 4 beschriebenen theoretischen Grundlagen.

6.1. Bilder



Figur 6: Prototyp ohne Deckel



Figur 7: Montierter LeistungspcB ohne Logik

7. Diskussion

Die Problematik rund um die „Kommutierungs-Schaltung“ (Figur 4) ist von der Fachliteratur bekannt. Verschiedene Lösungsvorschläge und Schaltungen sind publiziert worden, z.B.: [6], [7], [8], [9], [10]

Die Schaltungen sind mit verschiedenen Nachteilen verbunden:

- viel zu komplex,
- verursachen Energieverlust,
- beinhalten teure Bauteile, z.B. grosse 50Hz Transformator.

Unsere Schaltung braucht keinen Transformator und ist relativ einfach.

Referenzen

- [1] J. Nipkow: **Elektrizitätsverbrauch und Einspar-Potenziale bei Aufzügen** – Bundesamt für Energie, DIS-Projekt Nr. 101106, Schlussbericht, November 2005
- [2] Ch. Hoepner: **Matrixumrichter, Markteinführung in Sichtweite** - IEE 50. Jahrgang 10-2005, Seiten 28-31.
- [3] Dr.P.Kanyó: **Verfahren und Schaltungsanordnung für Rückführung der Kommutations Energie bei Drehstrommotor Antriebe mit Stromzwischenkreis Umrichter.** – Patentgesuch Nr. 02039/05, 22.12.2005, Eidgenössisches Institut für Geistige Eigentum - Einsteinstrasse 2 – CH3003 Bern
- [4] F. Jenni: **Umrichter mit Stromzwischenkreis**, Elektroniker Nr. 10-1992. Seiten 71-74.
- [5] R. Vogel: **Method and device for controlling a four-dimensional vector for controlled system by means of discrete-value control element with a limited switching frequency**, US Patent, Nr. 5,874,943, Dec. 8. 1998.
- [6] R. H. Osman: **A Simple Energy-Absorbing Circuit for Current-Source Inverters**, IEE Transactions on Industry Applications. Vol. IA-20, No.6, November/December 1984. Seiten 1448-1452.
- [7] Kume Tsuneo: **Inverter**, Patent Publication Nr. 57059479, 09-04-1982, Japanese Patent Office.
- [8] Kudo Toshiaki: **Current Type Invertor**, Patent Publication Nr. 57170074A, 20-10-1982, Japanese Patent Office.
- [9] V. Gelman: **High Performance Current Source Inverter Drive**, International Semiconductor Power Converter Conference New York, USA 1982, Seiten 266-270
- [10] Kohki Matsuse: **Current-Type GTO Inverter Using GTO in ist Surge Voltage Clamping Circuit**, United States Patent, Nr. 4,580,205, Apr. 1, 1986

Anhang A

Nenndaten nach Pflichtenheft:

Nennspannung (RMS):	$U_n = 3 \times 400 \text{ V}_{\text{eff}}$
Max. Motorleistung:	$P_m = 7.5 \text{ kW}$
Max Anlaufstrom Motor (RMS):	$I_{1a} = 22 \text{ A}_{\text{eff}} \text{ (} t < 10 \text{ sec)}$
Max. Motor Nennstrom (RMS):	$I_{1n} = 16 \text{ A}_{\text{eff}}$
Max. Motorstrom Thermisch:	$I_{1th} = 11 \text{ A}_{\text{eff}}$
Max. DC Anlaufstrom (AV):	$I_{da} = 28.2 \text{ A}_{\text{av}}$
Max. DC Nennstrom (AV):	$I_{dn} = 20.5 \text{ A}_{\text{eff}}$
Max. DC Strom Thermisch (AV):	$I_{dth} = 14.1 \text{ A}_{\text{av}}$
Phasenwiderstand (Stern)	$R_1 = 1.3 \text{ ohm}/20^\circ\text{C}$ (Schätzung)
Streuindukt./Phase (Stern)	$L_1 = 6.6 \text{ mHy}$ (Schätzung)

Motor Zefir Z244B (Swiss Traction):

Nennspannung (RMS):	$U_n = 3 \times 400 \text{ V}_{\text{eff}}$
Motorleistung:	$P_m = 4.58 \text{ kW}$
Anlaufstrom Motor (RMS):	$I_{1a} = 15 \text{ A}_{\text{eff}}$
Nennstrom (RMS):	$I_{1n} = 10 \text{ A}_{\text{eff}}$
Motorstrom Thermisch (RMS):	$I_{1th} = 6.5 \text{ A}_{\text{eff}}$
DC Anlaufstrom (AV):	$I_d = 19.2 \text{ A}_{\text{av}}$
DC Nennstrom (AV):	$I_{dn} = 12.8 \text{ A}_{\text{eff}}$
DC Strom Thermisch (AV):	$I_{dth} = 8.3 \text{ A}_{\text{av}}$
Polzahl	$2p = 16$
Nennfrequenz:	$F_n = 21.22 \text{ Hz}$
Nenndrehzahl:	$N_n = 159 \text{ 1/min}$
Nenndrehmoment:	$M_n = 275 \text{ Nm}$
Phasenwiderstand (Stern)	$R_1 = 3.9/5.08 \text{ ohm}$ ($20^\circ\text{C}/100^\circ\text{C}$)
Streuindukt./Phase (Stern)	$L_1 = 22.5 \text{ mHy}$
Trägheitsmoment:	$J = 0.687 \text{ kgm}^2$
Gewicht	$m = 190 \text{ kg}$

Beispiel Aufzug:

Fahrkorbaufhängung:	2:1
Kabinengeschwindigkeit	$V_k = 1.0 \text{ m/s}$
Einschaltdauer	$ED = 40 \%$
Treibscheibe Durchmesser: (Seilmitte)	$D_t = 238.8 \text{ mm}$