

Not- und Röchelruf für mobile Teilnehmer in Voice-over-IP (VoIP) Diensten

Prof. Dr. Andreas Grebe
 Telefon: +49-221-8275-2507
 E-Mail: andreas.grebe@fh-koeln.de
 www.qossip.de

Seit der populären Verbreitung von Internet Telefonie (*Voice-over-IP, VoIP*) als Alternative zum klassischen Telefondienst sowie der Diskussion um den vom Telefonanschluss losgelösten Internetzugang vor allem via DSL-Zugängen (sog. Bitstrom) hat sich die Diskussion um die Umsetzung des Telekommunikationsgesetzes (TKG) auch in VoIP-Diensten verschärft. Dazu gehören technische Maßnahmen für Not- und Röchelrufe sowie die Umsetzung von Überwachungsmaßnahmen nach dem G10-Gesetz. Hintergrund sind die schon lange andauernden Bestrebungen von VoIP-Diensteanbietern und *Internet Service Providern (ISP)* ohne eigene Netzinfrastruktur im Teilnehmeranschlussbereich, DSL-Anschlüsse gemeinsam mit VoIP-Diensten bereitzustellen [1], die nicht mehr zwingend mit einem klassischen Telefonanschluss (Analog oder ISDN) verknüpft sind (Bild

1). Gleichwohl sind klassische Telefon- und Mobilfunknetze via Gateways erreichbar.

In diesem Forschungsprojekt wurden in Kooperation mit einem mittelständischen Unternehmen Lösungen für Not- und Röchelruf untersucht und prototypisch implementiert. Röchelruf beinhaltet dabei die Lokalisierung eines hilfebedürftigen Anrufers, ohne dass dieser seinen Namen und Standort selbst nennen kann, z. B. bei Unfällen oder Herzattacken. Aktuelle technische Lösungen der VoIP-Diensteanbieter basieren auf der Speicherung und Weitergabe der stationären (Heimat-)Adresse eines Teilnehmers im Notfall ohne zu berücksichtigen, dass Internet-Dienste standortunabhängig von „Vagabunden“ (Außendienstmitarbeiter, Home Office) mit Hilfe ihrer Mobiltelefone, Notebook oder PDA in Anspruch genommen werden. Notrufe werden dann fehlerhaft an eine voreingestellte Notrufzentrale weitergeleitet, die der VoIP-Diensteanbieter bei der erstmaligen Anmeldung eines Teilnehmers anhand dessen Heimatadresse feststellt.

Seitens der Bundesnetzagentur (ehemals Regulierungsbehörde für Post und Telekommunikation (RegTP)) sind Lösungen mit den betroffenen Netz- und Dienstbetreibern in der Diskussion. In ihrem Eckpunktepapier [2] empfiehlt die RegTP eine politische Vorgabe, die oben genannte Zwischenlösung in einer Übergangsphase erlaubt und langfristig VoIP-Diensteanbieter ebenso wie klassische Telefondienstbetreiber behandelt und die Umsetzung des TKG erzwingt.

Im Kern besteht die technische Herausforderung darin, Röchelrufe für nomadische Internet-Nutzer zu implementieren, die zwar eindeutig über Ihre Kennung im VoIP-Dienst (*SIP-URI*) identifiziert werden können, aber deren geografischer Aufenthaltsort nicht ohne weiteres bekannt ist. Erste Ansätze zur Lokalisierung von IP-fähigen Endgeräten nutzen die Auswertung von satellitengestützten GPS-Daten (*Global Positioning System*) im Endgerät. In der IETF working group *geopriv* [3] werden entsprechende Verfahren und Protokolle als IETF Standard vorgeschlagen. Notwendig sind in diesem Fall zusätzliche GPS Empfänger in jedem mobilen notfallfähigen Endgerät. Aufgrund der erhöhten Kosten für zusätzliche GPS-Empfangsmodule und der unsicheren Lokalisierung an Orten mit begrenztem Satellitenempfang, z. B. in geschlossenen Räumen wie Messhalle, Hotel, Lager, Keller, Tunnel etc., wird dieser Ansatz hier verworfen.

Das Konzept *Geovipa* wurde in [4] intensiv untersucht und mit einem eigenen Vorschlag bei der IETF vortragen. Das Konzept basiert auf

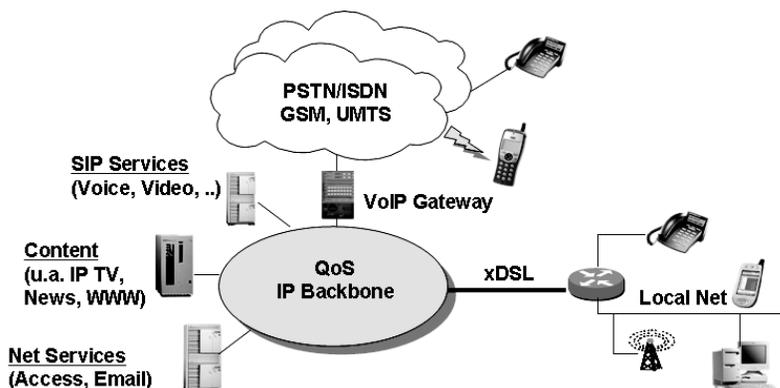


Bild 1: Always-On Szenario für Next Generation Networks

der eindeutigen Zuordnung von IP-Adressen zu geografischen Ortsdaten. Dazu wird jedem physischen Netzanschluss eine IP-Adresse zugeteilt (*Physical line IP (PLIP)*). Zusätzlich besitzt jedes Endgerät eine weitere eigene IP-Adresse zur Authentifikation und Nutzung von VoIP-Diensten (*Charging line IP (CLIP)*). Durch die Abfrage der PLIP bei jedem Telefongespräch lässt sich der geografische Ort des Anrufenden ermitteln. Bei den heute eingesetzten IPv4-Adressen ist dieses Verfahren aufgrund der Knappheit der verfügbaren Adressen nicht durchsetzbar. Für zukünftige IPv6-Adressen ist der Adressraum groß genug, allerdings werden IP-Adressen anders als Telefonnummern nicht ortsabhängig mit Landeskenntung, Vorwahl und Rufnummer vergeben, sondern nach Kriterien der Wegwahl aus dem Adressvorrat der *ISP* weltweit zugeteilt.

Als alternative Lösung bietet sich die Verknüpfung und Auswertung der Informationen an, die *ISP* und Dienstanbieter autark voneinander allein schon zu Abrechnungszwecken sammeln und daher bei allen Anbietern verfügbar sind. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass Anrufe auf Basis des *Session Initiation Protocol (SIP)* [6] signalisiert werden. SIP hat sich bei VoIP-Diensteanbietern und in zukünftigen Mobilfunknetzen nach 3GPP [7] als Signalisierungsprotokoll durchgesetzt. Die benötigten Daten sind:

- Die Zuordnung einer IP-Adresse zu einem physischen Anschluss (*Physical line IP (PLIP)*) Diese Daten werden bei der Inbetriebnahme eines IP-Netzanschlusses von jedem *ISP* erfasst und in einer IP-Adressendatenbank abgelegt, die i. d. R. ebenfalls Ortsdaten (Adresse, Stockwerk, Raum) enthält.
- Die aktuell benutzte IP-Adresse eines Vagabunden (*Actual IP (AIP)*) Baut ein vagabundierender Nutzer eine IP-Verbindung auf, wird ihm vom *ISP* eine eindeutige

IP-Adresse zugeteilt, die der *ISP* den aktuellen Ortsdaten zuordnen kann.

- Die SIP-Kennung eines VoIP-Teilnehmers (*SIP-URI*) Hiermit ist eine Authentifikation der anrufenden Person möglich, die sich mit ihrer persönlichen Kennung bei ihrem VoIP-Diensteanbieter jedes Mal anmeldet, wenn ihr Endgerät eingeschaltet wird. Die Identifikation ist im SIP Protokoll (*SIP/SDP Session Description Protocol*) festgelegt.

Das Zusammenspiel der beteiligten Partner ist in Bild 2 dargestellt. *Internet Service Provider (ISP)* stellen Netzwerkinfrastruktur bereit und erfassen die aktuell benutzten IP-Adressen (*AIP*) am Netzanschluss üblicherweise für Authentifikations- und Abrechnungszwecke. Die *AIP* ist in einer spezifischen Datenbank bzw. in dedizierten Servern (*RADIUS* oder zukünftig *DIAMETER*) verfügbar. In [6] wurde oben genannte Architektur für Notrufe eingehend untersucht und im Zusammenhang mit einer Abrechnungslösung für VoIP-Diensteanbieter prototypisch implementiert.

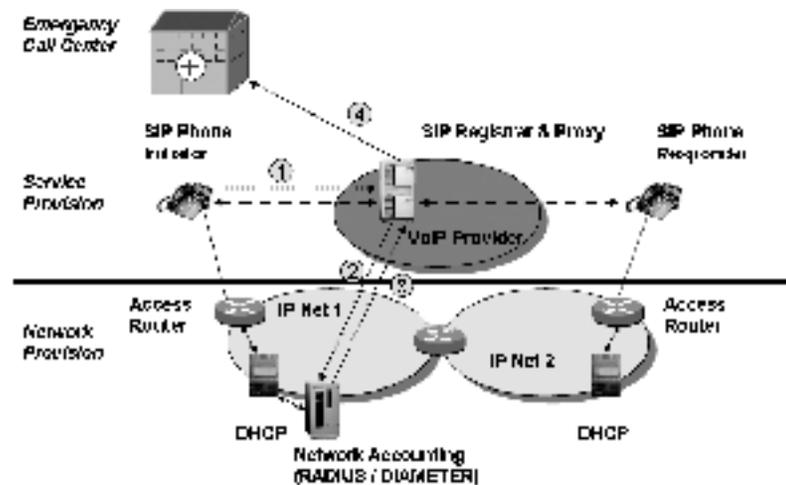


Bild 2: Ablauf der Notrufkommunikation

Bei Notrufen werden folgende Schritte durchlaufen:

- Ein Teilnehmer (*Initiator*) setzt einen Notruf (z. B. 110) ab (1).

- Der VoIP-Diensteanbieter erkennt den Notruf und fragt aktuelle Standortdaten des *Initiator* ab, indem die Zuordnung zwischen der aktuellen IP-Adresse (*AIP*) des *Initiator* und seinem Standort durch eine SQL-Anfrage (2) ermittelt wird.
- Der *ISP* liefert die gewünschten Standortdaten aus seiner IP-Adressendatenbank (3), indem die Ortsdaten der *PLIP* mit dem Wert der *AIP* an den VoIP-Diensteanbieter gesendet wird.
- Der VoIP-Diensteanbieter leitet den Notruf anhand der Ortsdaten an die nächst gelegene Notrufzentrale weiter, inklusive Nennung des Anrufers und seiner Adresse (4).

Aus den Protokollelementen des SIP-Protokolls sowie den Einträgen in den Datenbanken der *ISP* lassen sich alle Informationen extrahieren, die in diesem Fall für die Notrufbehandlung notwendig sind. Die benötigten Schnittstellen und Datenbankabfragen sind für die von der Industrie eingesetzten Systeme (*SQL DB*, *RADIUS* und *DIAMETER*) vorhanden. Im Prototyp wurde eine einheitliche Kennung und Forma-

tionierung der notwendigen Datenbankeinträge entwickelt. Wesentlicher Entwicklungsaufwand ist im *SIP Registrar & Proxy* erforderlich, um eine Zuordnung zwischen

IP-Adressen, Teilnehmern und Ortsdaten zu generieren. Im aktuellen Prototyp wurde auf Basis des Open Source Servers *SIP Express Router (SER)* [8] eine Lösung entwickelt, die alle geforderten Maßnahmen zur Abwicklung von Not- und Röchelrufen in sich vereint und im Labor funktionsfähig demonstriert.

Das Forschungsprojekt Not- und Röchelruf ist ein Ergebnis der Aktivitäten im Forschungsschwerpunkt „Next Generation Service in Heterogeneous Network Infrastructures (NEGSIT)“ im Institut für Nachrichtentechnik der Fakultät für Informations-, Medien- und Elektrotechnik an der FH Köln.

Literatur

- [1] A. Grebe, T. Köhler „Internet-Telefondienste: Erste Erfahrungen und zukünftige Herausforderungen“, Deutscher Internet Kongress '98, Frankfurt, S. 75 – 85
- [2] „Eckpunkte der regulatorischen Behandlung von Voice over IP (VoIP)“, Veröffentlichung 3120 RegTP vom 09.09.2005
- [3] J. Peterson: „A Presence Architecture for the Distribution of GEOPRIV Location Objects“, RFC 4079, IETF charter Geografic Location/privacy (geopriv) 2005
- [4] A. Marikar: „Adressierungs- und Migrationskonzepte für Voice over IP (VoIP) zur Unterstützung des GeoVIPA-Konzeptes in IPv4- und IPv6“, Diplomarbeit, FH Köln 2005
- [5] S. Abu Salah: „Entwicklung eines VoIP-Accounting-Moduls für den SIP Express Router auf Basis des GeoVIPA-Konzeptes mit einer Schnittstelle zum Mediation Device T-XMD“, Diplomarbeit, FH Köln 2005
- [6] M. Handley, H. Schulzrinne, E. Schooler, J. Rosenberg: „SIP: Session Initiation Protocol“, RFC 2543 (obsoleted by RFC 3261), IETF, March 1999
- [7] 3GPP TS 24.228 V.5.10.0 (2004-09): 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Core Network; Signalling flows for the IP multimedia call control based on Session Initiation Protocol (SIP) and Session Description Protocol (SDP)
- [8] <http://www.iptel.org/ser/>

ELEKTRISOLA

Gruppe

Wir sind der weltweit erfolgreiche Technologieführer im Bereich dünner Kupferlackdrähte. Unsere Produkte finden Sie in vielen modernen Geräten der Elektrotechnik und Elektronik, z.B. in Ihrem Auto oder Handy. Unsere Werke befinden sich in Deutschland, China, Malaysia, Mexiko, Südtirol, der Schweiz und den USA. Dem Einsatz, Wissen und Können fähiger und begeisterter Mitarbeiter und Führungskräfte verdanken wir den hohen Leistungs- und Qualitätsstandard unserer Produkte und Fertigungsprozesse.

Sie absolvieren bis jetzt Ihr Studium in den Bereichen Wirtschaftsingenieurwesen, Elektrotechnik oder Maschinenbau erfolgreich und suchen die Möglichkeit praktische Erfahrungen in einem der oben genannten Gebiete zu sammeln. Wir bieten Ihnen folgende Positionen an:

- **Auslandspraktika in China & Malaysia**
- **Diplomarbeiten**
- **Management-Nachwuchs**

Besuchen Sie unsere Homepage:
www.elekttrisola.com

ELEKTRISOLA
Dr. Gerd Schildbach
GmbH & Co. KG
In der Hüttenwiese 2-4
51580 Reichshof-
Eckenhagen

Für unseren Management-Nachwuchs bieten wir ein Expatriate-Programm an, in dem unser Führungsnachwuchs am Standort Eckenhagen sowie in der gesamten Elektrisola-Gruppe, ausgebildet und eingesetzt wird. Teamgeist, Flexibilität, Reisebereitschaft und gute Englischkenntnisse in Wort und Schrift sind für Sie selbstverständlich.

Wenn wir Ihr Interesse geweckt haben, dann senden Sie bitte Ihre aussagefähigen Bewerbungsunterlagen direkt an unseren Personalleiter, Herrn Flitsch.

Integration des Detector-Control-System-Rechners in den neuen Beschleunigerring am CERN

Prof. Dr.-Ing. Georg Hartung
Telefon: +49-221-8275-2487
E-Mail: georg.hartung@fh-koeln.de

Dipl.-Ing. Tobias Krawutschke
Telefon: +49-221-8275-2429
E-Mail: tobias.krawutschke@koeln.de

Im Projekt "Detector Control System (DCS)" des ALICE-TRD Projekts (TRD: Transition Radiation Detector, ein Detector des neu entwickelten „Large Hadron Collider“(LHC)-Beschleunigerrings am CERN) wurde ein zugeschnittener Linux-Einplatinenrechner mit der Möglichkeit der Rekonfiguration von Hardware gemeinsam vom Kirchhoff Institut für Physik in Heidelberg (KIP) und dem Labor für Rechnerarchitektur im Institut für Nachrichtentechnik der FH Köln entwickelt. Das DCS ist nahezu fertiggestellt und wird aktuell in den Detektor integriert. Im Sommer 2006 wurde das erste "Supermodul" (Abbildung 1) am KIP fertiggestellt und zum Einbau und Installation an das CERN gebracht. Das DCS-Board und seine verschiedenen Aufgaben für den TRD sollen hier im Kontext des Gesamtprojektes vorgestellt werden.



Abbildung 1: Supermodul bestückt mit 5/30 Kammern

Der TRD als Teildetektor des ALICE-Experimentes erfüllt zwei Hauptaufgaben: Er dient zum einen der Teilchenidentifikation von Elektronen und Pionen, wodurch die Möglichkeiten der physikalischen Auswertung von Daten eines Experimentes erhöht werden, und trifft zum anderen Triggerentscheidungen, die zur besseren Selektion interessanter, nachzuverfolgender Teilchenspuren bei der Datenauswertung eines Experimentes beitragen. Die zweite Eigenschaft trägt wesentlich zur Datenreduktion bei und ermöglicht dem nachgeschalteten High Level Trigger (HLT) längere Auswertephasen zur weiteren Datenminimierung und -auswahl.



Abbildung 2: Installation TRD Spaceframe

Abbildung 2 zeigt den "Spaceframe", sozusagen das Skelett des TRD bei der Installation. Deutlich zu erkennen sind die Sektoren im äußeren Bereich zur Aufnahme der Supermodule. In der kompletten Ausbaustufe wird der Detektor aus 540 einzelnen Ausleseammern bestehen, die in Zylinderform mit einem Durchmesser von ca. 8 m um die Kollisionsstelle angeordnet sind. Der innere Teil ist mit verschiedenen anderen Detektoren gefüllt, die spezialisiert sind, die Ereignisse zu früheren Zeitpunkten aufzunehmen als der TRD, da sich das durch die Kollision entstehende Quark-Gluon-Plasma in kürzester Zeit zu neuen Elementarteilchen wandelt.

Abbildung 3 zeigt das Funktionsprinzip des TRD. Jede der 540 flachen Kammern bestehen aus einer dem Kollisionspunkt zugewandten Radiatorschicht und einer Drift-

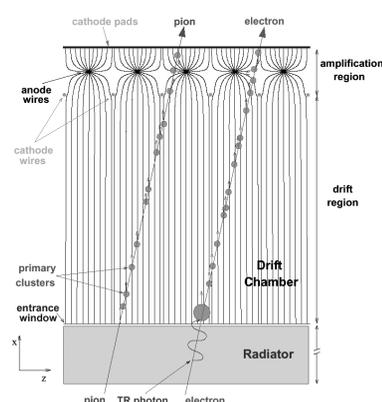


Abbildung 3: TRD Funktionsprinzip

kammer, in der ein elektrisches Feld anliegt und mit eine Mischung aus dem schweren Edelgas Xenon und Kohlendioxyd gefüllt ist. Ein Elektron oder Pion, das das Gasgemisch durchquert setzt im Gas Elektronen frei, die in dem E-Feld zur Anode beschleunigt werden (driften). Die dort eingebrachten Ladungen können gemessen werden. Da die Ladungen je nach Winkel des durchquerenden Teilchens zu unterschiedlichen Zeitpunkten an unterschiedlichen Orten eintreffen, kann die Spur rekonstruiert werden. Hinzu kommt die Möglichkeit, Teilchen voneinander zu unterscheiden, da ein Elektron im Gegensatz zu einem Pion einen Strahlungsübergang beim Wechsel von der Radiatorschicht zum Gas erfährt und dies zu einer unterschiedlichen Signatur der eingebrachten Ladungen führt. Jede Kammer wird mit zwei Spannungen zwischen 1 und 3 kV betrieben, die individuell eingestellt werden. Die Kontrolle der entsprechenden Hochspannungsverteiler übernehmen mehrere DCS Boards, die über eine in der FH Köln entwickelte CAN-Schnittstelle zu den Verteilern und über Ethernet zu der Kontrollebene verbunden sind.

Der TRD ist in 18 Sektoren (Supermodule) aufgeteilt, die aus jeweils 30 Kammern bestehen: fünf in Strahlrichtung und sechs in radialer Richtung. Die Bauart der Kammern

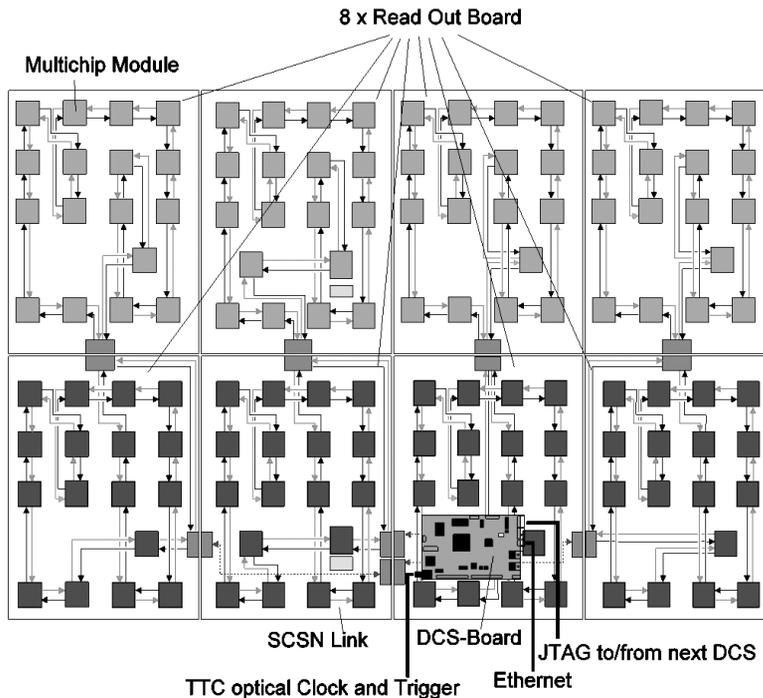


Abbildung 4: Detailansicht einer Kammer mit 8 Read out boards

fallen je nach Position unterschiedlich aus. Der elektronische Erfassungsteil einer Kammer besteht aus acht „Read out boards“, die mit jeweils 16 Multichipmodulen (MCM) zur Datenerfassung und ein bis zwei MCMs zur Datenkonzentration ausgestattet sind (s. Bild). Damit stellt die Kammer 2304 analoge Kanäle zur Teilchenerfassung zur Verfügung, der gesamte Detektor ca. 1,16 Millionen. Die MCMs enthalten sowohl Analog-Digital-Wandler als auch zugeschnittene Prozessoren, die zum einen die Datenübertragung zum Auswertungs-Rechnercluster ermöglichen, und zum anderen in kürzester Zeit durch Kommunikation mit benachbarten CPUs den Vektor eines Teilchens ermitteln und als „Tracklet“ darstellen. Dies ermöglicht eine kurzfristige Entscheidung über die Güte der gewonnenen Daten und führt zu einer Datenreduktion, da der komplette Datensatz für ein „uninteressantes“ Ereignis, auch der anderen am Experiment beteiligten Detektoren, verworfen werden kann. Jede Kammer ist außerdem mit einem DCS-Board bestückt, das über die Kontrolle der Spannungsversorgung hinaus die CPUs mit dem passenden Programm konfiguriert und

den Analog-Digital-Wandlern Kalibrierungswerte sowie den vorgegeschalteten Verstärkern Pegel- und Offsetwert zukommen lässt. Die Trigger-Information sowie das detektorweite synchrone Clocksignal wird ebenfalls über das DCS Board verteilt. Die DCS-Boards sind über einen speziell für das Experiment entwickelten Ethernet-Controller mit der Leitebene verbunden, damit die Konfigurationsdaten schnell an die MCMs verteilt werden können; eine Verwendung käuflicher Ethernet-Lösungen kam wegen des hohen magnetischen Felds im LHC nicht in Frage.

Das DCS wird auch zur Triggererzeugung in anderen Detektoren eingesetzt, deren Beschreibung den Rahmen hier sprengen würde. Die Möglichkeit, das System an viele unterschiedliche Aufgaben anzupassen, wird durch einen FPGA (konfigurierbaren digitalen Chip) mit integrierter CPU erreicht. Der FPGA kann für verschiedenste Kommunikations oder Steueraufgaben beliebig oft rekonfiguriert werden, während das Betriebssystem, ein Embedded Linux, durch seinen offenen und modularen Aufbau diese Flexibilität unterstützt. Ein hohes

Augenmerk wurde bei der Entwicklung auf die Zuverlässigkeit gesetzt. Eine Portierung von „Realzeit“-Linux für zeitkritische Anwendungen ist im Rahmen einer Diplomarbeit entstanden und wird weitere Anwendungen des Rechners in Zukunft ermöglichen.

Referenzen

1. <http://aliceinfo.cern.ch/>
2. TRD Technical Design Report, CERN, 2002
3. ALICE Production Readiness Review, CERN, 2004

Publikationen

H. Tilsner, D. Gottschalk, G. Hartung, H. Höbbel, V. Kiworra, T. Krawutschke, V. Lindenstruth, S. Martens, M. Stockmeier: „Hardware for the Detector Control System of the ALICE TRD (Stand-alone embedded Linux controller)“, 9 th Workshop on Electronics for LHC Experiments, 2003, <http://www.lecc2003.nikhef.nl/prog/A3.8-Tilsner.ppt>

S. Bablok, E.S. Conner, G. Hartung, R. Keidel, C. Kofler, T. Krawutschke, V. Lindenstruth, D. Röhrich: „Front End Electronics Communication software for multiple detectors in the ALICE experiment“, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, Volume 557, Issue 2, 2006, ISSN: 0168-9002 <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2005.11.208>

Alme, J. Richter, M. Larsen, D. Rohrich, D. Ullaland, K. Roe, K. Bablok, S. Keidel, R. Kofler, C. Krawutschke, T. Alt, T. Gottschalk, D. Hobbel, H. Kiworra, V. Lindenstruth, V. Stockmeier, M.R. Frankenfeld, U. Engster, C. Gonzalez Gutierrez, C. Junique, A. Mota, B. Musa, L.: „A distributed, heterogeneous control system for the ALICE TPC electronics“, Parallel Processing, 2005. ICPP 2005 Workshops. International Conference Workshops, 2005, ISSN: 1530-2016

Indirekte Messung der winkelabhängigen Drehmomentkonstante k_T für Direktantriebe

Prof. Dr.-Ing. Jens Onno Krah
Telefon: +49-221-8275-2439
E-Mail: jens_onno.krah@fh-koeln.de

Georg Jaskowski
E-Mail: G.Jaskowski@danahermotion.de
Danaher Motion GmbH, Düsseldorf

Einleitung

Durch den Einsatz von Direktantrieben können Maschinendurchsatz und Produktqualität oft deutlich gesteigert werden. Um die gewünschte Dynamik zu erreichen, werden bei den verwendeten Regelkreisen oft Drehzahl und Drehmoment vorgesteuert (s. **Bild 1**). Die Steuerung des Drehmomentes erfolgt bei den meist verwendeten permanent erregten Synchronmotoren indirekt durch die Vorgabe der drehmomentbildenden Stromkomponente $i_q(t)$. Bei Motoren ohne Rastmomente und mit einer ideal sinusförmigen induzierten Spannung (EMK) ist diese Vorgehensweise problemlos möglich [1].

Rastmomente können durch ein gutes Motordesign in Kombination mit präziser Fertigung minimiert werden. Verwendet man „eisenlose“ Motoren (kein Eisen im Bereich der Wicklung), können prinzipbedingt keine Rastmomente auftreten. Motoren mit prinzipbedingt sinusförmiger EMK gibt es nicht. Gerade bei hochpoligen Direktantrieben mit maschinenseitiger Lagerung ist die notwendige hochpräzise Einhaltung des Luftspaltes kaum möglich. Bei eisenlosen Motoren wird der magnetische Fluss nicht von den sehr präzise gefertigten Blechen geführt. Hier bestimmt die Lage jeder einzelnen Spulenwindung den Verlauf der EMK.

Es besteht daher der Wunsch, die EMK dieser Motoren im eingebauten Zustand (in der Maschine) bestimmen zu können. Dem steht entgegen, dass eine Maschine nicht

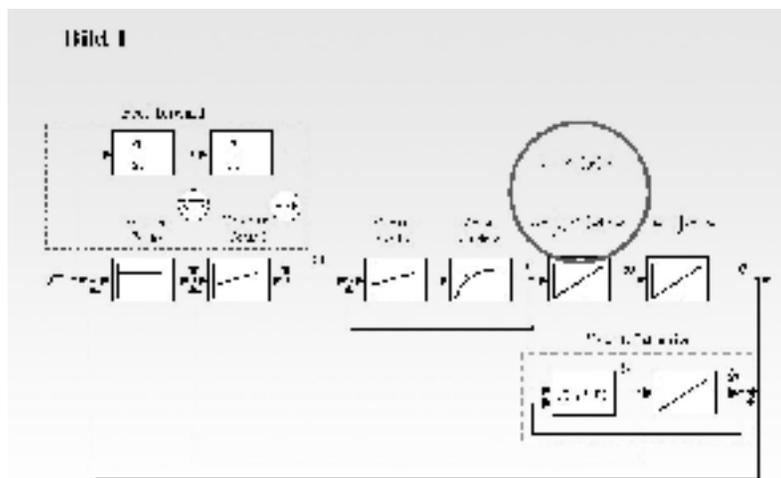


Bild 1: Für eine hochdynamische Regelung eines Direktantriebs wird eine Geschwindigkeitsvorsteuerung (Velocity Feed Forward - VFF) und eine Beschleunigungsvorsteuerung (Acceleration Feed Forward - AFF) benötigt

viel mit einem klassischen Prüfstand gemein hat. Die Drehzahl ist häufig begrenzt. Meist kann der Antrieb auch nicht beliebig lange mit konstanter Drehzahl betrieben werden. Eine direkte Messung der induzierten Spannung ist dadurch nur selten möglich.

Physikalische Grundlagen

Bei einer sinusförmigen induzierten Spannung verlaufen die Komponenten der Raumzeigerdarstellung u_a und u_b eines dreiphasigen Systems exakt kreisförmig (s. **Bild 2**):

$$u_a = \hat{u} \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (1a)$$

$$u_b = \hat{u} \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad (1b)$$

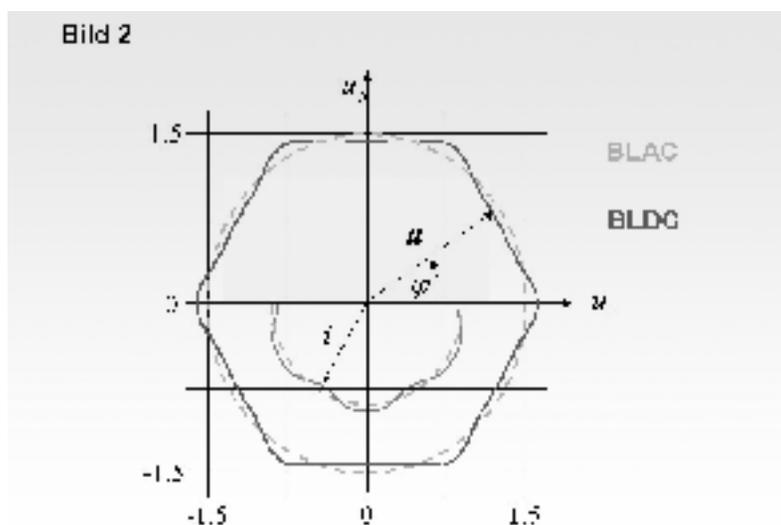


Bild 2: Induzierte Spannung u_i in Raumzeigerdarstellung
Grün: $\sin(\varphi)$ ohne Oberschwingungen
Rot: $\sin(\varphi) + 5.$ und $7.$
Blau: $\sin(\varphi)$ mit $5., 7., 11.,$ und $13.$
Orange: angepasster Stromverlauf i

Wird auch der Strom sinusförmig mit gleicher Phase eingepreßt, so ist die elektrische Leistung unabhängig von der Zeit t :

$$p_e(t) = \hat{u} \cdot \hat{i} \cdot (\sin^2(\omega \cdot t) + \cos^2(\omega \cdot t)) = \hat{u} \cdot \hat{i} \quad (2)$$

Diese Betrachtung wird anschaulicher, wenn man sich die physikalischen Zusammenhänge der permanent erregten Synchronmaschine mit $\hat{u} \sim \omega$ und $\hat{i} \sim m$ in Erinnerung ruft.

Ist jedoch die induzierte Spannung nicht exakt sinusförmig, so verläuft der Raumzeiger der Spannung nicht mehr kreisförmig. Damit ist auch die Leistung bzw. das Drehmoment nicht mehr konstant.

Bei den elektronisch kommutierten Gleichstrommaschinen (Brushless-DC, Six Step) enthält die induzierte Spannung prinzipbedingt Oberschwingungen, **Bild 2** (blau):

Der Spannungsraumzeiger verläuft dann entlang eines Sechsecks. Es ist leicht ersichtlich, dass an den Orten bzw. Winkeln $\varphi(t) = \omega \cdot t$, an denen die EMK besonders klein ist (z. B. $\varphi = 30^\circ$), der Strom entsprechend größer sein muss, damit die Augenblicksleistung $p(t)$ bzw. $p(\varphi)$ und damit auch das Drehmoment konstant und damit unabhängig vom Winkel φ ist.

Die Augenblicksleistung $p(\varphi)$ eines mit konstantem, sinusförmigem Strom betriebenen Brushless-DC Motors bei konstanter Drehzahl entspricht - bei konstantem Strom (in Rotorkoordinaten) und konstanter Drehzahl - dem Verlauf der induzierten Spannung u_q in Rotorkoordinaten.

$$p_e(\varphi) = u_q(\varphi) \cdot i_q(\varphi) \quad [+ u_d(\varphi) \cdot i_d(\varphi)] \quad (3)$$

mit

$$p_e(\varphi) = u_q(t) \cdot i_q(t) = [k_t \cdot i_q(t)] \cdot \omega = p_m(\varphi) \\ u_q(\varphi) = k_t(\varphi) \cdot \omega \quad (4)$$

Die Komponente $u_d(t)$ hat bei Synchronmaschinen ohne Feldschwächung keinen Einfluss auf das Dreh-

moment bzw. die Leistung. Weil bei konstanter Drehzahl die Leistung nicht konstant ist, kann demzufolge das Drehmoment auch nicht konstant sein.

Der Zusammenhang $m = k_t \cdot i_q$ kann dieses Verhalten nur beschreiben, wenn man k_t als „**Winkelabhängige Drehmomentkonstante**“ $k_t(\varphi)$ auffasst.

Der Verlauf von $k_t(\varphi)$ ist abhängig vom Winkel, jedoch unabhängig von der Drehzahl, weshalb bei der Beziehung $p_e(t) = p_m(t)$ die Bedingung der konstanten Drehzahl unerheblich wird.

Bei einem idealen Brushless-DC Motor hätte $k_t(\varphi)$ folgenden Verlauf:

$$k_t(\varphi) = k_0 \cdot \left[1 - \left(\frac{2}{\sqrt{3}} - 1 \right) \frac{4}{\pi^2} \left(\cos(6 \cdot \varphi) - \frac{1}{2^2} \cos(12 \cdot \varphi) + \frac{1}{3^2} \cos(18 \cdot \varphi) - \dots \right) \right] \quad (5)$$

Bei sinusförmiger Bestromung eines solchen Motors kann das Drehmoment sehr genau gesteuert werden, wenn der Stromsollwert mit einer $k_t(\varphi)$ reziproken Funktion winkelabhängig (φ) gewichtet wird.

Von besonderem Interesse ist nun, wie sich Oberschwingungen der in Ständerkoordinaten gemessenen induzierten Spannung auf $k_t(\varphi)$ auswirken:

$$u_q(t) = c_0 + c_1 \cdot \cos(\omega \cdot t) + c_2 \cdot \cos(2 \cdot \omega \cdot t) + c_3 \cdot \cos(3 \cdot \omega \cdot t) + \dots \quad (7a)$$

$$u_d(t) = d_0 + d_1 \cdot \sin(\omega \cdot t) + d_2 \cdot \sin(2 \cdot \omega \cdot t) + d_3 \cdot \sin(3 \cdot \omega \cdot t) + \dots \quad (7b)$$

Nur die Grundschiwingung $a_1 \cdot \sin(\omega t)$ entspricht dem gewünschten Verlauf. Sie entspricht einer Konstanten in Rotorkoordinaten.

$$\begin{aligned} c_0 &= a_1; & d_0 &= 0 (=b_1) \\ c_3 &= a_4 - a_2; & d_3 &= a_2 + a_4 \\ \mathbf{c_6} &= \mathbf{a_7 - a_5}; & d_6 &= a_5 + a_7 \\ c_9 &= a_{10} - a_8; & d_9 &= a_8 + a_{10} \\ \mathbf{c_{12}} &= \mathbf{a_{13} - a_{11}}; & d_{12} &= a_{11} + a_{13} \\ c_{15} &= \dots & & \end{aligned} \quad (8)$$

Die unerwünschten Oberschwingungen

$$a_n \cdot \sin(n \cdot \omega t) + b_n \cdot \cos(n \cdot \omega t) \quad (6)$$

können in verschiedene Kategorien eingeteilt werden:

- Aus Symmetriebetrachtungen treten theoretisch keine $\cos()$ -Terme auf ($b_i = 0$)
- Aus Symmetriebetrachtungen treten Oberschwingungen mit geraden Vielfachen der Grundschiwingung theoretisch nicht auf. ($a_2 = 0, a_4 = 0, \dots$)
- In einem Dreiphasensystem (ohne Mittelleiter) kompensieren sich alle durch drei teilbaren Oberschwingungen bei der Transformation in die Raumzeigerdarstellung (Clarke)

Konstruktionsbedingt wirkt sich demnach nur ein kleiner Teil der Oberschwingungen auf den Verlauf der induzierten Spannung in Rotorkoordinaten aus:

$$a_5, a_7, a_{11}, a_{13}, a_{17}, a_{19}, \dots$$

Der Verlauf der induzierten Spannung in Feld- bzw. Rotorkoordinaten ($\omega \cdot k_t(\varphi)$) kann durch folgende Fourier-Reihe beschrieben werden:

Dieses Verhalten kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Ein konstruktionsbedingt nicht sinusförmiger Verlauf der induzierten Spannung in Ständerkoordinaten ($a_5, a_7, a_{11}, a_{13}, a_{17}, a_{19}, \dots$) beeinflusst die durch sechs teilbaren Oberschwingungen ($c_6, c_{12}, c_{18}, \dots$) der Drehmomentkonstanten $k_t(\varphi)$ (\sim induzierte Spannung in Rotorkoordinaten).
- Alle anderen eventuell gemessenen Koeffizienten weisen auf mechanische bzw. elektrische Unsymmetrien des Motors hin.
- Aus der gemessenen induzierten Spannung in Rotorkoordinaten (u_q) kann der Verlauf in Ständerkoordinaten nicht vollständig berechnet werden (u_d fehlt).
- Bei einem BLDC Motor ergeben sich beispielsweise $c_6 = 0,06$ und $c_{12} = 0,014$.

Messung der induzierten Spannung auf dem Prüfstand

Bei industriell gefertigten Motoren ist die Messung der induzierten Spannung einfach möglich. Mit Hilfe einer einfachen Operationsverstärkerschaltung kann die dreiphasige induzierte Spannung des Motors in Raumzeigersignale umgeformt werden. **Bild 3** zeigt den weder runden noch exakt sechseckigen gemessenen Verlauf der Spannung.

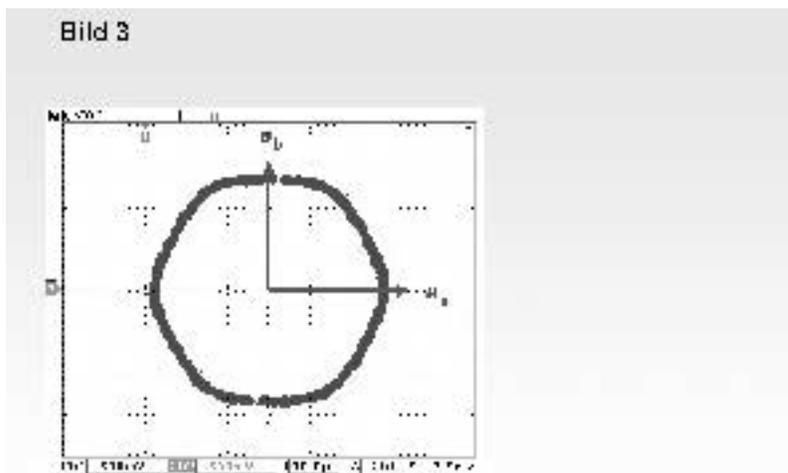


Bild 3: Gemessener Verlauf der induzierten Spannung in Raumzeigerdarstellung

Messung von $k_t(\varphi)$ auf dem Prüfstand

Eine andere Möglichkeit ist das Messen von $k_t(\varphi)$ bei sehr geringer Drehzahl. Auf einem Prüfstand ist die genaue Messung von Strom und Drehmoment problemlos möglich. Bei dieser Messmethode können jedoch Störgrößen wie Reibung und Cogging (Rastmomente) nicht vernachlässigt werden.

Aus diesen Gründen wird bei konventionellen Motoren $k_t(\varphi)$ meist durch Messung der induzierten Spannung ermittelt.

Messung von $k_t(\varphi)$ in der Maschine

Eine Messung von $k_t(\varphi)$ in der Maschine ist bei vielen Applikationen mit Direktantrieben nicht möglich, da weder eine konstante Drehzahl (bzw. Geschwindigkeit) gefahren werden kann, noch ohne zusätzliche Hilfsmittel das Drehmoment (bzw. die Kraft) genau gemessen werden kann. Doch gerade bei diesen Applikationen wäre eine genaue Messung von $k_t(\varphi)$ wünschenswert:

- Bei Direktantrieben ist nicht immer sichergestellt, dass die Ausrichtung von Primärteil und Magnetbahn bzw. der Luftspalt den Spezifikationen entspricht.

- Oft wird ein Direktantrieb deshalb ausgewählt, weil die Maschine über ein Maximum an Dynamik und Genauigkeit verfügen soll.

Wenn das Trägheitsmoment J (bzw. die Masse m) konstant ist, kann das Drehmoment m (bzw. die Kraft F) indirekt über eine Messung der Beschleunigung a ermittelt werden:

$$F = m \cdot a \quad (9)$$

Bei hochdynamischen Antrieben ist eine genaue Messung der Beschleunigung auch nicht problemlos. Einfacher und deutlich genauer ist eine Messung der Kreisverstärkung des aufgeschnittenen Drehzahlregelkreises (open loop) bei einer konstanten vorgegebenen Kreisfrequenz ω_0 als Funktion der Position [3].

(10)

$$G_o(j\omega_0, \varphi) = G_R(j\omega_0) \cdot G_{ES}(j\omega_0) \cdot k_t(\varphi) \cdot \frac{1}{j \cdot \omega_0 \cdot J}$$

Die Übertragungsfunktionen

- des Drehzahlreglers $G_R(j\omega_0)$,
- des geschlossenen Stromregelkreises $G_{ES}(j\omega_0)$ und
- der Last $1 / (j \cdot \omega_0 \cdot J)$

sind bei einer festen Kreisfrequenz ω_0 konstant. Daraus folgt, dass bei ebenfalls konstantem Trägheitsmoment J die Kreisverstärkung des aufgeschnittenen Drehzahlregelkreises (open loop) direkt proportional zur Drehmomentkonstante ist:

$$G_o(j\omega_0, \varphi) \sim k_t(\varphi) \quad (11)$$

In **Bild 4** ist der gemessene Verlauf des Raumzeigers $G_o(\varphi)$ (der induzierten Spannung) in Raumzeigerdarstellung aufgetragen. Der Verlauf entspricht dem direkt gemessenen Verlauf aus **Bild 3**. Gemessen wurden diese Daten mit einem **ServoStar 300** und dem ASCII-Kommando „**VKT 100 360 360**“

Parameter: **100** Hz ($\omega_0 = 628 \text{ s}^{-1}$) über **360** Grad mit **360** Messpunkten [4].

Wenn gleichzeitig mit der Messung von $G_o(j\omega_0, \varphi)$ auch die DC-Kompo-

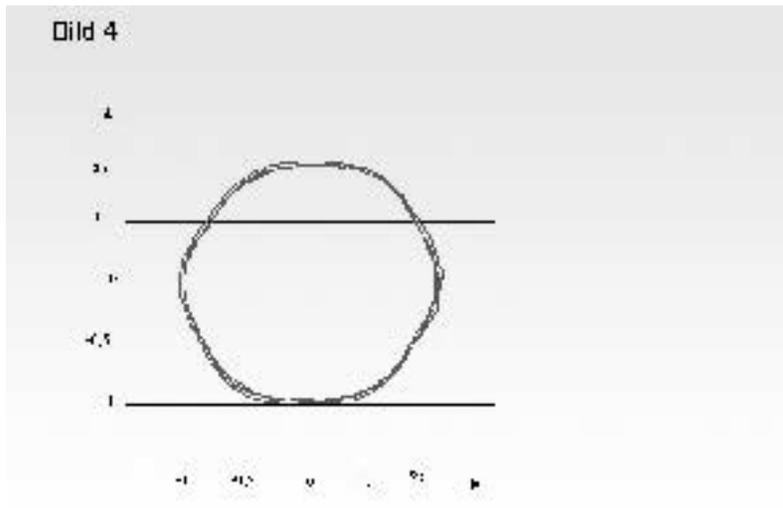


Bild 4: Indirekt gemessener Verlauf der induzierten Spannung in Raumzeigerdarstellung

nente gemessen wird, kann aus dem sich ergebenden Verlauf auf das Cogging (Rastkraft) geschlossen werden.

Zusammenfassung

Gerade bei Direktantrieben ohne motorseitige Lagerung ist die exakte Einhaltung des Luftspaltes nicht problemlos. Als Folge können sich unerwünschte Rastmomente und eine nicht exakt sinusförmige induzierte Spannung (EMK) ergeben. Bei bereits in Maschinen eingebauten Direktantrieben, die normalerweise nicht schnell und oft auch nur weniger als eine Umdrehung drehen

dürfen, ist eine Messung der induzierten Spannung ohne weitere Hilfsmittel kaum möglich. Mit dem neuen Verfahren kann die Spannungsform mit hoher Genauigkeit vom Servoverstärker - ohne weitere Hilfsmittel - in der Maschine indirekt gemessen werden. Aufbauend auf diesen Daten ist die bei Direktantrieben meist geforderte Drehmomentvorsteuerung jetzt hochgenau möglich.

In dem Aufsatz wird gezeigt, wie mit einem „normalen“ Antrieb, bestehend aus Servoverstärker und Motor, eingebaut in einer Maschine, die Form der induzierten Spannung

genau gemessen werden kann. Basierend auf der Abweichung von der idealen Sinusform kann die winkelabhängige Drehmomentkonstante $k_t(\varphi)$ des Motors bestimmt werden. Mit diesem winkelabhängigen Faktor kann das Drehmoment deutlich genauer vorgesteuert werden.

Das Verfahren wird an einem Motor mit trapezförmiger (Brushless-DC) EMK demonstriert. Dazu wird die EMK erst bei konstanter Drehzahl direkt gemessen und dann mit dem Ergebnis der neuen indirekten Messung verglichen.

Literatur

- [1] Röhrig, Christof: *Zur Lageregelung synchroner Linearmotoren für hochdynamische Anwendungen unter besonderer Berücksichtigung der Kraftwelligkeit*, Dissertation - Fortschritt-Berichte VDI, Düsseldorf 2003.
- [2] L. Springob, J. Holtz: *High-Bandwidth Current Control for Torque Ripple Compensation in PM Synchronous Machines*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 45, No. 5, 1998, pp. 713-721.
- [3] J. O. Kraß: *Bode Plot based Auto-Tuning – Enhanced Solution for High Performance Servo Drives*. PCIM Power Conversion Intelligent Motion, Nürnberg, May 2004, pp. 382-387.
- [4] Handbücher ServoStar 300 – www.DanaherMotion.de

Smith Predictor für höhere Dynamik bei anspruchsvollen Antriebslösungen

Prof. Dr.-Ing. Jens Onno Kraß,
 Telefon: +49-221-8275-2439
 E-Mail: jens_onno.kraß@fh-koeln.de

Dipl.-Ing. Heiko Schmirgel

Servoantriebe sind noch immer ein schnell wachsendes Marktsegment. Bürstenlose Motoren haben deutliche Vorteile in Bezug auf Zuverlässigkeit und Baugröße gegenüber anderen Technologien.

Die Herausforderung besteht darin, das beste Verhältnis zwischen Leistungsmerkmalen und Kosten zu erreichen. Antriebe mit höherer Dynamik ermöglichen Lösungen für anspruchsvollere Aufgaben und niedrige Kosten vergrößern die Attraktivität für neue Anwendungen. Die Hardware bleibt innerhalb einer Antriebsgeneration in ihren wesentlichen Charakteristika gleich. Demgegenüber können und müssen kontinuierlich neue und besse-

re Algorithmen entwickelt werden, um die begrenzte Rechenkapazität optimal auszunutzen.

An der Fachhochschule Köln wurde in Kooperation mit der Firma Danaher Motion aus Düsseldorf ein Algorithmus im Stromregelkreis eines Servoantriebs implementiert, der dessen Dynamik entscheidend verbessert.

Die Regelstruktur eines Servoan-

triebssystems besteht im Allgemeinen aus drei kaskadierten Regelkreisen. Strom-, Drehzahl-, und Positionsregelkreis sind ineinander verschachtelt. Der innere Stromregelkreis muss der schnellste sein und die größte Dynamik besitzen, da er alle anderen begrenzt (s. Bild 1). Innerhalb jedes Regelkreises eines digitalen Servoverstärkers werden verschiedene Schritte nacheinander durchgeführt. Jeder dieser Schritte benötigt Rechenzeit, so dass ein Signal nur nach einer gewissen Totzeit an den jeweils folgenden Schritt weitergegeben werden kann (Bild 2). Einige Schritte werden sogar nur zu ganz bestimmten Zeitpunkten durchgeführt. Die Messung des Stromwertes ist normalerweise so ein Prozess. Zusammen mit der Zeit die zur Analog/Digital Umsetzung benötigt wird, ist dies die Totzeit, die vom Feedbacksystem erzeugt wird (T_{dFB}). Die Totzeiten, die innerhalb des PI-Reglers auftreten, werden mit T_{dPI} bezeichnet. Wichtiger zu berücksichtigen sind allerdings die Verzögerungen, die durch die Pulsweitenmodulation und während der aktiven Phase, wenn der Strom eingepreßt wird, entstehen (T_{dPWM} und T_{dPS}). Dieser Vorgang nimmt immer einen vollständigen Interrupt-Zyklus in Anspruch.

Der prädiktive Ansatz von Smith [1] versucht nicht, die Verzögerungen in ihrem Ursprung zu verringern, sondern kompensiert deren Effekt, indem die Antwort des Systems (hier modelliert durch ein LR-Glied) vorhergesagt und zurückgeführt wird. Dazu können die einzelnen Totzeiten in ihrem Effekt zusammengefasst und durch eine Systemtotzeit (T_d) repräsentiert werden. Bild 3 zeigt den Stromregelkreis mit der Erweiterung durch den Smith Predictor. Wenn in dem prädiktiven Zweig die Systemtotzeit korrekt eingestellt ist und das System selbst exakt modelliert wird, vereinfacht sich der Regelkreis deutlich (Bild 4). Die Systemtotzeit taucht hier nur noch außerhalb des Regelkreises auf und beeinflusst dessen Dynamik nicht mehr. Der Teil des Systems, der den PI-Regler betrifft,

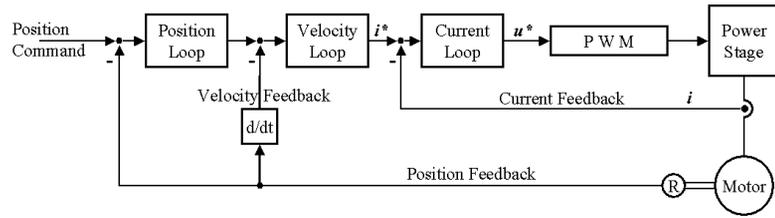


Bild 1 : Regelstruktur eines Servoantriebssystems

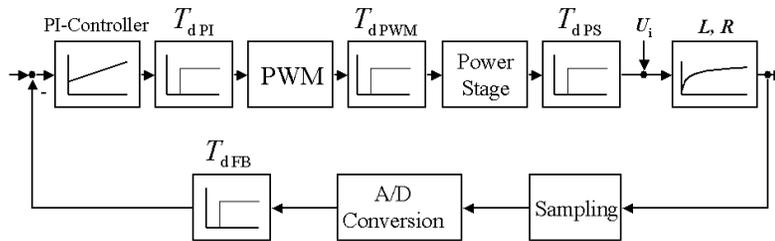


Bild 2 : Totzeiten innerhalb des Stromregelkreises

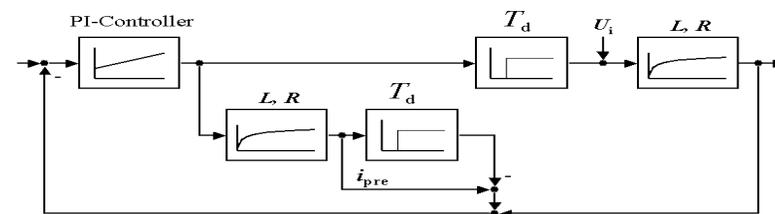


Bild 3 : Smith Predictor im Stromregelkreis

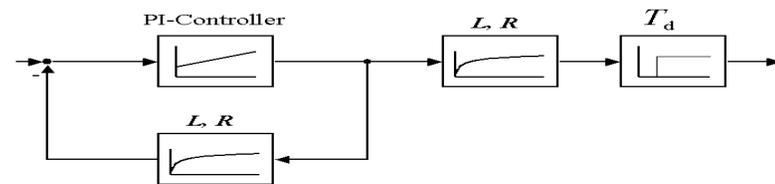


Bild 4 : Resultierendes System

ist das minimalphasige Äquivalent des ursprünglichen Regelkreises. Simulationen haben gezeigt, dass das System auch bei nicht exakt eingestellten Parametern des Smith Predictors gute Ergebnisse liefert. Der Predictor ist damit robust in Bezug auf leichte Verstimmungen des Modells oder Variationen der realen Größen wie sie z. B. durch Temperaturschwankungen entstehen können. Dies wurde durch Messungen bestätigt.

Der hier vorgestellte Algorithmus wurde auf einem konventionellen Servoantriebssystem (**Servostar 303**, 8kHz Schaltfrequenz, 16kHz Stromupdate, mit permanent erregtem Synchronmotor 6SM47L3000) im-

plementiert und gegen dasselbe System ohne Smith Predictor im Stromregelkreis getestet. Der Einsatz des Smith Predictors verbessert die Dynamik deutlich von 1,8kHz auf 3kHz. (Closed Loop Bandbreite bei -90° Phasenwinkel, Bild 5)

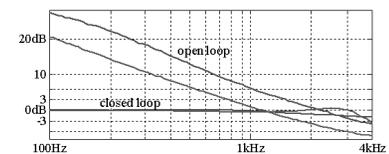


Bild 5 : Bode Diagramm des Stromregelkreises ohne (rot) und mit Smith Predictor (blau)

Obwohl der Smith Predictor ursprünglich für langsamere Prozesse mit deutlich größeren Totzeiten ge-

dacht war, konnte gezeigt werden, dass dieser Algorithmus ebenfalls für bereits hoch entwickelte dynamische Systeme mit kleinen Totzeiten große Verbesserungen ermöglichen kann.

Durch die Verwendung eines Smith Predictors im Stromregelkreis können Antriebssysteme entwickelt werden, die ein deutlich verbessertes dynamisches Verhalten (schnellere Antwort) aufweisen,

ohne eine höhere Schaltfrequenz und damit mehr EMV und Schaltverlustleistung in Kauf nehmen zu müssen.

Die hier vorgestellten Algorithmen wurden auf einem **Servostar 300** implementiert und getestet. Sowohl dieses System, als auch die Finanzierung dieses Projekts wurde von der Firma Danaher Motion GmbH in Düsseldorf zur Verfügung gestellt.

Literatur

- [1] Smith, „A Controller to Overcome Dead Time“, ISA Journal, vol.6. no.2, pp.28-33, Feb 1959
- [2] SR 300 Product Manual, <http://www.danahermotion.de/>

merten

**UND WELCHE
PLÄNE
HABEN SIE?**



GUTE IDEEN KOMMEN NICHT VON UNGEFÄHR

Ideen sind bei Merten auch das Ergebnis guter Beobachtung. In welchen Bereichen haben sich die Bedürfnisse der Kunden verändert? Worauf legen sie morgen mehr Wert als bisher? Und wie verändern neue mobile Lebensstile die Anforderungen an intelligente Gebäudetechnik?

Fragen, für deren Beantwortung Merten die Türen seiner Forschungs- und Entwicklungsabteilung öffnet. Damit Bedürfnisse, Anregungen und Ideen der Kunden so früh wie möglich in die Entwicklung innovativer Produkte und Lösungen einfließen können.

Das Ergebnis dieser Innovationskultur kann sich sehen lassen. Denn Merten setzt weltweit immer wieder Maßstäbe.

Sei es in den 60er-Jahren das erste Schalterprogramm mit schraubenloser Abdeckung. In den 70er-Jahren die Einführung des ersten „Architekten“- Schalters. In den 80ern die Initiative zur Gründung der INSTABUS Gemeinschaft und die Markteinführung des ersten Bewegungsmelders. In den 90er-Jahren die Erfindung des weltweit ersten Glastaster und im Jahr 2004 die Einführung von merten@home, der plattformübergreifenden Bedienoberfläche zur komfortablen Steuerung aller Gebäudefunktionen.

Haben wir Ihr Interesse geweckt? Dann bewerben Sie sich bei uns.

Merten GmbH & Co. KG | Personalabteilung | Postfach 10 06 53 | D-51606 Gummersbach | Tel. +49 2261 702-219 | karsten.klooss@merten.de | www.merten.de

„Future Energy Challenge 2005“

Prof. Dr. Ing. Heinz van der Broeck
Telefon: +49-221-8275-2262
E-Mail: heinz.vdbroeck@fh-koeln.de

Anfang 2004 wurde von der Power Electronics Society und der Industry Application Society des IEEE zusammen mit dem „National Renewable Energy Laboratory“ der USA der studentische Wettbewerb „Future Energy Challenge 2005“ angekündigt. Für die Teilnahme an diesem Wettbewerb konnten sich Studententeams aus aller Welt bewerben. Als Aufgabe wurde die Entwicklung und der Aufbau eines interaktiven Wechselrichters für Anwendungen in der Photovoltaik gestellt. Hierzu wurden herausfordernde Spezifikationen vorgegeben, die in der folgenden Liste zusammengestellt sind:

- Eingangsspannung: 30V ... 60V DC
- Potentialtrennung
- Ausgangsleistung 1kW
- Betrieb mit Netzeinspeisung
- Inselbetrieb
- Erzeugung stabilerer sinusförmiger Spannungen: 220V/50Hz 110V/60Hz
- Sinusförmige Netzeinspeisung für 220V/50Hz und 110V/60Hz
- Automatische Netzsynchrosation
- Gewicht < 3kg
- Volumen < 7,5 Liter
- Wirkungsgrad $\eta > 90\%$
- Materialkosten < 200 US \$ (100k/a)

Die Ausschreibung des Wettbewerbes wurde von den späteren Betreuern der Studentengruppe in ihren Vorlesungen sowie durch Aushänge in der RWTH Aachen und der FH Köln bekannt gemacht. Hieraufhin meldeten sich insgesamt 14 interessierte Studenten an beiden Hochschulen, die in ein gemeinsames Team aufgenommen wurden. Damit konnte für die Teilnahme am Wettbewerb eine hochschulübergreifende Zusammenarbeit auf Studentenebene geschaffen werden.

Als gemeinsame Betreuer des Studententeams standen Prof. Rik De Doncker und Dipl. Ing. Ch. Dick von der RWTH Aachen sowie Prof. Heinz van der Broeck und M. Sc. Ait El HEND von der FH Köln zur Verfügung. Zunächst wurden ausführliche Bewerbungsunterlagen erstellt und zum IEEE geschickt, die neben den Namen der Studenten eine Übersicht der vorhandenen Laborinfrastruktur, sowie die finanzielle und personelle Unterstützungsmöglichkeiten der Hochschulen und Institute beinhaltete.

Nachdem die Bewerbung erfolgreich verlief, konnte im Sommer 2004 mit der Bearbeitung des Projekts begonnen werden.

Die verschiedenen Aufgaben für die Entwicklung des interaktiven Wechselrichters wurden in einzelne Arbeitspakete aufgeteilt und den Studenten nach vorhandener Kenntnis und speziellem Interesse zugeordnet. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Studenten durch die Bearbeitung der zugeteilten Aufgaben auch Prüfungsleistungen erbringen konnten (z. B. Studien- oder Diplomarbeit).

Zur Vereinfachung der Kommunikation erstellten die Studenten eigene Internetseiten mit öffentlichem und internem Zugang. Entsprechend den Vorgaben der Organisatoren wurden die Studenten des Wettbewerbs in vielfältiger Weise gefördert:

- Besuch der intern. Fachkonferenz „IEEE Power Electronics Specialists Conference 2004 in Aachen (alle Studenten, siehe Bild 1)
- Besuch der intern. Fachkonferenz „IEEE Industry Application Annual



Bild 1: Studententeam mit Betreuer während Konferenz PESC04 in Aachen im Juni 2004

Meeting 2004“ in Seattle/USA (1 Student)

- Besuch der Fachmesse „Electronica 2004“ in München (5 Studenten)
- Teilnahme an der Vorlesung „Schaltnetzteile“, die vom Autor in Aachen und in Köln angeboten und für die Studenten des Wettbewerbs hinsichtlich des Inhaltes an die Aufgabenstellung des Wettbewerbes angepasst wurde (alle Studenten).

Aufgrund der Konferenz- und Messebesuche konnten die Studenten zahlreiche Kontakte zu Industriefirmen knüpfen, die das Projekt durch Bereitstellung von Geräten, Komponenten und Software sowie durch finanzielle Mittel großzügig unterstützt haben.

Innerhalb der Entwicklung des Konverters haben die Studenten zunächst ihre erarbeiteten Konzepte mit Hilfe von Simulationsprogrammen überprüft und anschließend kleine Labormodelle aufgebaut, um ihre Theorien zu bestätigen und Probleme der Praxis zu studieren und zu lösen. Danach erfolgte die Auslegung der eigentlichen Leistungsstufen unter Verwendung industriell gefertigter Platinen, die von den Studenten selber entworfen wurden. Die Platinenlayouts der im interaktiven Wechselrichter

eingesetzten Systemteile wurden mehrfach überarbeitet. In den meisten Fällen wurde die dritte Generation eingebaut. Die Fortschritte im Wettbewerb wurden regelmäßig in Berichten zusammengefasst und einem internationalen Gutachtergremium zugeschickt.

Aufgrund des „Final Progress Reports“ von Mai 2005 erfolgte die Auswahl der Teilnehmer am Abschlusswettbewerb in Colorado. Eingeladen wurden Studentengruppen aus USA(3), Australien(1), Südkorea(1), Brasilien(1) und Deutschland(1). Das gemeinsame Team aus Köln und Aachen war damit die einzige Teilnehmergruppe aus Europa.

Dank eines enormen Arbeitseinsatzes der Studierenden und vielfältiger Unterstützung durch die beteiligten Labors ist es dann auch gelungen, den Wechselrichter mit nahezu allen Funktionen rechtzeitig fertig zu stellen (siehe Bild 2).



Bild 2: Wechselrichter

Über die Schalter auf der Frontplatte kann man sowohl den Netz- oder den Inselbetrieb auswählen als auch das europäische (220V/50Hz) oder das amerikanische Netz (110V/60Hz) einstellen. Für die Tests im Wettbewerb musste im Netzbetrieb eine definierte Leistung eingespeist werden.

Das Köln-Aachener Studententeam hat seinen interaktiven Wechselrichter mit drei Leistungsstufen aufgebaut (siehe Bild 3).

Mit Hilfe eines dualen Hochsetzstellers wird aus der variablen Gleich-

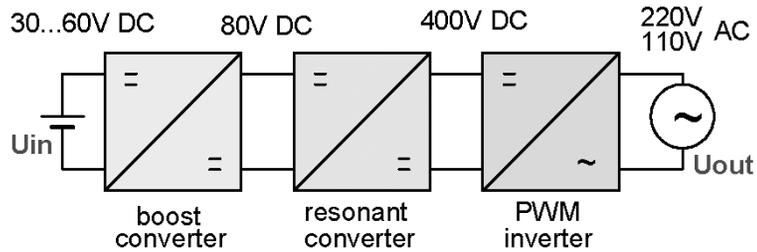


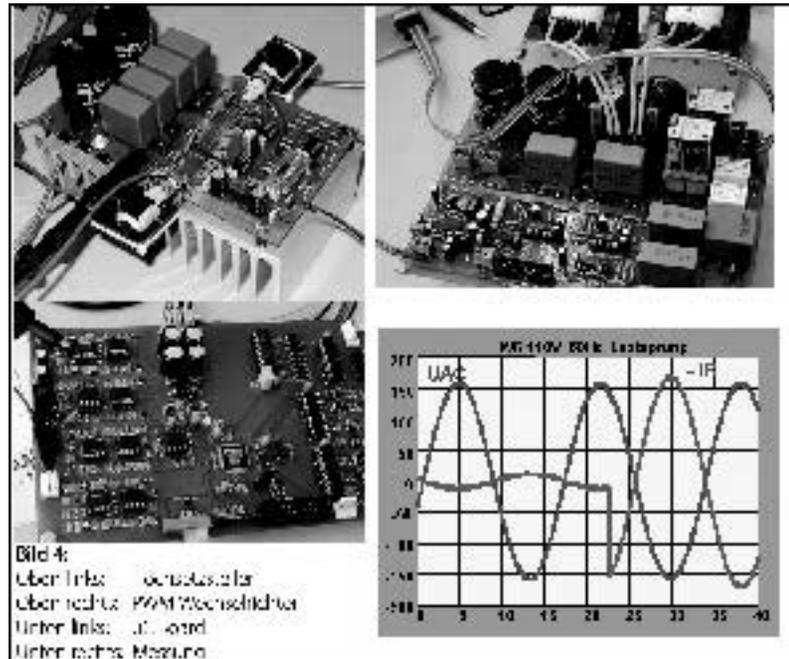
Bild 3: Die drei Leistungsstufen des Wechselrichters.

spannung von 30V bis 60V eine stabilisierte Gleichspannung von 80V gebildet. Gleichzeitig dient der Hochsetzsteller zur geregelten Stromentnahme aus den Photovoltaikzellen.

Zur Potentialtrennung und Erhöhung der Gleichspannung kommt ein Serienresonanzkonverter zum Einsatz. Dieser erzeugt die Eingangsspannung des Pulswechselrichters von ca. 400V DC. Der Pulswechselrichter wurde mit einer Transistorbrücke und LC Filtern

gangsspannungen bzw. die Ausgangsströme werden über die Pulsweitenmodulationsausgänge des ADuC7076 geregelt.

Exemplarisch sind in Bild 4 einige Hardwareteile dargestellt, die innerhalb des Projekts von den Studenten entwickelt und aufgebaut wurden. Zusätzlich wird eine Messung des Inselbetriebs präsentiert, die die erzeugte Wechselspannung von 110V/60Hz während eines Lastsprunges zeigt.



aufgebaut. Diese können durch Parallel- und Serienschaltung für eine Wechselspannung von 220V oder 110V konfiguriert werden. Somit wird eine Überdimensionierung vermieden.

Die komplette Regelung erfolgt mit dem Mikrokontroller ADuC7026. Hiermit wird der gesamte Wechselrichter gesteuert und die Aus-

Dank der Unterstützung der Hochschulen konnte der Autor mit 6 Studierenden in die USA reisen. Dort wurden die Ergebnisse des Projektes von den Studenten vorgestellt. Außerdem wurden die Endberichte begutachtet und die Hardware zahlreichen Tests unterworfen.

Innerhalb der Tests fiel unser Gerät

leider aufgrund eines unvorhersehbaren Isolationsfehlers zum geerdeten Gehäuse im Netzbetrieb aus. Dennoch wurden die Arbeiten unserer Studenten von der Jury sehr positiv bewertet. So erhielt das Team Auszeichnungen für die beste technische Dokumentation und die beste Vortrags-Präsentation. Dies war mit einem Preisgeld von insgesamt 4000 US \$ verbunden.

Abschließend möchte sich der Autor zusammen mit den Studenten und Betreuern bei allen Firmen, Institutionen und Personen bedanken, die das Projekt in vielfältiger Weise unterstützt und somit den erfolgreichen Abschluss ermöglicht haben.



TÜV Rheinland Kraftfahrt GmbH

Personalrecruiting und -entwicklung
Am Grauen Stein
51105 Köln

Tel: ++49 221- 806 2440
Mail: karriere@de.tuv.com
Homepage: www.tuv.com



Ihr neuer Arbeitgeber:

Die TÜV Rheinland Group mit Sitz in Köln zählt zu den international führenden Dienstleistungskonzernen für dokumentierte Sicherheit und Qualität.

Mit 10 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern erwirtschaftet sie einen Gesamtjahresumsatz von rund 800 Millionen Euro. Das Unternehmen ist mit einem Netzwerk von über 100 Tochtergesellschaften an 300 Standorten in über 58 Ländern in nahezu allen wichtigen Wirtschaftszentren der Welt vertreten.

Was wir Ihnen bieten...

Beste Entwicklungsmöglichkeiten, hervorragende Weiterbildungsprogramme, sowie eigenverantwortliches Arbeiten. Weiter bieten wir Ihnen ein attraktives und leistungsgerechtes Gehalt. Zusätzlich werden Entwicklungsprogramme weltweit, sowohl für Fach- und Führungskräfte angeboten.

Wir suchen...

Diplomingenieure zur Ausbildung zum Prüfungingenieur (w/m)

Fachrichtung: Kraftfahrzeugtechnik/ Maschinenbau/ Elektrotechnik
Regionen: Mönchengladbach, Krefeld, Köln, Aachen, Dortmund, Duisburg, Hamm, Oberhausen, Düsseldorf, Wuppertal, Essen, Siegen, Bonn, Gelsenkirchen, Recklinghausen, Olpe, Lüdenscheid, Betzdorf

Kennziffer: PIA 061

Eisenbahningenieure (w/m)

Standort: Köln

Kennziffer: ISA 061

Verkehrs- und Telematikingenieure (w/m)

Standort: Köln

Kennziffer: TIT 061

Mechatroniker (w/m)

Standort: Köln

Kennziffer: TVSS 061

Fahrzeugtechniker (w/m)

Standort: Köln

Kennziffer: TVS 061

Sind Sie interessiert? Oder haben Sie Fragen? Wir freuen uns auf Ihre Unterlagen, Ihre e-mail oder Ihren Anruf.

Erforderliche Unterlagen: Bewerbung, Lebenslauf und Zeugnisse, sowie die Angabe von Gehaltsvorstellung und bevorzugtem Standort