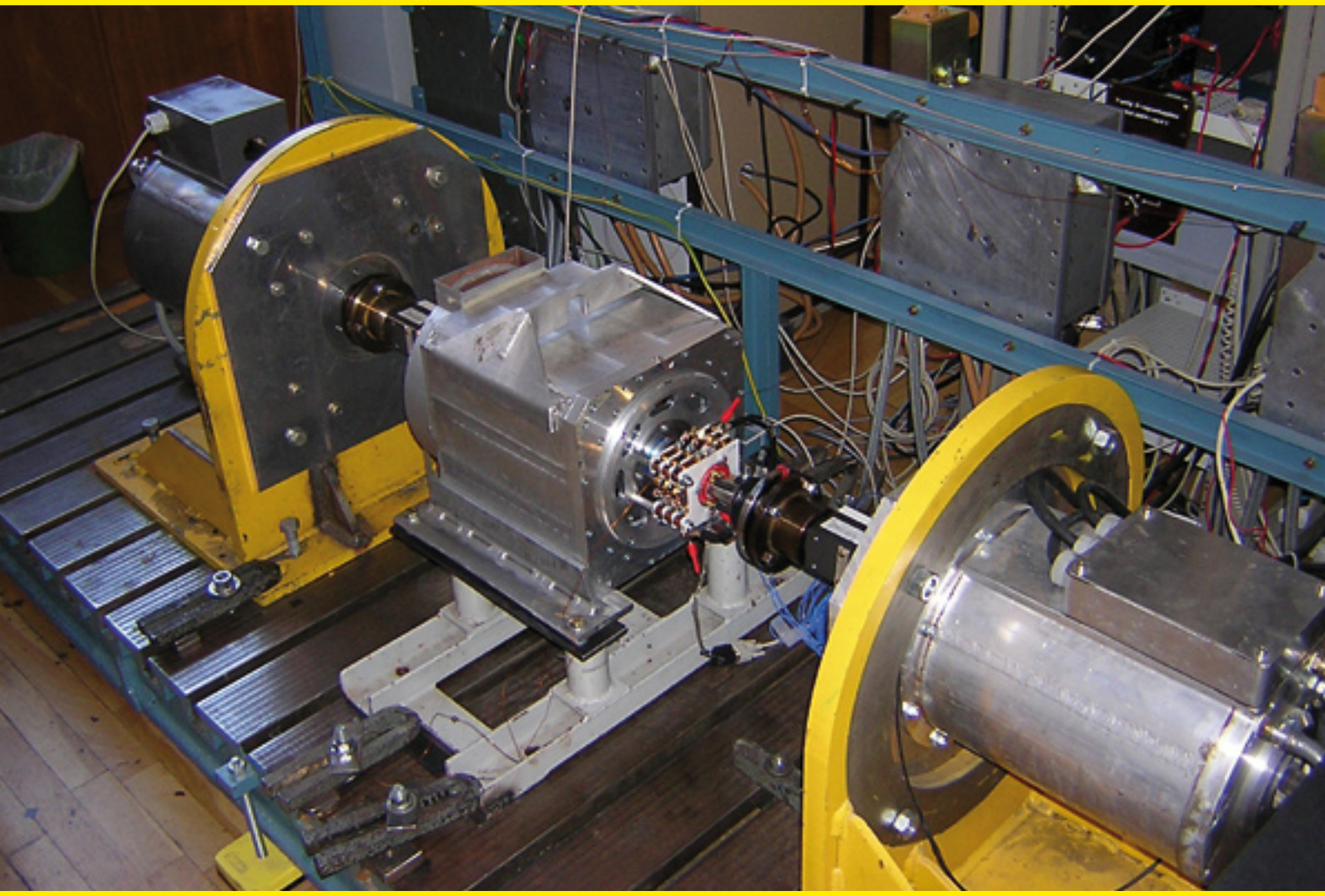
Test & Messtechnik Magazin der

YOKOGAWA

Measurement Technologies GmbH

6

QUALITY ■ INNOVATION ■ FORESIGHT



REPORTAGE
Hybridantriebe: Königlich Technische Hochschule in Schweden entwickelt elektromagnetischen Wandler
Seite 4

MESS-TIPP
Dreiphasige Leistungsmessung – mit zwei oder drei Wattmetern?
Seite 6

APPLIKATION
Das Nullfluss-Prinzip. Wirkungsgradmessungen an Umrichtern und elektrischen Antrieben
Seite 7

YOKOGAWA

ECOC Berlin: Yokogawa im Rampenlicht

Der Yokogawa-Stand auf der ECOC war Schauplatz einer europäischen Premiere: Pünktlich zur Ausstellungseröffnung am 17. September startete die Live-Demonstration des 40-Gbit/s-Transponders. Mit eingebunden waren optische Router und weitere Module für die optische Datenpaketvermittlung. Damit rückt die Anwendung rein optisch vermittelter Hochgeschwindigkeitsnetze in greifbare Nähe.

Die Übertragung hoher Bitraten ist begrenzt durch die Polarisationsmodendispersion auf den optischen Fasern. Bisher lassen sich 40 Gbit/s unmoduliert etwa 100 km weit ohne Signalregeneration übertragen. Die physikalischen Eigenschaften der Faser kann man nicht ändern, wohl aber die Modulationsart des Signals. Der 40-Gbit/s-Transponder von Yokogawa benutzt ein RZ-DQPSK-Verfahren, das auf der Phasenumtastung eines Trägers beruht, so wie sie für geringere Bitraten bereits in Zellularnetzen angewandt wird. Damit reicht die Übertragung des 40-Gbit/s-Transponders rund 800 km weit.

Die neue Technologie ist das Resultat einer strategischen Partnerschaft zwischen Yokogawa and Fujitsu Laboratories Ltd., die seit März 2006 besteht und die Entwicklung von Kerntechnologien und Schlüsselkomponenten für ultraschnelle optische Übermittlungssysteme zum Ziel hat.

Neuer optischer Spektrumanalysator für den Infrarot-Bereich

Erstmals auf der ECOC präsentierte Yokogawa den optischen Spektrumanalysator AQ6375, der mit einem Wellenlängenbereich von 1200 bis 2400 nm neue Anwendungen erschließt. Mit Infrarot im 2-µm-Bereich lassen sich Gase auf ihre Zusammensetzung hin analysieren, medizinische Diagnosen wie beispielsweise Blutzuckermessung durch die Haut durchführen, Langstrecken-LIDAR – eine Art Laser-Radar – und optische Kommunikationsstrecken im freien Raum aufbauen oder auch Materialien bearbeiten. Forschungsinstitute und Unternehmen arbeiten an der Entwicklung leistungsstarker Halbleiter-Laser für diese Anwendungen, zum Beispiel in dem europäischen Forschungsprojekt „Versatile Two Micron Light Source“, welches das Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik in Freiburg koordiniert. Die Messtechnik hat Yokogawa schon jetzt.

Der AQ6375 hat einen Freistrahleingang und eignet sich für Labor und Fertigung. Er kombiniert eine feine Auflösung mit hoher Empfindlichkeit und schnellem Sweep. Seine Langzeitstabilität und Performance machen ihn auch für allgemeine optische Anwendungen interessant.

Optischer Spektrumanalysator AQ6375

Optisches Messsystem weiter ausgebaut

Mit einem 10-Gbit/s-Generator und Bitfehlermesser, einem XFP-Testmodul und einer extrem stabilen DFB-LD-Quelle (Distributed Feedback Laser Diode) erweitert Yokogawa die Einsatzmöglichkeiten seines modularen Testsystems AQ2200. Das System bietet je nach Ausführung Steckplätzen für drei oder neun Einschübe, die sich während des Betriebs wechseln lassen. Es eignet sich für Forschung und Entwicklung sowie für die Produktion optischer Komponenten und Übertragungseinrichtungen.

IMPRESSUM

Das Test & Messtechnik Magazin erscheint vierteljährlich.
Ausgabe 6: 4. Quartal 2007

Herausgeber:
YOKOGAWA Measurement Technologies GmbH
Gewerbestraße 17
82211 Herrsching
Telefon 0 81 52 / 93 10-0
Telefax 0 81 52 / 93 10-60
eMail: info@yokogawa-mt.de
http://www.yokogawa.de

Verantwortlich für den Inhalt:
Johann Mathä
Marketing Manager
eMail: mathae@yokogawa-mt.de

Redaktion: Burkhard Braach
eMail: info@red-a-ktion.de

Titelbild: Elektromagnetischer Wandler auf dem Motorenprüfstand des Instituts für elektrische Maschinen und Leistungselektronik der Königlich Technischen Hochschule in Stockholm (Reportage auf Seite 4)

© 2007 YOKOGAWA Measurement Technologies GmbH

Printed in Germany

Kennen Sie schon das ganze Yokogawa-Haus?

Ein Vorwort soll zum Inhalt leiten wie ein schöner Vorgarten zum Haus. So sieht es Erich Kästner. In diesem Sinne möchte ich Sie hier auf eine kleine Führung durch das Haus Yokogawa mitnehmen – durch Teile, die Sie vielleicht nicht kennen.

In Deutschland sind wir mit über 250 Mitarbeitern nicht nur im Bereich Messtechnik tätig. Auch in der Instrumentierung und Automatisierung verfahrenstechnischer Anlagen haben wir einen Namen. Mit Vertrieb, Engineering und Service betreuen wir unsere Kunden in fast allen Industriezweigen von der Forschung und Entwicklung über die Produktion bis hin zur Qualitätssicherung.

Unser Ursprung lag in der Test- und Messtechnik. Seit seiner Gründung im Jahre 1915 ist das Unternehmen mit innovativen Produkten in diesem Bereich stetig gewachsen. Die ersten Prozessleitsysteme vor 35 Jahren für Raffinerien und große Chemiestandorte waren der Startpunkt für einen weiteren, stetig wachsenden Bereich. Beide Bereiche zusammen repräsentieren heute fast 90 % unseres globalen Geschäftes.

Das hierbei gewonnene tiefe Know-how in vielen Yokogawa eigenen Technologien wird seit einigen Jahren genutzt, um Yokogawa ganz gezielt in neuen High-Tech-Geschäftsfeldern zu positionieren.

- Beispiel High-Speed-Nachrichtentechnik: Basierend auf der Erfahrung in der Photonik hat Yokogawa in Partnerschaft mit Fujitsu einen Transponder für die optische Paketvermittlung mit 40 Gbit/s entwickelt. Für dieses neue Geschäftsfeld wurde in Sagamihara, rund 1,5 Eisenbahnstunden von Tokyo entfernt, ein eigenes Werk errichtet, das im März dieses Jahres die Serienproduktion aufgenommen hat.
- Beispiel Biotechnologie: Mit dem neuen Confocal Scanner von Yokogawa können jetzt auch lebende Zellen beobachtet werden, die sich schnell bewegen.
- Beispiel Avionik: Hier stellt Yokogawa die großen ergonomischen und robusten LCD Flat Panels her, die z. B. in den neuen Airbus-Modellen A380 eingesetzt werden.

Nicht zu vergessen, dass wir auch mit der traditionellen Messtechnik auf neuen Gebieten stark sind, wie z. B. der Erschließung alternativer Energien. Mit unserer Leistungsfähigkeit auf allen unseren Geschäftsfeldern möchten wir die Erwartungen unserer Kunden und natürlich auch unserer Mitarbeiter erfüllen.

Ich wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen der Nachrichten, Reportagen und Mess-Tipps – Ihnen als Kunden, als Mitarbeiter oder einfach als Freunde unseres Hauses.

Ihr Rolf Marten
Geschäftsführer
YOKOGAWA Measurement Technologies GmbH
Yokogawa Deutschland GmbH

YOKOGAWA Measurement Technologies GmbH
Geschäftsbereich:
Test- und Messtechnik
D-82211 Herrsching
Telefon 0 81 52 / 93 10-0

Yokogawa Deutschland GmbH
Geschäftsbereich:
Industrielle Automatisierung
D-40880 Ratingen
Telefon 0 21 02 / 49 83-0

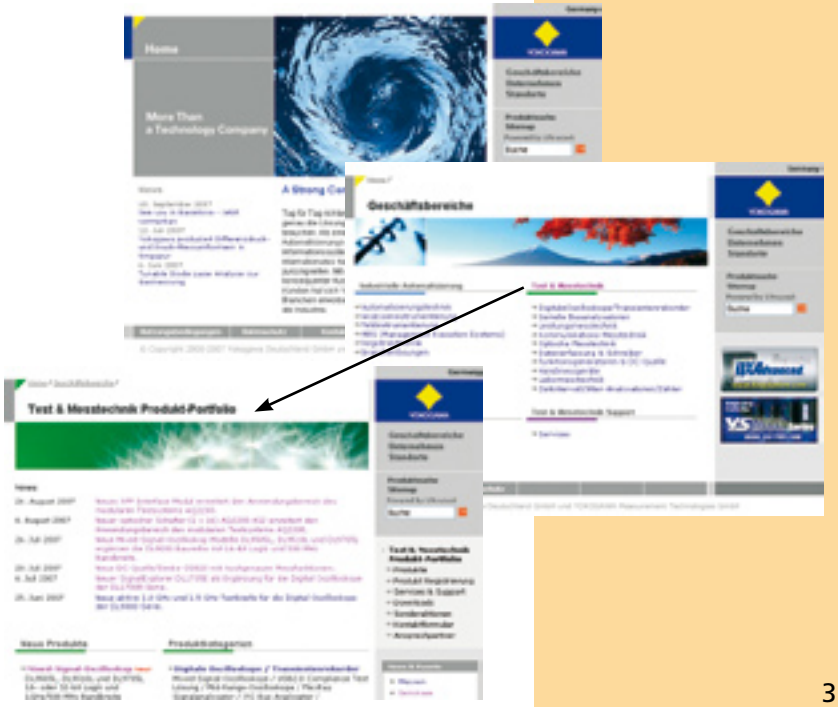
Besuchen Sie uns online:
www.yokogawa.de

Neue Website

Sie haben es vielleicht schon bemerkt: Wenn Sie mit unserer gewohnten Adresse www.yokogawa-mt.de im Internet starten, landen Sie auf www.yokogawa.com/de/tm/TMtop/de-tmtop.htm

Diese Seite für den Bereich Test & Measurement wurde neu gestaltet. Damit präsentieren sich die Yokogawa-Standorte in Deutschland jetzt unter www.yokogawa.com/de in einem einheitlichen Design – so wie Sie es von der internationalen Yokogawa-Website www.yokogawa.com kennen.

Im Prinzip ist die neue Website also gar nicht so neu. Auf der rechten Seite finden Sie alles, was Sie benötigen. Und das Wichtigste: Ihre Ansprechpartner sind dieselben geblieben.



Hybride Dynamik

Königlich Technische Hochschule in Stockholm entwickelt elektromagnetischen Wandler für Straßenfahrzeuge

Sylvain Châtelet am Prüfstand mit einem vorläufigen Testaufbau. Vorn der Elektromotor, der den Verbrennungsmotor simuliert. In der Mitte zunächst ein Elektromotor, der die Doppelrotor-Maschine repräsentiert, gekoppelt mit einem weiteren Elektromotor, der als Stator-Maschine betrieben wird. Hinten der Elektromotor, der die Last simuliert. Diese Anordnung ermöglicht die Wirkungsgradmessung des Wandlers unter verschiedenen Antriebssituationen, wie sie z. B. die Fahrzyklen nach FTC-72 oder der NEFZ vorgeben. Den Aufbau mit einem ersten 4QT-Prototypen für rund 30 kW Leistung zeigt unser Titelbild.

Details finden sich in der Publikation „Efficiency Measuring System for Hybrid Electric Vehicle Energy Transducers"von Sylvain Châtelet, erhältlich als Download unter http://www.ee.kth.se/php/modules/publications/reports/2004/IR-EE-EME_2004_011.pdf

Das umweltfreundlichste Auto ist das, welches steht. Diesen Spruch aus der fundamentalistischen Öko-Szene könnte man ergänzen: Das zweitfreundlichste ist das, welches gleichmäßig rollt. Denn die häufigen Beschleunigungen und Bremsvorgänge im heutigen Verkehr verschwenden die meiste Energie und sorgen damit für einen unnützen Schadstoffausstoß.

Genau genommen eignet sich der Verbrennungsmotor ohnehin nicht zum Anfahren, weil er erst bei einer bestimmten Drehzahl seinen optimalen Wirkungsgrad und seine beste Verbrennung erreicht. Vorher heizt er kräftig die Kupplungsscheiben oder das Öl im Automatikgetriebe. Der Elektromotor dagegen entfaltet im Stillstand sein größtes Drehmoment. Sein Einsatz als Antrieb für lange Strecken scheitert jedoch an heutigen Batteriekapazitäten – vom zweifelhaften ökologischen Nutzen einer über das Stromnetz geladenen Batterie einmal abgesehen. Die Kombination beider Antriebe liegt daher nahe.

Hybridantriebe

Das erste Personenfahrzeug mit Vollhybridantrieb kam 1997 auf den Markt und galt noch als Exote. Inzwischen gibt es mehrere Hersteller, die steigende Verkaufszahlen melden. Dabei unterscheiden sich die Konzepte durch den Anteil, den die beiden Antriebsarten zur gesamten Antriebsleistung beitragen. Der „Micro Hybrid" benutzt den Elektromotor nur als Anfahrhilfe, der „Mild Hybrid" setzt ihn unterstützend auch bei Beschleunigungen ein und kann beim Bremsen Energie zurückgewinnen, der „Full Hybrid" kann mit beiden Antrieben fahren und bremsen – je nach Fahrsituation und Ladezustand der Batterie.

Eine weitere Unterscheidung ist wesentlich. Beim parallelen Hybrid arbeiten Verbrennungsmotor und Elektromotor gemeinsam auf eine Welle des Antriebstrangs, gefolgt vom Getriebe. Beim seriellen Hybrid treibt der Verbrennungsmotor einen Elektromotor als Generator, der seinerseits den Elektromotor für den Antrieb speist – eine Antriebsart, die in dieselelektrischen Lokomotiven längst eingesetzt wird, aber bisher bei Straßenfahrzeugen unüblich ist. Power Split wird eine Variante genannt, bei der der Verbrennungsmotor und ein Elektromotor drehzahlunabhängig über ein Planetengetriebe gekoppelt sind, das die Drehzahl des Verbrennungsmotors untersetzt und zugleich als Kraftweiche dient.

Patentierter elektromagnetischer Wandler

Ein neuer Ansatz für den seriellen Hybrid entstand am Institut für elektrische Maschinen und Leistungselektronik der Königlich Technischen Hochschule in Stockholm unter Professor Chandur Sadarangani: Der Vier-Quadranten-Wandler oder Transducer, abgekürzt mit 4QT. Er besteht im Prinzip aus zwei ineinander geschachtelten Elektromotoren (Grafik unten).

Sylvain Châtelet, wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts, der über die dynamischen Untersuchungen an den Prototypen promovierte, beschreibt die Vorteile dieses Prinzips: „Durch die Integration kommt man zu einer kompakten, Gewicht sparenden Bauweise. Beide Maschinen können als Motor und als Generator arbeiten. Und außerdem können sie Kraft übertragen – als elektromagnetisches Getriebe mit stufenlos variabler Übersetzung."

Wirkungsgradmessung mit Yokogawa

Wichtig ist der Wirkungsgrad des 4QT, der sich aus dem Verhältnis von aufgenommenen und abgegebenen Leistungen ergibt, also mechanisch aus den Drehmomenten und den Drehzahlen, elektrisch aus den Spannungen

Der Vier-Quadranten-Wandler oder Transducer, kurz 4QT, besteht aus zwei integrierten Elektromotoren. Elektromotor 1, die Stator-Maschine, hat außen feststehende Wicklungen und innen einen Rotor mit Permanentmagneten. Er wird direkt mit der Antriebsachse des Fahrzeugs verbunden. Dieser Rotor mit Permanentmagneten ist zugleich der äußere Teil des Elektromotors 2, der Doppelrotor-Maschine, dessen zweiter Rotor mit Wicklungen darein eintaucht. Dieser zweite Rotor wird mit dem Verbrennungsmotor verbunden.

Beide Elektromotoren lassen sich als Generator oder als Motor benutzen. Im Leerlauf oder beim Bremsen können sie die Batterie laden. Beim Beschleunigen können beide den Verbrennungsmotor unterstützen – abgesehen davon, dass die Doppelrotor-Maschine wie eine gewöhnliche Lichtmaschine als Anlasser dient.

Die Pfeilrichtungen in der Darstellung sind deshalb willkürlich gewählt. Wenn z.B. bei Dauerfahrt im Hybridbetrieb die Stator-Maschine die Batterie lädt, ergibt sich der gesamte Wirkungsgrad des 4QT zu:

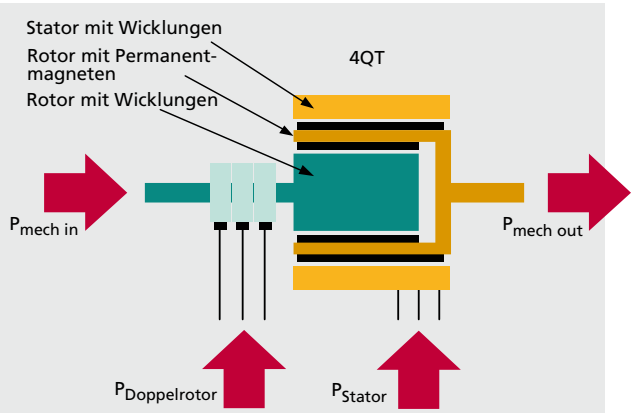
$$\eta_{\text{Hybrid}} = \frac{P_{\text{mech out}} - P_{\text{Stator}}}{P_{\text{mech in}} + P_{\text{Doppelrotor}}}$$

und den Strömen. Für die mechanische Leistung setzte Sylvain Châtelet Drehmomentaufnehmer von HBM in Verbindung mit Pulsgebern ein, für die elektrische Leistung Wattmeter der Serie WT1000 von Yokogawa. „Die hatten die Motor Evaluation Function, eine gute Genauigkeit, und außerdem waren sie erschwinglich.“ Châtelet nutzte sie nicht nur zur elektrischen Leistungsmessung mit externen Shunts, sondern auch als Sampler für die Daten von Drehmomentaufnehmer und Pulsgeber. Inzwischen wurde freilich auch ein hochmodernes WT3000 beschafft.

Fahrzyklen simulieren die Realität

Den Anstoß zur Entwicklung von Hybridantrieben gab der Wunsch, den CO_2-Ausstoß zu senken. Für vergleichende Angaben der Emissionen wurden Fahrzyklen definiert, z.B. FTP-72 und FTP-75 (Federal Test Procedure) in den USA, die reale Stadtfahrten abbilden, oder der NEFZ (der Neue Europäische Fahrzyklus), der mehrere Anfahrten im Stadtverkehr einschließlich Kaltstart und ein Stück Überlandstrecke simuliert. Die Ergebnisse kommen der Wirklichkeit näher als die früheren DIN-Angaben mit Verbrauch in Litern pro 100 km bei Stadtverkehr mit 30 % Standzeit sowie konstanter Geschwindigkeit von 90 und 120 km/h.

Ihre Stärken zeigen die Hybridantriebe erwartungsgemäß im Stadtverkehr mit Stop & Go – durch effizientere Anfahrvorgänge und Energierückgewinnung beim Bremsen. Bei reinen Überlandfahrten bringt ein Hybridantrieb kaum Vorteile. Und für die ökologische Bilanz muss man alles berücksichtigen: die Umweltverträglichkeit der eingesetzten Materialien, den Energieeinsatz zur Herstellung, die zu erwartende Laufleistung. Ob sie positiv oder negativ ausfällt, hängt also wesentlich vom Verhältnis Stadt-/Überlandverkehr ab.

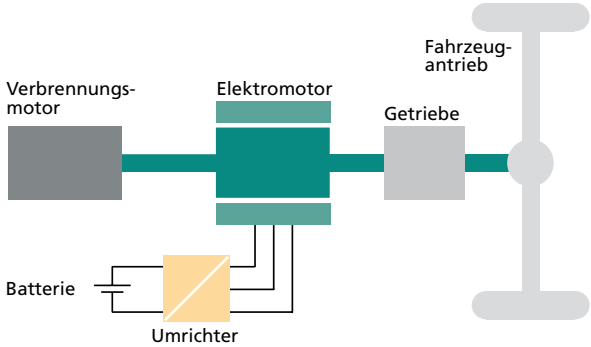


Die Ergebnisse werden als Wirkungsgradkurven in einer Drehzahl-Drehmoment-Ebene dargestellt.

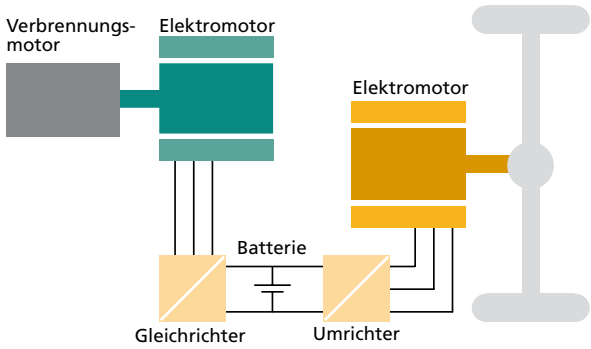
Während eines Fahrzyklus ändern sich die Antriebsbedingungen ständig. Der Wirkungsgrad über den gesamten Fahrzyklus lässt sich deshalb nur aus der Summe vieler Messwertsätze errechnen:

$$\eta_{Fahrzyklus} = \frac{\Sigma P_{out}\, dt}{\Sigma P_{in}\, dt}$$

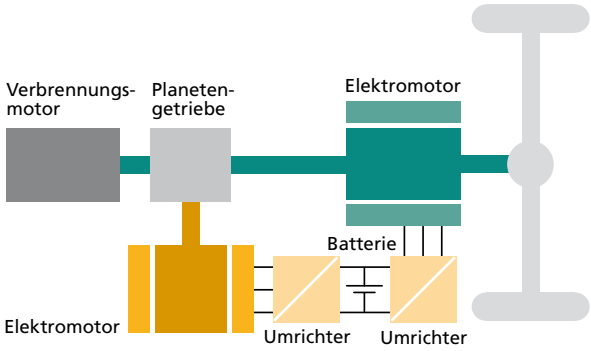
Paralleler Hybrid:
Verbrennungsmotor und Elektromotor sind fest mit der Welle des Antriebstrangs gekoppelt. Der Antrieb kommt mit wenigen Komponenten aus. Diese Antriebsart findet sich beispielsweise im GMC Sierra und in Honda Civic II und Accord.



Serieller Hybrid:
Der Verbrennungsmotor treibt einen Generator, der den Elektromotor für den Antrieb speist. Der Verbrennungsmotor kann immer mit optimaler Drehzahl betrieben werden und lässt sich mit dem Generator an einer beliebigen – günstigen – Stelle im Fahrzeug platzieren. Der Antrieb besteht jedoch aus vielen Komponenten, was sich in Gewicht und Kosten niederschlägt. Er wird deshalb in Lokomotiven, Schiffsantrieben und z. B. in schweren Fahrzeugen für den Bergbau eingesetzt.



Power Split:
Der Verbrennungsmotor und ein Elektromotor sind drehzahlunabhängig über ein Planetengetriebe als Kraftweiche gekoppelt. Ein zweiter Elektromotor arbeitet direkt auf die Antriebswelle. Beispiele sind verschiedene Prius-, Camry-, Highlander- und Lexus-Modelle von Toyota sowie der Ford Escape.



Einflussfaktor Mensch

Die Angaben über die Ersparnis bei Hybridantrieben gegenüber herkömmlichen Antrieben beziehen sich immer auf vergleichbare Antriebsleistungen, sie schwanken je nach verwendetem Fahrzyklus zwischen 10 und 40 Prozent. Der tatsächliche Verbrauch hängt wesentlich vom Fahrstil und den Fahrgewohnheiten ab. Und was ökonomisch mit Spritverbrauch bezeichnet wird, lässt sich ökologisch direkt in CO_2-Ausstoß übersetzen. Unternehmen wie die Modern Drive Technology GmbH in Nürnberg haben sich deshalb u.a. auf Fahrertrainings spezialisiert. Selbst die Deutsche Bahn AG, deren Verkehrsleistung ohnehin als umweltfreundlich eingestuft wird, startete 2001 ein Schulungsprojekt für ihre Triebfahrzeugführer und erzielte eine durchschnittliche Ersparnis von rund 10 Prozent.

Harsche Umweltschützer behaupten freilich, beim Auto ließe sich der Verbrauch um die Hälfte senken, indem man nur noch die Hälfte fährt. Dann müssten viele Leute auf ihre Spaßfahrten verzichten und könnten nur noch die nötigsten Fahrten unternehmen. Die würden allerdings bei 50 Prozent weniger Autos auf den Straßen mehr Spaß machen.

Am Rande bemerkt:
Das U.S. Department of Energy ließ den Antrieb des Toyota Prius II untersuchen. Der Bericht “Evaluation of 2004 Toyota Prius Electric Drive System” vom Mai 2005 ist öffentlich zugänglich über das “Office of Scientific and Technical Information (OSTI)” des Department of Information:

http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/890029-WIfq-PO/890029.PDF

Für die Leistungs- und Wirkungsgradmessung am Umrichter (Inverter) wurde ein PZ4000 von Yokogawa eingesetzt (S. 29; Wirkungsgradkurven S. 34/35).

Dreiphasige Leistungsmessung

Zwei Wattmeter reichen. Aber die Drei-Wattmeter-Methode bringt die zuverlässigeren Ergebnisse

Unser beliebtestes Seminar: Arbeiten mit digitalen Leistungsmessern.

Es vermittelt Grundlagen, gibt Mess-Tipps aus der Praxis und lässt genügend Zeit, um individuelle Messaufgaben zu diskutieren. Demnächst geht es weiter:

25. Oktober 2007 in Böblingen, 8. November 2007 in Frankfurt.

Weitere Termine und Anmeldung zu diesem kostenlosen Seminar über www.yokogawa.com/de

Drehstromanschlüsse in Industrie und Haushalt sind im Allgemeinen als Vierleitersystem ausgeführt. Sie stellen die drei Phasen und einen Nullleiter oder Mittelpunkt zur Verfügung – unabhängig vom Schutzleiter, der den fünften Kontakt belegt. Anders ist das in der Regel bei Wechselrichtern und Motoren. Sie kommen mit drei nur aufeinander bezogenen Phasen aus, bilden also ein Dreileitersystem. Selbst wenn der Motor in Sternschaltung statt in Dreieckschaltung betrieben wird, ist der Sternpunkt selten von außen zugänglich. Wie ist die Gesamtleistung richtig zu messen?

Im Vierleitersystem ist der Fall klar. Man misst die Leistung der drei Phasen mit je einem Wattmeter und benutzt dabei den Mittelpunkt als gemeinsame Spannungsreferenz (Bild 1). Jedes Wattmeter zeigt exakt die Leistung einer Phase an; die Gesamtleistung ergibt sich aus der algebraischen Summe.

Im Dreileitersystem hat man zwei Möglichkeiten. André E. Blondel, ein französischer Ingenieur, formulierte Ende des 19. Jahrhunderts das seither nach ihm benannte Theorem: Zur Leistungsmessung in einem Mehrleitersystem braucht man immer ein Wattmeter weniger, als Leitungen vorhanden sind. Die entsprechende Messung mit zwei Wattmetern ist in Bild 2 dargestellt. Diese Schaltung wird jedoch nicht nach Blondel, sondern nach Hermann Aron genannt, der 1894 den ersten Wattstundenzähler auf der Basis eines elektromagnetischen Pendels mit mechanischem Zählwerk entwickelte.

So bestechend einfach die Lösung auch ist – sie setzt voraus, dass keine Leckströme oder kapazitiven Ableitströme auftreten. Bei heutigen Wechselrichtern mit ihrer Flankensteilheit und den Wicklungskapazitäten der Elektromotoren gilt dies nur in Grenzen. Außerdem entsprechen die Einzelergebnisse der Zwei-Wattmeter-Methode nicht den Leistungen der einzelnen Phasen und lassen keine Rückschlüsse auf Unsymmetrien von Quelle und Last zu.

Für Präzisionsmessungen empfiehlt sich deshalb auch im Dreileitersystem die Drei-Wattmeter-Methode. Drei Impedanzen erzeugen einen virtuellen Mittelpunkt oder Sternpunkt, der den Wattmetern als Referenz dient (Bild 3). Das ermöglicht die

- Messung aller drei Phasenströme zur Beobachtung der Lastsymmetrie und der Leckströme,
- Messung aller drei Phasenspannungen zur Beobachtung der Generatorsymmetrie,
- genauere Berechnung von Scheinleistung und Leistungsfaktor.

Für die Wattmeter von Yokogawa sind verschiedene Sternpunkt-Adapter erhältlich.

Die Aronschaltung

Dahinter steckt eine einfache Rechnung. Aus den Einzelleistungen, bezogen auf einen virtuellen Mittelpunkt, errechnet sich die Gesamtleistung zu

$$p = p_a + p_b + p_c = u_a \cdot i_a + u_b \cdot i_b + u_c \cdot i_c$$

Unter der Annahme, dass keine Leckströme auftreten, gilt

$$i_a + i_b + i_c = 0 \text{ oder } i_b = -i_a - i_c$$

Oben eingesetzt, ergibt sich

$$p = u_a \cdot i_a - u_b \cdot (i_a + i_c)\ u_c \cdot i_c$$
$$= (u_a - u_b) \cdot i_a + (u_c - u_b) \cdot i_c$$
$$= u_{ab} \cdot i_a + u_{cb} \cdot i_c$$

Es reicht also, die Leistung zweier Phasen gegeneinander zu messen – vorausgesetzt, dass die Annahme gilt!

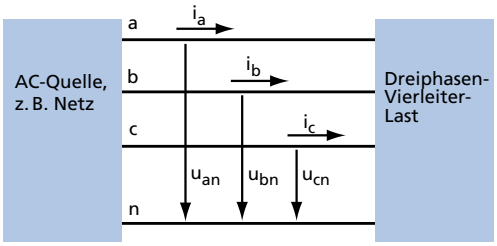


Bild 1: Leistungsmessung im Vierleitersystem. Die drei Wattmeter benutzen den Mittelpunkt als gemeinsame Referenz.

$p = p_a + p_b + p_c$

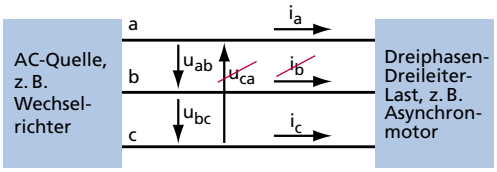


Bild 2: Leistungsmessung im Dreileitersystem nach der Zwei-Wattmeter-Methode (Aronschaltung). Die Wahl der Phasen a, b oder c ist zyklisch vertauschbar.

$p = p_a + p_c$

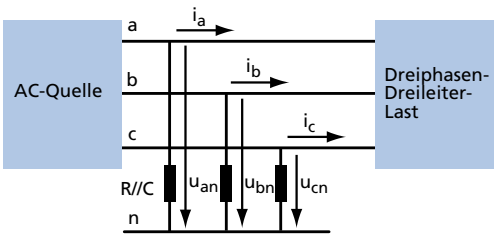


Bild 3: Leistungsmessung im Dreileitersystem nach der Drei-Wattmeter-Methode. R-C-Glieder erzeugen einen virtuellen Mittelpunkt oder Sternpunkt, den die Wattmeter als Referenz benutzen.

$p = p_a + p_b + p_c$

Das Nullfluss-Prinzip

Wirkungsgradmessungen an Umrichtern und elektrischen Antrieben erfordern Messwandler höchster Genauigkeit

Moderne Frequenzumrichter für die Antriebstechnik sind durch zwei Eigenschaften gekennzeichnet: Sie erreichen Wirkungsgrade von 98 % oder mehr, und sie produzieren Oberschwingungen bis 10 kHz oder darüber hinaus. Beides macht die Wirkungsgradmessung schwierig.

Zunächst der hohe Wirkungsgrad. Es mag einfach scheinen, die Verluste eines Umrichters oder Elektromotors auf 10 % genau zu bestimmen. Doch dazu muss man Eingangs- und Ausgangsleistung messen und die Differenz beider Leistungen berechnen. Wenn die beiden absoluten Leistungsmessungen jeweils auf 0,1 % genau sind, ergibt sich bei einem Wirkungsgrad von 98 % eine Unsicherheit von 10 %, bezogen auf die tatsächlichen Verluste! Die Genauigkeitsforderung von 0,1 % bezieht sich dabei auf die gesamte Messkette. Spannung und Strom müssen also jeweils mit ca. 0,05 % Unsicherheit gemessen werden – eine Größe, die das Leistungsmessgerät meist selbst ausschöpft, so dass für die Messwandler oft nur wenige Promille bleiben.

Die zweite Herausforderung stellt der hohe Oberschwingungsanteil dar. Die Ausgangsspannung eines Umrichters ist bei genauer Betrachtung eine Folge rechteckiger Spannungsblöcke mit unterschiedlicher Dauer und konstanter Amplitude, die durch die Induktivität und Kapazität der Motorwicklungen zu einem annähernd sinusförmigen Strom geglättet werden. Dennoch enthält der Strom noch Frequenzanteile von einigen 10 kHz. Das verlangt eine Bandbreite der gesamten Messkette von rund 100 kHz.

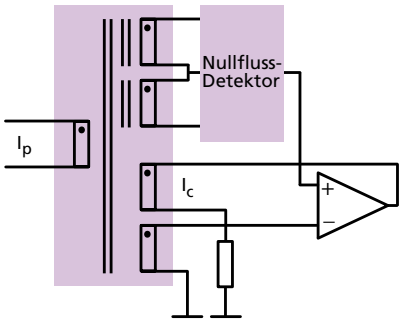
Was sind nun die Kriterien für Messgerät und Wandler? Zum einen ist es der Amplitudengang, der bestimmt, bei welcher Frequenz das Signal mit welcher Genauigkeit messbar ist. Weiterhin ist der Phasengang zu beachten. Denn jeder Phasenwinkelfehler zwischen Strom- und Spannungsmessung führt zwangsläufig zu einer Fehlberechnung der Leistung. Bei Messungen an getakteten Signalen ist darüber hinaus auf die Gleichtaktunterdrückung des gesamten Messsystems zu achten. Diese gibt an, wie hoch der Fehler durch kapazitive Ableitströme über das Messgerät werden kann.

Während mit Leistungsmessgeräten die Spannungsmessung bis ca. 1000 V noch direkt und mit guter Genauigkeit möglich ist, braucht man für die Strommessung geeignete Wandler. Shunts bieten zwar eine hohe Bandbreite sowie geringe Amplituden- und Winkelfehler, aber die galvanische Kopplung der Spannungsimpulse stellt fast unlösbare Forderungen an die Eingänge des Messgeräts. Transformatorische AC-Messwandler haben meist eine mäßige Amplitudengenauigkeit und arbeiten in einem Frequenzbereich von einigen 10 Hz bis hinauf zu mehreren 100 Hz.

Eine Alternative sind Präzisions-Stromwandler nach dem Nullfluss-Prinzip. Sie messen Ströme bis zu mehreren tausend Ampere mit Unsicherheiten von wenigen ppm – ein ppm entspricht 0,0001 % – und arbeiten von DC bis zu Frequenzen von mehreren hundert Kilohertz. In Verbindung mit Leistungsmessern von Yokogawa decken sie praktisch alle Messaufgaben an Niederspannungsumrichtern ab. Dagegen kann man auf die Entwicklung von Präzisions-Spannungswandlern für die Leistungsmessung an Mittelspannungsumrichtern im wahren Sinne des Wortes gespannt sein.

DANFYSIK-Nullflusswandler für Primärströme von 0 bis 600 A im Einsatz an einem elektrischen Antrieb. Der Messstrom der Sekundärseite von 0 bis 400 mA kann problemlos dem Leistungsmessgerät zugeführt werden.

DANFYSIK-Nullflusswandler liefert Yokogawa in Projektpartnerschaft mit SIGNALTEC GmbH in Nürnberg, www.signaltec.com



Vereinfachte Darstellung des Nullflusswandlers. Die Schaltung stellt den Kompensationsstrom I_c so ein, dass der magnetische Fluss im Wandler zu Null wird. Dadurch liefert der Kompensationsstrom ein genaues Abbild des primären Wechselstroms I_p. Den Gleichanteil ermittelt der Nullfluss-Detektor mit zwei Sensorspulen, die in Sättigung betrieben werden: Ein Gleichstromanteil im Primärkreis verschiebt das Sättigungsverhältnis, was der Detektor entsprechend registriert. Der Bürdenwiderstand ist nur dann nötig, wenn das nachfolgende Messgerät einen Spannungseingang hat – wie z. B. ein Oszilloskop oder ein Datenlogger.

Leistungsmessung im Labor des Instituts für Energie- und Antriebstechnik der Hochschule Ulm mit Nullflusswandlern von DANFYSIK und dem Wattmeter WT1600 von Yokogawa.

Mixed-Signal-Oszilloskope: Familie komplett

Das Top-Modell der Serie DL9700 ist nicht mehr allein. Mit drei neuen Varianten hat der Kunde jetzt die freie Wahl zwischen

DL9710L	1 GHz	32 Logik-Kanäle
DL9705L	500 MHz	32 Logik-Kanäle
DL9510L	1 GHz	16 Logik-Kanäle
DL9505L	500 MHz	16 Logik-Kanäle

Alle Varianten haben vier analoge Kanäle, und auch bei der Speichertiefe gibt es mit 6,25 Mega-Worten pro Kanal (jeweils analog und digital) keine Kompromisse. Zwei Logik-Tastköpfe mit je acht Kanälen für Taktfrequenzen bis 250 MHz sind jeweils im Lieferumfang enthalten.

Digital-Oszilloskope: Preisbrecher im Mid-Range

Das neue DL1735E aus der Serie DL1700 bietet in der gehobenen Mittelklasse ein Spitzen-Preis/Leistungs-Verhältnis. Die analoge Bandbreite beträgt 350 MHz. Alle anderen Eigenschaften sind mit denen des DL1740E identisch: 4 Kanäle mit 1 GS/s Echtzeit-Sampling, 2 Mega-Worten Speichertiefe pro Kanal und die gewohnte Vielfalt an Schnittstellen: PC Card, USB, Ethernet. Auch die Trigger- und Analysefunktionen für I^2C- und SPI-Bus sind optional erhältlich.

Neue aktive Tastköpfe für High Speed

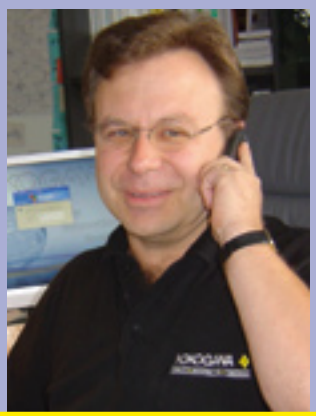
Um die Bandbreiten seiner Spitzen-Oszilloskope voll zu nutzen, hat Yokogawa zwei neue aktive Tastköpfe ins Programm genommen. PBA1000 mit 1 GHz Bandbreite (-3 dB) ermöglicht es, die analoge Bandbreite der DL9000-/DL9700-Geräte mit 500 MHz auszuschöpfen. PBA1500 mit 1,5 GHz Bandbreite (-3 dB) ist entsprechend für die Geräte mit 1 GHz Bandbreite geeignet. Beide Tastköpfe werden direkt vom Oszilloskop aus mit Strom versorgt.

Programmierbare Quelle: schnell und präzise

Die neue duale Source Measure Unit GS820 vereint eine programmierbare Erzeugung von Spannungen und Strömen mit hochgenauen Messfunktionen zur Charakterisierung von Halbleitern und anderen elektronischen Komponenten. Die typische Messzeit beträgt nur 1 ms bei präziser Spannungs- und Stromabgabe (± 0,02 %). Über die USB-Schnittstelle lässt sich GS820 vom PC aus wie ein USB Memory ansprechen.
Das zweikanalige Gerät kann simultan zwei unterschiedliche Signale erzeugen. Für vielkanalige Anwendungen an Halbleiter-Arrays können bis zu fünf GS820 synchron im Master-Slave-Betrieb arbeiten.
Für Mixed-Signal-Anwendungen ist es möglich, das Gerät mit einer digitalen 16-Bit-I/O-Schnittstelle auszurüsten. Damit lassen sich auch externe Scanner ansteuern oder Statussignale des Prüflings aufzeichnen.

Vertriebsbüro München

Die Leitung des Vertriebsbüros München hat nach einem halben Jahr Pause wieder Klaus Thalheimer übernommen. Vielen Kunden aus seinem Gebiet ist er noch in guter Erinnerung.
Klaus Thalheimer hat sich außer Haus im Bereich der Messtechnik weitergebildet und steht Ihnen nun wieder mit seiner kompetenten Beratung zur Seite.
Telefon:
0 81 91 / 428 48 58
eMail:
Thalheimer@
yokogawa-mt.de



YOKOGAWA Measurement Technologies GmbH
Gewerbestraße 17, 82211 Herrsching
Telefon 0 81 52 / 93 10-0
Telefax 0 81 52 / 93 10-60
eMail: info@yokogawa-mt.de
http://www.yokogawa.de

Vertriebsbüro Hamburg/Hannover
Telefon 04 51 / 4 99 82 82
eMail: Oelke@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro Berlin
Telefon 030 / 84 10 95 13
eMail: Herrmann@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro Dresden
Telefon 03 51 / 2 81 56 68
eMail: Gulich@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro Hanau
Telefon 0 60 41 / 82 04 50
eMail: M.Wachter@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro Mönchengladbach
Telefon 0 21 66 / 55 19 29
eMail: Koerver@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro Dortmund
Telefon 0 23 06 / 37 09 73
eMail: Hillebrand@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro Aschaffenburg
Telefon 0 60 27 / 46 48 23
eMail: Becker@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro München
Telefon 0 8191 / 428 48 58
eMail: Thalheimer@yokogawa-mt.de

Vertriebsbüro Stuttgart
Ingenieurbüro J.J. Steck
Telefon 0 72 33 / 95 96 - 0
eMail: Vertrieb@IB-Steck.de

YOKOGAWA Test und Messtechnik Vertretungen in der Schweiz und in Österreich:

nbn Elektronik AG
Birmensdorferstrasse 30
CH-8142 Uitikon
Telefon +41 / 44 / 404 34 34
Telefax +41 / 44 / 493 50 32
eMail: sales@nbn-elektronik.ch
www.nbn-elektronik.ch

nbn Elektronik
Handelsgesellschaft m.b.H.
Riesstr. 146
A-8010 Graz
Telefon +43 / 3 16 / 40 28 05
Telefax +43 / 3 16 / 40 25 06
eMail: nbn@nbn.at
www.nbn.at