(alle Bilder: Yokogawa)

Mathematik als nützliches Messtechnik-Tool

Seit langer Zeit werden z.B. energiesparende Geräte aller Art mit Nachdruck entwickelt. Dabei sind auch Messgeräte erforderlich, die nicht nur die reine Datenerfassung erledigen, sondern auch zusätzlich weitere Leistungsgrößen berechnen. Wie Mathematikfunktionen in einem Transientenrecorder dabei helfen können, zeigt dieser Beitrag.

Von Anna Krone und Chiaki Yamamoto

Energieeinsparungen sind in den vergangenen Jahren zu einem aktuellen Thema geworden, und Elektrogeräte sowie Industrieausrüstungen und Elektroniksysteme aller Art werden auf Verbesserung des energetischen Wirkungsgrades hin (weiter-) entwickelt. Bei der Entwicklung elektromechanischer Systeme werden zusätzlich Messgeräte nötig, die über die rein elektrischen Größen Spannung und Strom hinaus auch – mit speziellen Sensoren – weitere (primär nicht-elektrische) Parameter wie z.B. Drehzahl oder Drehmomente von Motoren als elektrische Signale aufzeichnen. In diesem Zusammenhang sind auch beispielsweise Messgrößen-Skalierungen oder -Integrationen durchzuführen – also mathematische Berechnungen, die sinnvollerweise gleich das Messgerät (und nicht ein zusätzlicher PC) erledigen sollte. Am Beispiel des Transientenrecorders DL850 (ScopeCorder) von Yo-

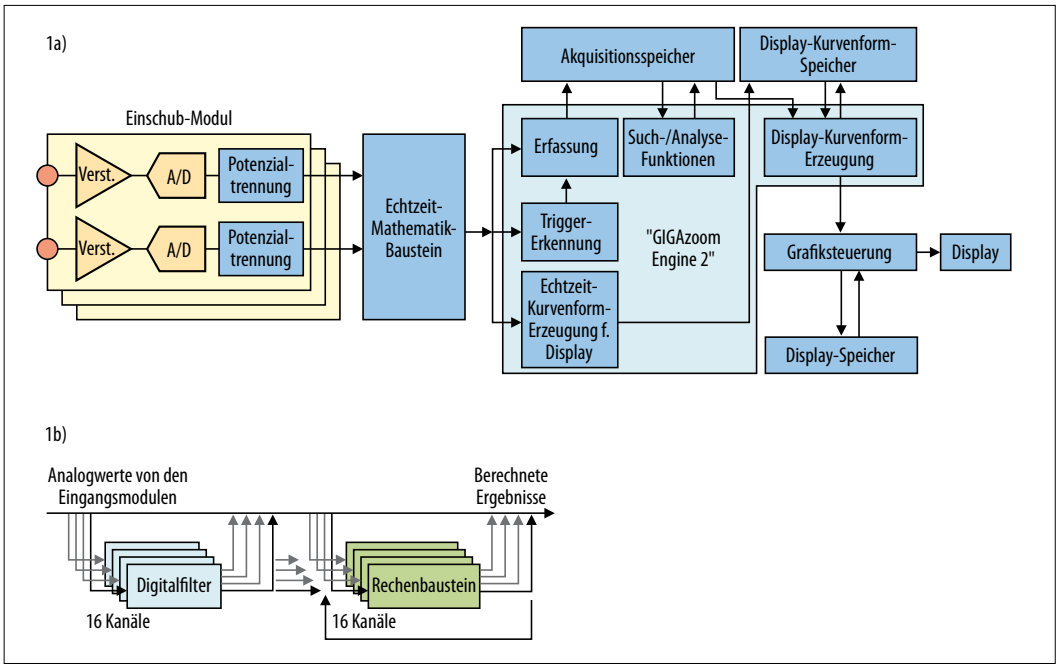

Bild 1. a) Blockdiagramm des ScopeCorders 850; b) Aufbau des Echtzeit-Mathematikbausteins.

kogawa wird hier gezeigt, welche Pluspunkte praxisgerechte Mathematikfunktionen mit sich bringen.

Mathematik: gleich nach der Datenerfassung

Bei dem DL850 (siehe **Aufmacherbild**) handelt es sich um ein Gerät zum Messen und Aufzeichnen elektrischer Signale mit acht Steckplätzen für Einschubmodule, die es ihrerseits in 17 verschiedenen Varianten für unterschiedliche Signal-/Sensor-Konfigurationen gibt. Die Eingangssignale werden vom A/D-Wandler digitalisiert und über die „GIGAZoom Engine 2“ , einen Datenverarbeitungsbaustein, zum Akquisitionsspeicher geschickt. Die „GIGAZoom Engine“ stellt fest, ob ein Triggersignal vorhanden ist, und speichert gegebenenfalls nur die wirklich erforderlichen Signalteile vor und nach dem Triggersignal im Akquisitionsspeicher. Sie hat einen speziellen Prozessor zur Kurvenanzeige und kann somit Kurvenverläufe mit hoher Geschwindigkeit ausgeben. Diese Funktion ermöglicht dem ScopeCorder, alle Messkurven auch bei voller Speicherkapazität von 2 Mrd. Punkten schnell anzuzeigen.

Die neu entwickelte Echtzeit-Mathematikfunktion ist zwischen dem Einschubmodul und der „GIGAZoom Engine 2“ angeordnet (**Bild 1a**). Die Funktion kann für jeden Kanal aufgerufen werden – unabhängig davon, ob die Daten jedes Einschubmoduls direkt im Akquisitionsspeicher abgelegt werden, wie sie sind, oder ob sie erst nach der Verarbeitung durch den Echtzeit-Mathematik-Baustein im Speicher abgelegt werden. Sind alle Datenpfade der Echtzeit-Mathematikfunktion zugewiesen, können die Daten von bis zu 16 Kanälen gleichzeitig verarbeitet werden.

Der Vorteil, die Daten erst zu verarbeiten und dann im Akquisitionsspeicher abzulegen, besteht darin, dass die Berechnung nicht durch die Kapazität dieses Speichers beschränkt ist. Auch bei der Trigger-Erkennungsschaltung wird das zuvor errechnete Ergebnis für die Abfrage des Triggers verwendet. Anschließend wird die Akquisition der Daten auf Grundlage des errechneten Ergebnisses bewertet, so dass eine sehr effiziente Speicherung der Daten erfolgen kann. Eine gleichzeitige Akquisition der Mess- und Rechendaten erreicht man durch das „Übertragen“ der Daten: In diesem Fall werden die verarbeiteten Daten auf einen anderen Kanal übergeben, in dem kein Einschubmodul eingesteckt ist, und anschließend neu aufgezeichnet.

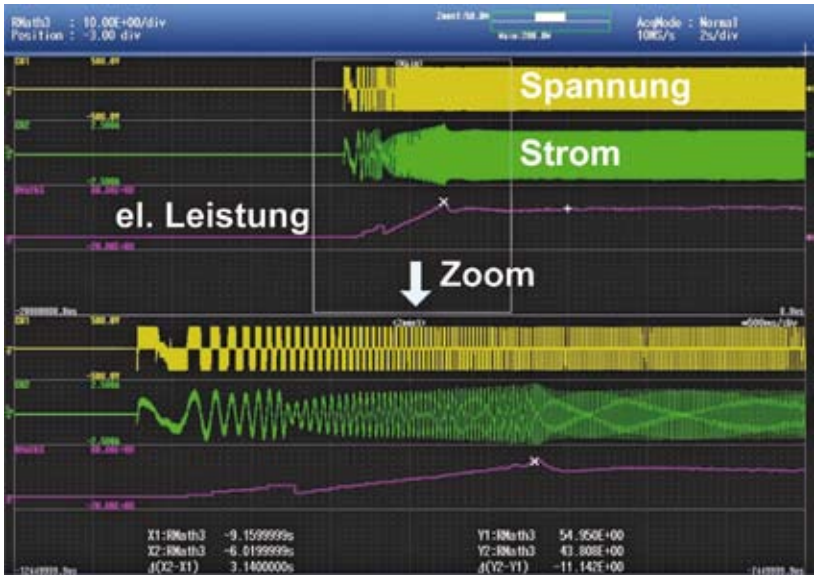

Bild 2. Beispiel der Strom-/Spannungs-Messung und daraus errechnet die Leistung beim Hochlauf eines Motors: Oben Gelb das Spannungs-Oszillogramm, darunter in Grün der Strom und darunter als dünne violette Kurve die Leistung. Aus diesem Dreier-Block darunter ein Zoom (ebenfalls mit den drei Kurvenzügen Strom/Spannung/Leistung); ganz unten alphanumerische Werte.

Struktur des Mathematikbausteins

Die Einheit für die Echtzeit-Mathematik ist durch einen zweckbestimmten Hardware-Mathematikbaustein für extrem schnelle Datenverarbeitung realisiert. **Bild 1b** zeigt ein Blockdiagramm des Echtzeit-Mathematikbausteins, der aus zwei Einheiten besteht: Digitalfilter und Rechenbaustein. Beide Einheiten können unabhängig voneinander operieren und jeweils die Verarbeitung für 16 Kanäle gleichzeitig ausführen.

Im Digitalfilter-Baustein können Tiefpass, Hochpass und Bandpass vom

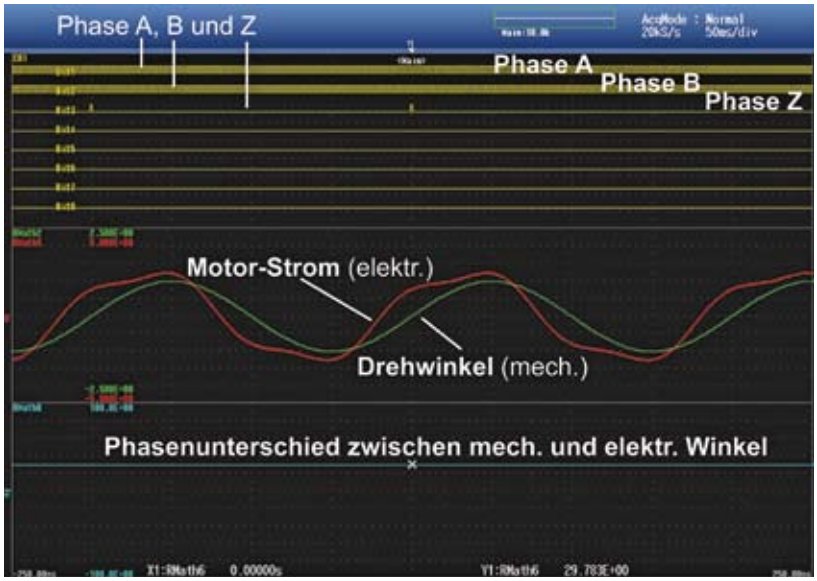

Bild 3. Beispiel für eine Messung des elektrischen Phasenwinkels: oben die Phasen-Ansteuersignale des Motors, darunter die jeweiligen Phasenlagen des Erregerstromes und der Motorachse (übereinandergelegt).

Typ „Finite Impulse Response" (FIR) oder „Infinite Impulse Response" (IIR) oder aber Gauß-Filter und Filter mit gleitendem Mittelwert gewählt werden. Die Verarbeitungszeit des Digitalfilters beträgt bis zu 1 MS/s in 16 Kanälen gleichzeitig, das ist mehr als das 10-fache der Leistung im früheren Modell DL750.

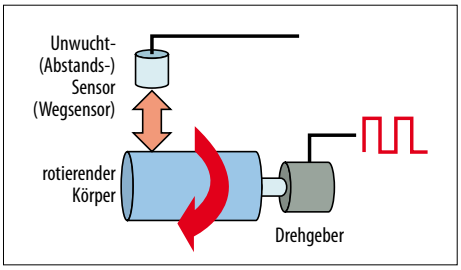

Bild 4. Prinzip der Rundlauf-/Unwucht-Messung.

Am Rechenbaustein kann eine der 35 internen Rechenfunktionen für jeden Kanal gewählt werden. Dabei handelt es sich um die Grundfunktionen wie die vier Grundrechenarten, Wurzel- und logarithmische Funktionen, Integration, Differentiation sowie anwendungsbezogene Funktionen wie die Berechnung der elektrischen Leistung und des elektrischen Phasenwinkels, der Periodendauer, Pulsweite oder Frequenz. Die Ergebnisse der Echtzeit-Berechnungen können in andere Berechnungen eingefügt werden. Somit sind komplexe Operationen durch Kombination mehrerer Rechenfunktionen möglich. Alle Algorithmen sind Hardware-mäßig implementiert, wodurch schnelle Berechnungen bis zu 10 MS/s mit 16 Kanälen gleichzeitig möglich sind; das ist ein Wert, der um etwa das 100-fache besser ist im Vergleich zum früheren DL750-Recorder.

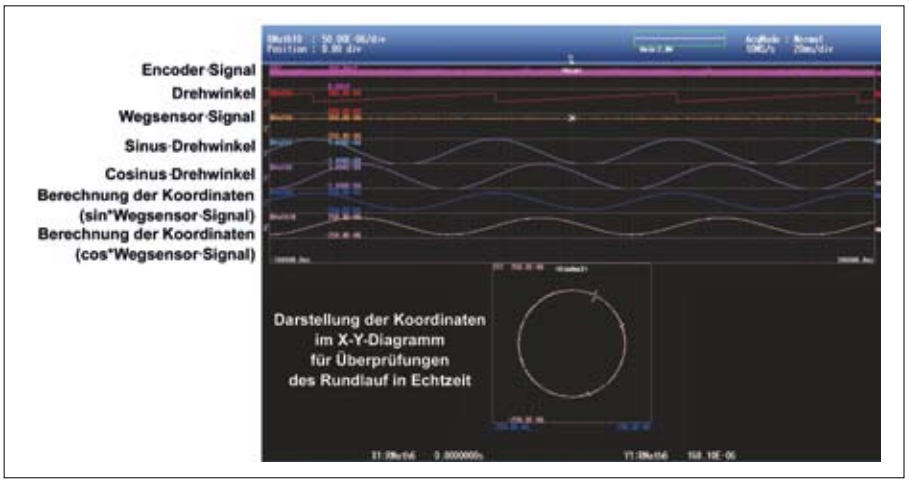

Bild 5. Oszillogramm einer Rundlauf-/Unwucht-Messung. Links die Signale an den zugehörigen Kurvenzügen. Unten das Koordinaten-Diagramm.

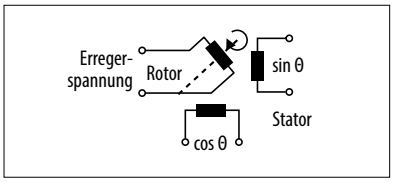

Bild 6. Aufbau eines Resolver.

Anwendungen mit dem Mathematikbaustein

Messung transienter Leistung

Mit der implementierten Leistungsfunktion lässt sich z.B. die transiente Wirkleistung für jede Periode messen. Dabei werden die Momentanwerte der Leistung (Momentanwerte aus „Strom mal Spannung") über eine Periodendauer integriert. Für jede Periode wird die Berechnung wiederholt und das Ergebnis aktualisiert/aufsummiert. Auf diese Weise lassen sich auch Änderungen der elektrischen Leistung präzise registrieren, selbst wenn die Periodendauer der Wechselspannung schwankt.

Wenn sich z.B. die Periodendauer während des Hochlaufs eines Motors kurzfristig ändert, kann das Gerät mit dieser Funktion den Änderungen der Periodendauer folgen und die elektrische Leistung in Echtzeit für jeden Zyklus der Kurve registrieren. Mit einer Rechenkapazität von 10 MS/s erfasst der Recoder alle Daten und berechnet z.B. die elektrische Leistung von Pulsbreitenmodulations-Kurven (PWM) bei Geräten wie Umrichtern. **Bild 2** zeigt als Beispiel die elektrische Leistungsmessung beim Hochlauf eines Motors.

Phasendifferenz mechanischer/elektrischer Winkel

Zur Energieeinsparung bei Motoren werden häufig Umrichter und Vektorsteuerungen verwendet. Die Drehmomentcharakteristiken von Motoren hängen dabei von der Phasendifferenz zwischen dem mechanischen Positionswinkel eines Motors (Absolutwinkel der Motorwelle) und dem zugehörigen elektrischen Phasenwinkel eines Erre-

gerstroms ab. Aus diesem Grund ist die Messung eines elektrischen Phasenwinkels und des dazugehörigen mechanischen Positionswinkels (bzw. deren Phasendifferenz) wichtig, um Motorcharakteristiken zu verstehen.

Für diesen Zweck gibt es in der Mathematik-Bibliothek eine Phasendifferenz-Berechnung, die sich aus dem mechanischem Positionswinkel (z.B. Drehgeber-Signal von der Motorwelle) und dem elektrischen Phasenwinkel ergibt. Dabei kommt eine diskrete Fouriertransformation des Erregerstroms zur Anwendung. Der elektrische Phasenwinkel kann so für jeden Zeitpunkt berechnet und registriert werden, auch wenn die Kurven des Stroms verzerrt sind. **Bild 3** zeigt ein Beispiel für die Messung des elektrischen Phasenwinkels bei verzerrten Kurven des Stroms.

Rundlauf-Geometrie visualisieren

Die Echtzeit-Mathematikfunktion ermöglicht es beispielsweise auch, die Ergebnisse einer Rundlauf- bzw. Unwucht-Messung eines rotierenden Körpers in XY-Koordinaten (berechnet aus Polarkoordinaten) zu visualisieren. **Bild 4** zeigt das Prinzip, **Bild 5** ein zugehöriges Oszillogramm. Das Verhalten des rotierenden Körpers kann in Polarkoordinaten in Echtzeit angegeben werden, indem die Winkelfunktion zur Berechnung des Winkels auf Basis des Drehgeber-Signals verwendet wird, die Sinus- und Cosinuswerte aufgrund dieses Wertes berechnet werden und die XY-Anzeigefunktion zur Anzeige jedes Wertes auf den Koordinaten herangezogen wird. In die Anzeige einbezogen wird das Signal des Abstands-/Unwucht-Sensors, der in der Praxis meist ein Wegsensor ist. Durch die unten in Bild 5 gezeigte XY-Koordinaten-Darstellung kann man das Verhalten des sich drehenden Körpers in Abhängigkeit vom Drehwinkel darstellen.

Messung mit einem Resolver-Winkelsensor

In der Vergangenheit wurden Resolver häufig zur Erfassung der geometrischen Motor-Drehwinkel von Fahrzeugen aller Art verwendet, da sie hervorragend auch unter schlechten Umgebungsbedingungen einsetzbar sind. Wie **Bild 6** zeigt, wird in den Rotor eines Resolvers eine Erregerspannung eingespeist. Bei Drehung des Rotors (und damit des Untersuchungsobjekts „Motor") liefert der Resolver dann aus zwei festen, orthogonal zueinander angeordneten Stator-Sensorspulen zwei Signale (sin Θ und cos Θ), die dem mechanischen Drehwinkel Θ direkt zugeordnet werden können. Die Erregerspannung ist den Signalen von sin Θ und cos Θ überlagert, so dass diese Trägerkomponente zu entfernen ist und dann die Winkelberechnung ausgeführt werden kann.

Die Resolver-Funktion im ScopeCorder erkennt dabei automatisch die Signale von sin Θ und cos Θ, die synchron zur Erregerspannung des Resolvers sind, tastet sie ab und berechnet die Winkel. Die Resolver-Funktion besitzt eine interne Nachlauffilter-Schleife, wie **Bild 7** darstellt. Auch wenn einige Abtastwerte der Signale von sin Θ und cos Θ fehlen sollten, können sie doch interpoliert werden.

Bild 8 zeigt schließlich das Beispiel einer Messung des Resolver unter Verwendung dieser Funktion. Wie zu erkennen ist, werden die errechneten Winkeldaten nicht von der Erkennung der Synchronisation beeinflusst, und hochgenaue Ergebnisse stehen ohne Unterbrechung zur Verfügung.

Die hier beispielhaft gezeigten Echtzeit-Mathematikfunktion können letztlich die Entwicklung energiesparender Geräte ebenso wie die Effizienz von Analysen und Fehlerdiagnosen im Bereich der Mechatronik und Leistungselektronik, auch bei Automobilen, deutlich im Sinne von Zeitersparnis und Fehlersicherheit unterstützen. *ha*

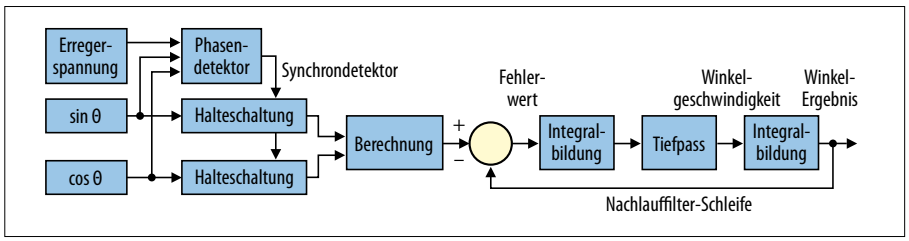

Bild 7. Blockdiagramm der Algorithmen in der Resolver-Funktion zur Winkelberechnung.

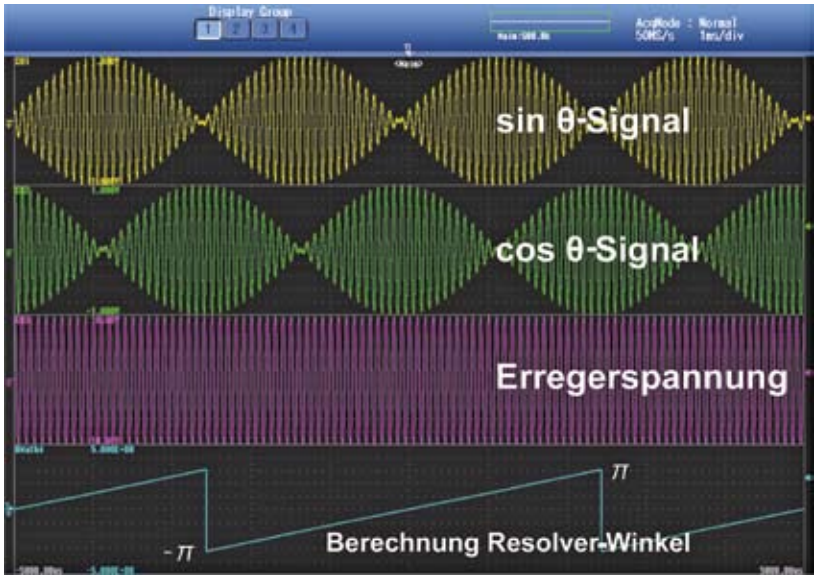

Bild 8. Oszillogramm einer Messung mit der Resolver-Funktion.

Anna Krone
ist bei Yokogawa in Herrsching im Produkt-Support für den ScopeCorder tätig. Sie befasst sich seit langem mit dieser Produktkategorie und arbeitet an praxisgerechten Lösungen für Messaufgaben unterschiedlicher Art.

Chiaki Yamamoto
absolvierte sein Ingenieurstudium an der Universität von Yamanashi nahe Tokio. Nach seinem Abschluss 1991 begann er seine Berufslaufbahn am Hauptsitz der Firma Yokogawa. Dort ist er bis heute in verschiedenen Tätigkeitsfeldern im Bereich der mechanischen und elektronischen Produktentwicklung und des Marketing tätig, derzeitig in der Product Marketing Group der Yokogawa Meters & Instruments Corporation.