

Messtechnik

Grundlagen der Messdatenerfassung (Teil 2)

Im 1. Teil des Beitrages „Grundlagen der Messdatenerfassung“ ging es um die Wahl des richtigen Sensors und seiner Anschlusstechnik sowie um die Frage der Isolation. Der 2. Teil beschäftigt sich mit dem Datenerfassungsgerät und dem PC.

Für das passende Messgerät bzw. Messmodul stehen Messverstärker und -umformer zur Verfügung. Verstärker deshalb, weil viele Messsignale zu klein für eine direkte Auswertung sind. Es gibt universelle und spezielle Messverstärker, letztere etwa für Kräftemessungen oder Dehnungsmessstreifen (DMS).

Messverstärker unterscheiden sich allgemein von anderen Verstärkern oft durch:

- sehr hohe Langzeitstabilität und Temperatur-Unabhängigkeit der Kennwerte
- sehr hohe Unabhängigkeit der Kennwerte von der Versorgungsspannung
- robusten Aufbau zum Schutz von äußeren Einflüssen (Staub, Feuchtigkeit, Vibration, Störfelder)
- Differenzeingang zur Eliminierung von Gleichtaktstörungen.

Eine besonders hohe Gleichtakt-Unterdrückung (Common Mode Rejection) bieten sogenannte Instrumentationsverstärker, das sind spezielle Differenzverstärker. Trennverstärker dagegen besitzen eine interne galvanische Isolation. Der typische Trennverstärker isoliert das Signal und auch die Versorgung (Bild 10).

Messumformer dienen der Signalanpassung („Konditionierung“) bzw. Signalverarbeitung. Sie wandeln z. B. von symmetrisch auf unsymmetrisch oder umgekehrt oder setzen einen Strom in eine Spannung um. Ziel einer solchen Umsetzung ist immer der Erhalt eines Normsignals, wie 0...+/-10 V, 0...+/-20 mA oder 4...20 mA. Auch hier werden Qualitätsmaßstäbe wie bei den Messverstärkern angelegt.

A/D-Wandler

Der Analog-Digital-Converter (ADC) ist der wichtigste allgemein benötigte Baustein der DAQ. ADCs wurden ständig weiterentwickelt und haben in den letzten Jahrzehnten enorme Fortschritte gemacht. Welcher Typ ist also optimal? Das nötige Grundwissen umfasst Fragen wie Fehler/Toleranz, Eigenschaft des ADC-Eingangs, Multiplexing, Isolation/Überlastungsschutz und natürlich

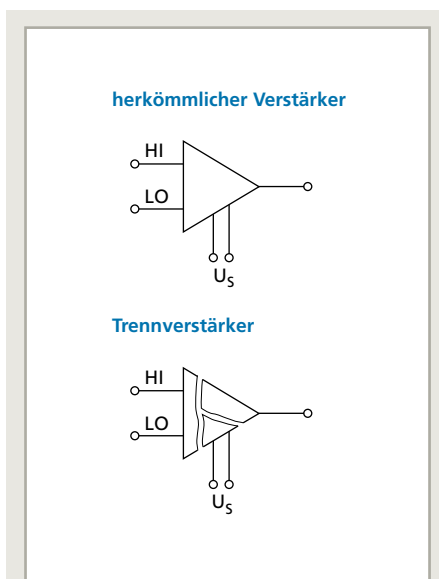


Bild 10: Üblicher Verstärker und konsequent gestalteter Trennverstärker

das ausgangsseitig mögliche Bussystem. Die A/D-Wandlung ist wesentlich komplizierter als die Gegenoperation der Digital/Analog-Wandlung. Es wurden verschiedene Verfahren entwickelt. Am bekanntesten sind Wäge-, Parallel- und Zählverfahren. Grundlage ist stets der Vergleich einer Referenzspannung mit der analogen Eingangsspannung. Da sich während der Abtastung meist das Signal nicht ändern darf, setzt man eine Abtast-Halte-Schaltung (Sample-and-Hold-Schaltung) zur Zwischenspeicherung ein. Entsprechend ihrer Eigenschaften haben sich die wichtigsten Wandlerverfahren in verschiedenen Bitbreite- und Frequenzregionen etabliert (Bild 11).

Hauptparameter ist die Auflösung (Bitbreite), daraus resultiert der Dynamikumfang, also der Quotient aus dem größten und kleinsten darstellbaren Wert. Man gibt ihn in Dezibel an. Kaum weniger wichtig ist die Abtastrate (Sample Rate) bzw. Häufigkeit der Umsetzung. Sie bestimmt die höchste feh-

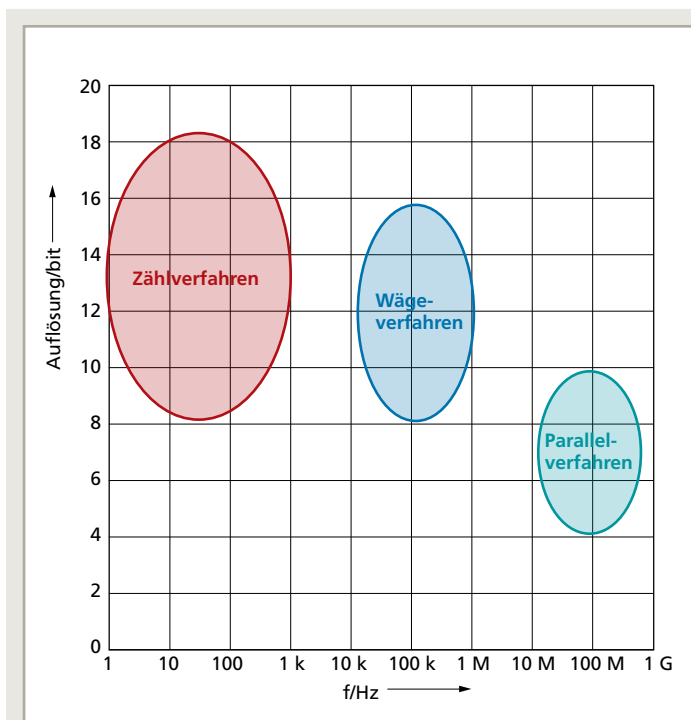


Bild 11: Entsprechend ihrer Eigenschaften haben sich die wichtigsten A/D-Wandler-Verfahren in verschiedenen Bitbreite- und Frequenzregionen etabliert

lerfrei erfassbare Frequenz. Man prüfe, ob die Abtastrate für jeden Kanal oder für das gesamte Board gilt.

Eine weitere wichtige Kenngröße stellt die Latenzzeit dar, die Laufzeitverzögerung von der Erfassung des Eingangssignals bis zur Bereitstellung des zugehörigen Ausgangssignals. Sie ist von Belang für die heute oft erforderliche „Echtzeitverarbeitung“. Aber auch Leistungsaufnahme und somit Eigen Erwärmung sind oft von hoher Bedeutung.

Das Bussystem – viele Möglichkeiten

Folgende PC-Bussysteme gelten als besonders zukunftsfähig: USB (Universal Serial Bus), PCI und PXI (Express), Ethernet und kabellose Verbindungen wie WLAN und Bluetooth. USB 3.1 erlaubt z. B. Geschwindigkeiten bis 5 Gbit/s für Geräte, die an einen einzigen USB-Controller angeschlossen sind. Dieser ist mit Hubs erweiterbar. Neue Geräte können bei laufendem Rechner installiert werden und werden automatisch erkannt. Beim USB finden Einzelpunkt-Datenübertragungen eventuell nicht genau dann statt, wann sie erwartet werden. Daher verzichtet man bei anspruchsvollen Anwendungen auf diesen Bus. Immer mehr Messgeräte setzen auf USB.

Hinter PCI (Peripheral Component Interconnect) verbirgt sich der populärste interne Computer-Bus. Mit einer gemeinsam genutzten Bandbreite von 132 Mbit/s bietet PCI Hochgeschwindigkeits-Datenübertragung auch für Einzelpunkt-Anwendungen. Es gibt zahlreiche Hardwarevarianten für die Datenerfassung, wie Multifunktions-I/O-Karten. Die Weiterentwicklung PCI Express punktet vor allem mit einer dedizierten Busbandbreite, die durch unabhängige Datenübertragungskanäle geboten wird. Sie besitzt unabhängige Datenleitungen für je bis zu 250 Mbit/s. Zudem lässt sich dieser Bus von einer einzelnen x1-Lane (Datenleitung) auf x16-Lanes erweitern, was einen maximalen Durchsatz von 4 Gbit/s erlaubt. In Messanwendungen ermöglicht dies höhere Abtastraten.

PXI steht für PCI eXtensions for Instrumentation und ist eine Weiterentwicklung der Standards PCI und Compact PCI für die Mess- und Automatisierungstechnik. Ein PXI-System besteht aus einem Gehäuse mit Einschubplätzen für vier, acht oder mehr Module. Eines dieser Module ist der Controller, die anderen Module können z. B. Datenerfassungskarten mit analogen und digitalen Ein- und Ausgängen sein. Neben dem PCI-kompatiblen Datenbus gibt es hier noch weitere Busse zum synchronen Takten und Triggern mehrerer Einsteckkarten (Messgeräte). Der offene Standard PXI vereint Erweiterungsmöglichkeiten zum Anschluss von Messgeräten, um eine äußerst leistungs-

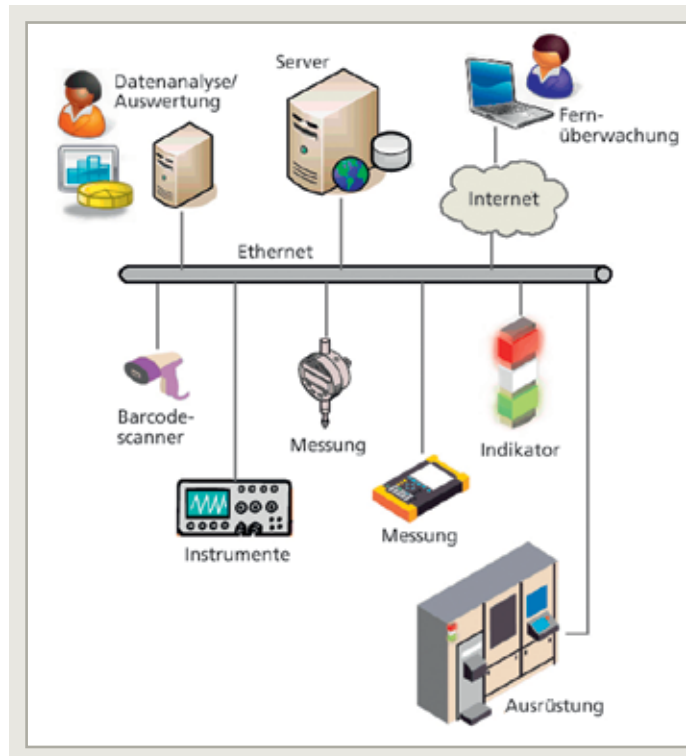


Bild 12: Die Möglichkeiten des Ethernets sind vielseitig und sehr gut für die DAQ geeignet

fähige Spezifikation u. a. für Messsysteme sicherzustellen. Das robuste Gehäuse erlaubt den Einsatz bei industriellen Anwendungen. Infolge der modularen Architektur haben an der Stelle eines einzigen Standalone-Messgeräts auch mehrere Geräte Platz. Weiter kann man das System mit einem PCI-Bus weit über die Kapazität eines Desktop-Rechners hinaus erweitern. Von großem Vorteil sind auch die integrierten Timing- und Triggerfunktionen. Ohne externe Verbindungen lassen sich mehrere Geräte durch Nutzung interner Busse an der Backplane eines PXI-Chassis synchronisieren.

Ethernet allgegenwärtig

Ethernet (Bild 12) ermöglicht Kabellängen von 100 m pro Segment. Da fast alle Unternehmensnetzwerke darauf basieren, ist es im professionellen Bereich meist schon vorhanden. Damit ist es oft konkurrenzlos bei Messungen an dezentralen Standorten. In der Industrie heißt es 10Base-T, 100Base-T oder 1000Base-T. Die Bandbreite von 10, 100 oder 1000 Mbit/s verteilt sich auf die vernetzten Geräte. Dennoch kann ein 100Base-T-Netzwerk (100 Mbit/s) mehrere Ethernet-Datenerfassungsgeräte aufnehmen, die bei voller Geschwindigkeit arbeiten. Darüber hinaus kann Gigabit-Ethernet (1000Base-T) für größere Systeme Daten von mehreren 100Base-T-Quellen mit höheren Geschwindigkeiten sammeln.

LXI steht für LAN eXtensions for Instrumentation und ist eine offene Spezifikation, um Messinstrumente und -systeme per Ethernet (LAN) miteinander zu vernetzen. Dies

ist für große und örtlich verteilte Prüf- und Messsysteme ebenso einfach möglich wie auch der Zugriff über ein Firmennetzwerk auf das gesamte Prüfsystem. Jedes LXI-Messgerät beinhaltet neben der erforderlichen LAN-Schnittstelle ein spezielles Web-Interface mit Server und Browser, das die eigentliche Funktionalität bereitstellt. Mit der Version 1.4 wurde die bis dahin bestehende Einteilung in drei Klassen aufgelöst. Wireless-Technik ist grundsätzlich eine Alternative oder der Ausweg in Fällen, wo kabelgebundene Lösungen schwierig bzw. nicht möglich sind. Da Kabel, eventuell Rohre und Befestigungen und Installationsaufwand entfallen, ergibt sich ein Kostenvorteil. Allerdings ist die Latenz sehr hoch, was z. B. Hochgeschwindigkeits-Anwendungen sehr schwierig macht. Die populärste Wireless-Technologie ist IEEE 802.11 (WLAN); sie lässt sich am leichtesten einrichten (Access Point) und gilt als bewährt und sicher. IEEE 802.11i (WPA2) ist bisher der höchste kommerziell erhältliche Wireless-Sicherheitsstandard. Für das Streaming von dynamischen Signalen bietet WLAN mehr Bandbreite als andere Wireless-Technologien.

Das Bussystem – die Auswahl

Man wählt das Bussystem anhand der Kriterien Datenmenge, I/O-Anforderungen, Synchronisations- und Mobilitätsanforderungen sowie der Entfernung. Bei Anwendungen mit Einzelpunkt-Operationen müssen die I/O-Werte sofort und nachhaltig aktualisiert werden. In dem Zusammenhang ist die Buslatenz wichtig. Sie beschreibt die

Reaktionszeit der I/O, also die Zeitverzögerung zwischen dem Aufrufen einer Softwaretreiber-Funktion und der Aktualisierung des eigentlichen Hardwarewerts der I/O. Je nach Bussystem sind Werte unter einer Mikrosekunde bis zu einigen Millisekunden möglich. Weiter wichtig bei Einzelpunkt-I/O-Anwendungen ist der Determinismus. Dieser sagt aus, wie konsistent die Ausführung der I/O ist. Bussysteme, die immer dieselbe Latenz aufweisen, wenn sie mit I/O kommunizieren, sind deterministischer als Busse, die ihre Reaktionszeit ändern können. Von hoher Bedeutung für Buslatenz und Determinismus ist auch die softwareseitige Integration des Busses. Bussysteme und Software, die Unterstützung für Echtzeit-Betriebssysteme bieten, sind hier führend. Bei vielen Messsystemen ist die Synchronisierung recht komplex, egal, ob etwa hundert Eingangskanäle oder mehrere ganz verschiedene Messgeräte synchronisiert werden sollen. Datenerfassungsgeräte, die an unterschiedliche Busse angeschlossen sind, bieten auch verschiedene Synchronisationsmöglichkeiten. Am einfachsten ist es natürlich, einen gemeinsamen Takt und Trigger zu nutzen. Dafür gibt es oft programmierbare digitale Kanäle für den Import und Export von Takten und Triggern. Als beste Busoption für die Synchronisation mehrerer Geräte stellt sich die PXI-Plattform einschließlich PXI Express dar.

Viele Messanwendungen sind mobil, was z. B. dank Notebook auch für die DAQ gilt. Hier eignen sich besonders externe Busse, wie USB und Ethernet, denn die entsprechende Hardware ist schnell installiert, und diese Busse passen zum Notebook. Aber auch drahtlose Datenbusse eignen sich sehr gut, da die Messhardware selbst mobil eingesetzt wird, der Rechner jedoch an einem festen Ort bleiben kann.

Schließlich hat die Entfernung zwischen Messstelle und PC Einfluss auf die Buswahl. Mit Wireless-Technologie sind verteilte Messungen möglich, und es gelingt problemlos, die Daten an eine zentrale Stelle zu schicken.

Der PC

DAQ bedeutet den Einsatz eines Computers. Es bieten sich folgende Möglichkeiten an:

- Desktop zur regelmäßigen Nutzung an einem festen Ort
- Laptop/Notebook/Netbook für die mobile Nutzung
- Industrie-PC für raue Umgebungen
- PXI-Rechner für eine Vielzahl von Messungen und hohe Zukunftssicherheit.

Beim Desktop-PC sind leistungsstarke (wärmeintensive) Prozessoren möglich, sodass er eine hohe Verarbeitungsleistung bietet. Mobile PCs sind meist nicht für staubige oder feuchte Umgebungen geeignet. Die Verar-

beitungsfunktionen und die Leistungsfähigkeit sind begrenzt. Industrie-PCs halten Schwingungen, Erschütterungen, hoher Luftfeuchtigkeit und hohen Temperaturschwankungen stand. Dies hat natürlich seinen Preis. Ein PCX-System für die DAQ umfasst Controller, Chassis und Messmodule. Hier werden der Computer und eine mittlere bis hohe Anzahl von Messgeräten optimal zusammengebracht.

Datenformat

DAQ-Daten werden in aller Regel gespeichert. Hier stellt sich die Frage nach dem passenden Datenformat für das vorhandene Messsystem. In die engere Wahl kommen:

■ ASCII

Vorteil: einfache Austauschbarkeit und Lesbarkeit

Nachteile: hoher Speicherplatzbedarf, geringe Schreib-/Lesegeschwindigkeit

■ binäre Dateien

Vorteile: geringer Speicherplatz, hohe Geschwindigkeit

Nachteil: nicht direkt lesbares Format kann Austauschbarkeit erschweren.

Ein besonders vorteilhaftes binäres Format ist TDMS (Transition-Minimized Differential Signaling). Der dahinter stehende Standard wurde entwickelt, um elektromagnetische Störungen, wie sie bei der analogen Übertragung auftreten, im Normalfall vollständig zu eliminieren. Die Anwendungen sind vielfältig (Bild 13). Die TDMS-Datei-Struktur ist durch drei Hierarchieebenen strukturiert: Datei, Gruppe und Kanal.

■ XML

Vorteile: erlaubt auch sehr komplexe Datenstrukturen sowie die Speicherung zusammen mit den Rohwerten, austauschbar und sehr gut lesbar

■ Datenbank

Vorteil: Verlinkung von Informationen (zwischen Tabellen) möglich

Nachteil: nicht für zeitbasierte Messanwendungen geeignet.

Analysewerkzeuge

Analysewerkzeuge bereiten Daten zur optimalen Auswertung beispielsweise dergestalt auf, dass sie Rauschen entfernen, Temperaturschwankungen herausrechnen oder nachträgliche Kalibrierungen vornehmen. Sie wandeln gewissermaßen Rohdaten zu besser vorzeigbaren bzw. auswertbaren Daten. Bei der Auswahl des richtigen Analysewerkzeugs stellen sich insbesondere zwei Fragen: Wie soll die Analyse erfolgen, inline und/oder offline?

Inline meint, dass die Analyse innerhalb der selben Anwendung erfolgt wie die Messwertaufzeichnung. Hier ist die Zeit zu beachten, die für die Neuberechnungen benötigt wird. Strenge-Timing-Anforderungen sind nicht ohne Weiteres zu erfüllen. Die Inline-Analyse kann arraybasiert oder punktweise erfolgen. Die Offline-Analyse empfiehlt sich, wenn während der Messwertaufzeichnung keine Entscheidungen getroffen werden müssen. Dazu gehört auch das Speichern erfasster Daten zwecks späterer Verwendung. Der Zweck der Offline-Analyse besteht meist darin, mehrere Datensätze zu vergleichen, um bestimmte Schlussfolgerungen zu ziehen. Halbleiter- und Glasfasersensoren liefern sehr schnell ihre Daten. Ist die Kanalanzahl dann noch hoch, so kann das Analysewerkzeug der Flaschenhals für die Verarbeitungsgeschwindigkeit werden. Im Zweifelsfall wähle man das Werkzeug, das für größere Datensätze entwickelt wurde.

Frank Sichla

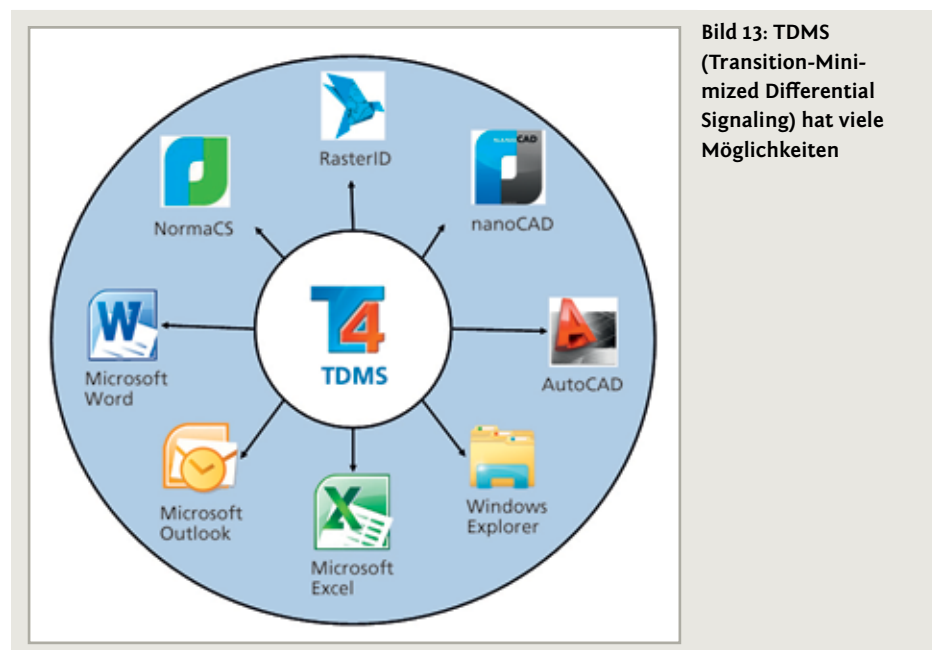


Bild 13: TDMS (Transition-Minimized Differential Signaling) hat viele Möglichkeiten