



Forschung an der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik

Ein netzwerkfähiges Millikelvinthermometer für den Laborbetrieb

A Network-compatible Thermometer with an Accuracy of 1/1000 Kelvin

Die Untersuchung der physikalisch chemischen Eigenschaften von Flüssigkeiten mit hochauflösenden Sensoren erfordert, aufgrund der Temperaturabhängigkeit dieser Eigenschaften, Temperaturmessungen mit der Auflösung von 1/1000 °C.

In den 70er-Jahren wurden aufgrund der hohen Empfindlichkeit und den damit verbundenen größeren Ausgangssignalen hauptsächlich NTC-Thermistoren verwendet. Die Nachteile dieser Sensoren sind ein begrenzter Temperaturbereich und die mangelnde Stabilität ihrer Temperatur-Widerstands-Kennlinie. Für zertifizierungspflichtige Thermometer sind drahtgewickelte Platinwiderstände wegen ihrer größeren Genauigkeit und Stabilität vorteilhafter, wäre da nicht der geringe Widerstand des gewickelten Platindrahtes und der kleine Temperaturkoeffizient. Alle Anfang der 90er-Jahre üblichen Verfahren beruhen auf dem Vergleich des zu messenden Widerstandes mit einem Normalwiderstand wobei entweder Wechselstrommessbrücken oder Stromkomparatoren verwendet wurden.

Am Institut für Elektronik wurde unter der Leitung von em. Univ.-Prof. Dr. phil. Hans Leopold ein ratiometrisches Verfahren mit natürlicher Linearität zur direkten A/D-Umsetzung des Widerstandsverhältnisses entwickelt. Die automatische Korrektur von Offset- und Verstärkungsfehlern sowie die Unterdrückung des Rauschens der Referenzquelle ermöglichte die Entwicklung eines Millikelvinthermometers. Parallel zur Fertigung dieses Thermometers bei der Anton Paar GmbH wurde das Konzept am Institut für Elektronik weiterentwickelt. Die Kombination eines bewährten Messprinzips mit einem neuen modularen Aufbau ergibt ein kompaktes, batteriebetriebenes Gerät mit modernen Schnittstellen und einer Messunsicherheit von weniger als einem Millikelvin im Messbereich von -200 °C bis +850 °C.

Das MKT50 besteht aus einem Analogteil mit zwei Eingängen für Pt100-Widerstandsthermometer und einem Digitalteil mit den Benutzerschnittstellen. Der zu messende Widerstand wird zuerst von einem positiven und anschließend von einem negativen Messstrom von 0,5mA durchflossen. Die am temperaturabhängigen Widerstand auftretenden Spannungen werden über einen U/I-Konverter an den Eingang eines in der Stromdomäne arbeitenden A/D-Umsetzers mit einer Auflösung von 24 bit gelegt. Durch die Bildung der Differenz der beiden Ergebnisse werden Offsetfehler und Fehler durch auftretende Thermospannungen eliminiert. Der Referenzwiderstand wird in der gleichen Weise gemessen. Anschließend wird durch Division der so gebildeten Zahlenwerte das Verhältnis zwischen unbekanntem Widerstand und Referenzwiderstand ermittelt und vorhandene Steigungsfehler beseitigt. Einer Temperaturänderung von 1mK entspricht eine Widerstandsänderung von 0,4 Milliohm (Pt100). Die notwendige Genauigkeit der Spannungsmessung beträgt 200nV bei einer Auflösung von 20nV. Zur Überprüfung der thermischen Kopplung zwischen Messfühler und Umgebung kann die Verlustleistung am Messwiderstand halbiert werden. Der autonom messende Analogteil wird durch einen programmierbaren Logikbaustein gesteuert und ist auf einer einzigen Leiterkarte aufgebaut.

Zusätzlich zur präzisen Messelektronik sind verschiedenste Benutzerschnittstellen notwendig. Diese Funktionen werden durch eine zweite Baugruppe abgedeckt. Das Herzstück dieses Digitalteiles ist ein 16 bit

Mikrokontroller von Texas Instruments aus der MSP430-Serie. Er ist für eine maximale Betriebsdauer bei Batteriebetrieb optimiert. Als Anzeige wird ein transflektives Grafikdisplay (128x64) mit schaltbarer Hintergrundbeleuchtung verwendet. Zusätzlich zur seriellen Schnittstelle verfügt das MKT50 über eine Ethernetschnittstelle, die sowohl die Anzeige der Messwerte über ein Webinterface als auch eine Abfrage der Parameter und Messwerte über das TCP/IP-Protokoll ermöglicht. Um eine optimale Batterielebensdauer bei Betrieb mit zwei Alkalibatterien der Größe AA zu erreichen, können die Hintergrundbeleuchtung und die Schnittstellen einzeln abgeschaltet werden. Zusätzlich ist die Versorgung des Messgerätes über ein mitgeliefertes Steckernetzteil oder optional über „power over ethernet“ möglich.



MKT50

Foto: Anton Paar GmbH

A Network-compatible Thermometer with an Accuracy of 1/1000 Kelvin

At the Institute of Electronics a battery powered high precision interface for two Pt100-thermometers was developed. The interface adds an error of less than one millikelvin in the temperature range from -200°C to +850°C and is traceable to national standards. A new modular design uses an approved architecture for the intrinsic linear A/D-Converter. It eliminates offset and gain errors as well as voltages caused by thermoelectric effects. The instrument consists of an autonomous working analog PCB and a digital PCB, handling the user interfaces. This partitioning allows easy testing and as a consequence a flexible and cheaper production. A transreflective display, that can be used without backlight, and switchable interfaces (RS232, Ethernet) allow a low power battery operation using two AA alkaline cells. The thermometer can also be operated using a "Power over Ethernet" option or a mains adapter.

<http://www.anton-paar.com>