Schirmstrommessung an Elektrofahrzeugen

HV Strom- und Spannungsmessung

Die Entwicklung von leistungsstarken elektrischen Personenkraftwagen, Nutzfahrzeugen, Bussen oder mobilen Maschinen stellt außergewöhnliche Herausforderungen durch ein besonders großes Hochvolt-Bordnetz. Hohe Schirmströme können die Leitungen zerstören und müssengemessen werden.

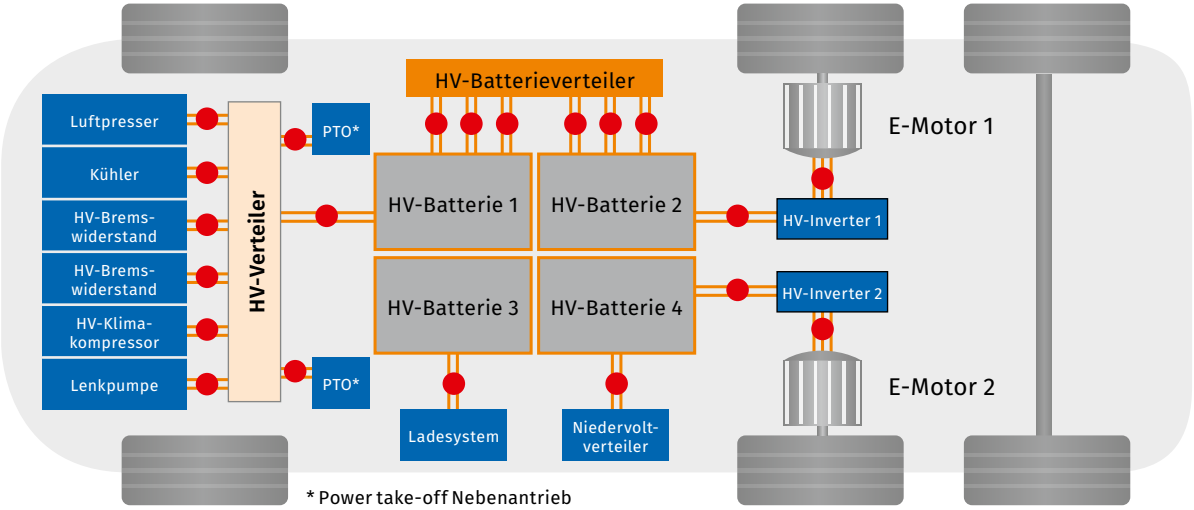

Abb. 1: Schirmstrommessung an einem elektrischen Lastkraftwagen. Der lange Rahmenaufbau verursacht unterschiedliche Schirmströme in den verschiedenen Bereichen des Hochvolt-Bordnetzes. An den rot gekennzeichneten Messpunkten wird in den einzelnen HV-Leitungen mit CSM HV Breakout-Modulen der Schirmstrom gemessen.

Hintergrund

Gleich mehrere Hochvolt-Batterien verrichten ihre Arbeit in einem Elektro-Lastkraftwagen. Etliche Elektromotoren treiben die Achsen von vollelektrischen Sportwagen an. Zusätzliche Aggregate, Pumpen, Bremswiderstände oder Kühlsysteme arbeiten in Elektrofahrzeugen parallel. Die große Anzahl von Komponenten mit taktenden Leistungshalbleitern verursacht eine beeindruckende Strom- und Spannungswelligkeit im gesamten Hochvolt-Bordnetz. Dadurch werden große Ströme in den Leitungsschirmen induziert. Treten Schirmströme im zweistelligen Ampere-Bereich auf, kann die Stromtragfähigkeit der Schirmgeflechte überschritten werden. Kabelbrände und Leitungszerstörung sind übliche Folgen. Die auftretenden Schirmströme werden deshalb, insbesondere bei performanten Elektrofahrzeugen, in allen Stromkreisen des Hochvolt-Bordnetzes gemessen und verifiziert. Außerdem muss die Messung an diesen Leitungsstellen gleichzeitig durchgeführt werden, damit die gegenseitige Beeinflussung benachbarter Komponenten bei unterschiedlicher Lastsituation überprüft werden kann.

Die in Hochvolt-Bordnetzen eingesetzten Hochvoltleitungen weisen zur Vermeidung von Einstreuungen und Abstrahleffekten neben dem HV-Innenleiter ein durch eine Isolierung getrenntes Schirmgeflecht auf.

Herausforderung

Hochvolt-Leitungen haben durch den Leitungsaufbau eine Transferimpedanz, die ihre Schirmwirkung beschreibt. Durch ihre zylinderförmige Geometrie besteht ebenfalls eine bestimmte Kapazität zwischen HV-Innenleiter und Schirmgeflecht und damit ein besonders für hohe Frequenzen empfänglicher Koppelpfad. Die Stromwelligkeit im Innenleiter verursacht durch induktive Kopplung Ströme auf dem Schirmgeflecht. Haben die HV-Komponenten am Hochvolt-Bordnetz bei performanten Elektrofahrzeugen hohe Nennleistungen, resultieren daraus große Ströme im Innenleiter. Zwangsläufig ist der induzierte Schirmstrom durch geometrische Größen wie längere Leitungen und große Leitungsquerschnitte ebenfalls höher.

Zwischen nahe liegenden langen Leitungen kommt es ferner zu zusätzlichen induktiven Kopplungen zwischen den Kabelschirmen. Eine andere Nebenwirkung durch permanente Schirmströme ist die vorzeitige Alterung insbesondere der Kabelverschraubungen und ihrer Schraubstelle durch hohe Temperaturen. Auch die Triangelfedern zur Auflage des Geflechtschirms im Inneren der Verschraubung können bei zu hohen Strömen zerstört werden. Begleitend werden deshalb die Leitungstemperatur an hoch belasteten Bereichen und die Temperatur ihrer Verschraubungen im HV-Bordnetz aufgezeichnet. Dies gibt Aufschluss über die Temperaturbeanspruchung der Leitungsinstallation.

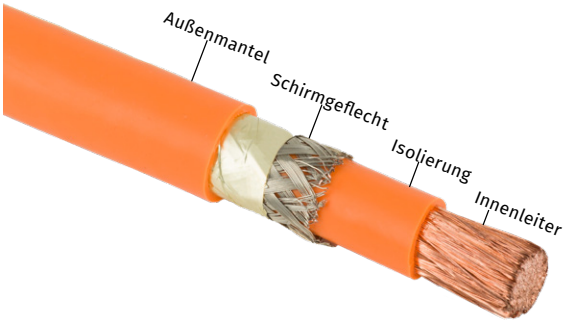

Abb. 2: Aufbau von Hochvoltleitungen. In ihnen ist das Schirmgeflecht durch eine Isolierung vom Innenleiter getrennt. Der Schirm besteht aus parallel liegenden, verflochtenen Litzen und einem darüber liegenden Folienschirm. Wechselstromanteile im Innenleiter induzieren Ströme im Schirmgeflecht.

CSM Messtechniklösung

Zur Lösung wird das Vector CSM E-Mobility-Messsystem verwendet.

Die Messung der Schirmströme wie bei einem Lastkraftwagen im Grafikbeispiel ist eine Herausforderung an sich. Das HV-Leitungsnetz ist flächenmäßig oft über die gesamte Rahmen- und Fahrwerkskonstruktion verteilt. Eine Vielzahl von HV-Nebenaggregaten sind zugleich mit mehreren HV-Batterien verkabelt und im Betrieb gleichzeitig eingeschaltet. Deshalb werden für eine sichere Messung CSM **Hochvolt Breakout-Module (HV BM) 1.2+S** fest an allen notwendigen Stellen im Hochvolt-Bordnetz eingebaut. Jedes HV BM wird selbst mit einem Potentialausgleich versehen. Die Messung der Schirmströme erfolgt über einen gesonderten Messshunt des HV BM 1.2+S.

Für eine genaue Messung muss in den eingefügten HV Breakout-Modulen die Schirmung der HV-Leitung zum Messshunt appliziert werden. Dazu wird die Koaxialschirmung über dem isolierten Innenleiter aufgetrennt und an den Messshunt angeschlossen. Exakte Messergebnisse werden nur bei einer gut konstruierten und niederohmigen Verbindung von Schirmgeflecht und Messshunt erzielt. Der Innenleiter des Kabels wird an einen separaten Messshunt appliziert, um gleichzeitig den Innenleiterstrom zu messen.

Neben den Schirmströmen können mit diesem HV Breakout-Modul auch der Innenleiterstrom und die Spannung in der HV-Leitung synchron gemessen werden. Alle Messdaten werden mit einer Datenrate von bis zu 1 MHz weitergegeben.

Des Weiteren ist es erforderlich, das gesamte Messsystem hochvoltsicher am Fahrzeug zu installieren und die Messmodule fest am Rahmen zu fixieren. Die Messung wird zeitlich synchron

in allen Hochvolt-Stromkreisen bei einem festgelegten Fahrzyklus auf einem Rollenprüfstand durchgeführt, um ein genaues Bild über die maximalen Schirmströme zu erhalten. Die Abtastung der einzelnen Schirmströme muss mit einer hohen Abtastrate von 1 MS/s erfolgen, um alle hochfrequenten Schirmstromanteile und Stromspitzen zu erfassen. Durch die gleichzeitige Schirmstrommessung in allen relevanten Hochvolt-Leitungen muss die Verifikation auf dem Rollenprüfstand nur einmalig durchgeführt werden.

Die Hochvolt Breakout-Module von CSM wurden speziell für sichere Messanwendungen in spannungsführenden Hochvolt-Leitungen beim rauen, mobilen Einsatz konzipiert. Durch die Wahl eines geeigneten Messshunts für die Strommessung sowie mit den einstellbaren Messbereichen von Spannung und Strom kann das HV BM optimal für die Messaufgabe konfiguriert werden.

Es stehen verschiedene Typen der HV Breakout-Module für ein- und dreiphasige Messungen an verschiedenen Varianten von HV-Leitungen zur Verfügung. So kann je nach Anwendung das passende Modul gewählt werden.

Das HV BM gibt die Messdaten (U, I, P) mit einer Datenrate von bis zu 1 MHz (1 µs) pro Kanal über eine EtherCAT®-Schnittstelle an den Analyserechner.

Die HV Breakout-Module vom Typ 3.3 geben die Messdaten über XCP-on-Ethernet mit einer Datenrate von bis zu 2 MHz weiter. Niedrige Senderaten können auch über die vorhandene CAN-Schnittstelle ausgegeben werden. Ströme und Spannungen werden hochgenau und synchron abgetastet. Bei geschlossenem Deckel des HV BM ist die Messstelle hochvoltsicher gekapselt.

Alle eingesetzten CSM Messmodule werden entweder über CAN oder EtherCAT® mit CSM **XCP-Gateways** vernetzt. Für höhere Abtastraten wie bei der Schirmstrommessung sind die CSM HV BM's über EtherCAT® vernetzt. Mit dem Analyserechner und Vector vMeasure oder CANape wird das gesamte Messsystem mit seinen Messstellen konfiguriert.

Weitere CSM Messmodule werden in gleicher Weise an XCP-Gateways angeschlossen. Der schematische Aufbau zeigt dafür beispielhaft ein HV Thermo-Messmodul, das über CAN an dem XCP-Gateway angeschlossen ist.

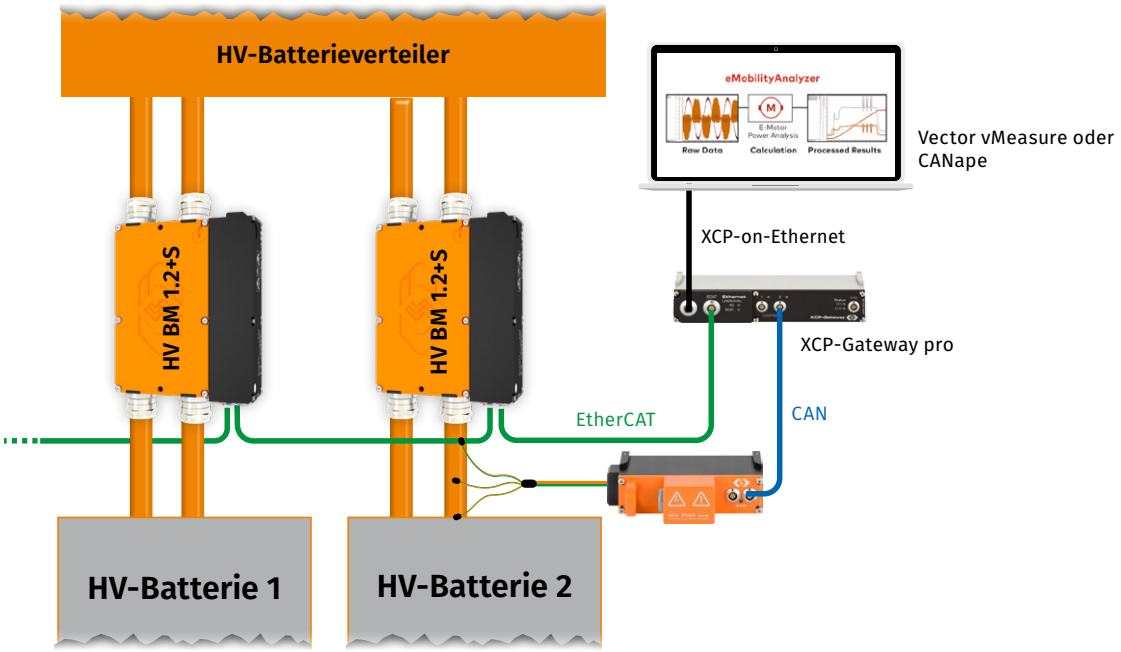

Abb. 3: Schematischer Messaufbau mit HV Breakout-Modulen zur Schirmstrommessung. Mit einem Thermo-Messmodul HV TH4 evo werden die Temperaturen von Kabeln und Verschraubung gemessen.

Die Messdaten der verwendeten CSM Messmodule werden mit der **eMobilityAnalyzer** Funktionsbibliothek für Vector vMeasure oder CANape in Echtzeit analysiert und auf dem Analyserechner aufgezeichnet. Das Vector CSM E-Mobility-Messsystem kann bis zu 40 Messkanäle mit jeweils 1 MHz gleichzeitig und synchronisiert erfassen, um auch vielkanalige, verteilte Fahrzeuganwendungen wie in diesem Beispiel durchzuführen. Die Datensynchronisation im Messsystem gewährleistet das Precision-Time-Protokoll (PTP).

Mit der Mess-Software vMeasure werden die zahlreichen 1 MS/s Signale erfasst, visualisiert und online analysiert. Der für vMeasure entwickelte eMobilityAnalyzer errechnet aus den erfassten Strömen und Spannungen in Echtzeit die Effektivstromstärke, Schein,- Wirk- und Blindleistung sowie indirekt die Wärmeentwicklung im Schirm.

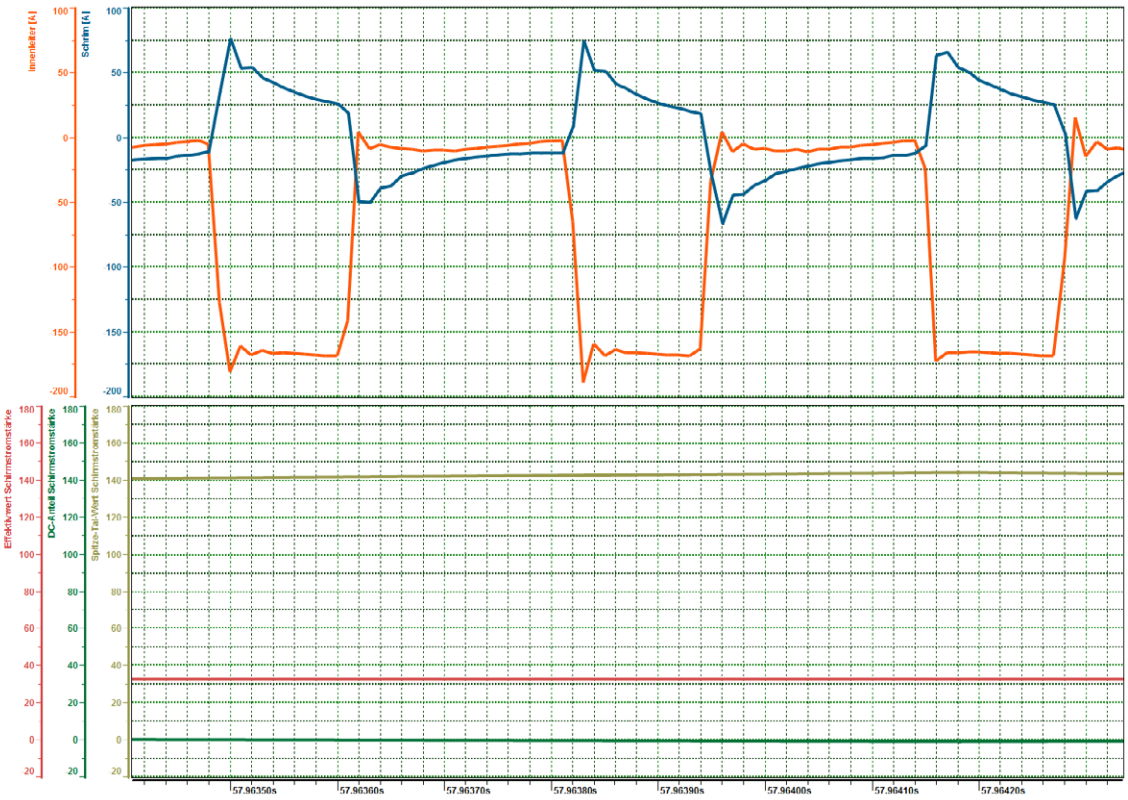

Abb. 4: Gemessener Stromverlauf im Innenleiter (orange) und auf dem Schirm (blau) sowie in Echtzeit errechnete Größen des vMeasure eMobilityAnalyzers

Aus der Messung in Abbildung 4 kann abgeleitet werden, dass dem Innenleiterstrom ein großer entgegengesetzter Schirmstrom bis zu 75 A entgegensteht. vMeasure errechnet mit dem eMobilityAnalyzer den DC Anteil des Schirmstroms, aber auch den Effektivwert und die Minima und Maxima des Schirmstroms. Es ist zu sehen, dass der Schirmstrom im Mittel zwar 0A beträgt, aber regelmäßige Peak-to-Peak Werte bis zu 140 A gemessen werden. Die Effektivstromstärke wird auf 32 A errechnet.

Die ohmschen Verluste im Schirm, und damit die Wärmeerzeugung, ist proportional dem Quadrat der errechneten Effektivstromstärke ($P \sim Irms^2$). Ausschlaggebend ist hier der Widerstandsbelag des Schirms, der in der Regel einen kleinen Leitungsquerschnitt und dementsprechend einen hohen Widerstandsbelag hat. Dies kann zu einer deutlichen Erwärmung des Schirms und somit des Kabels führen.

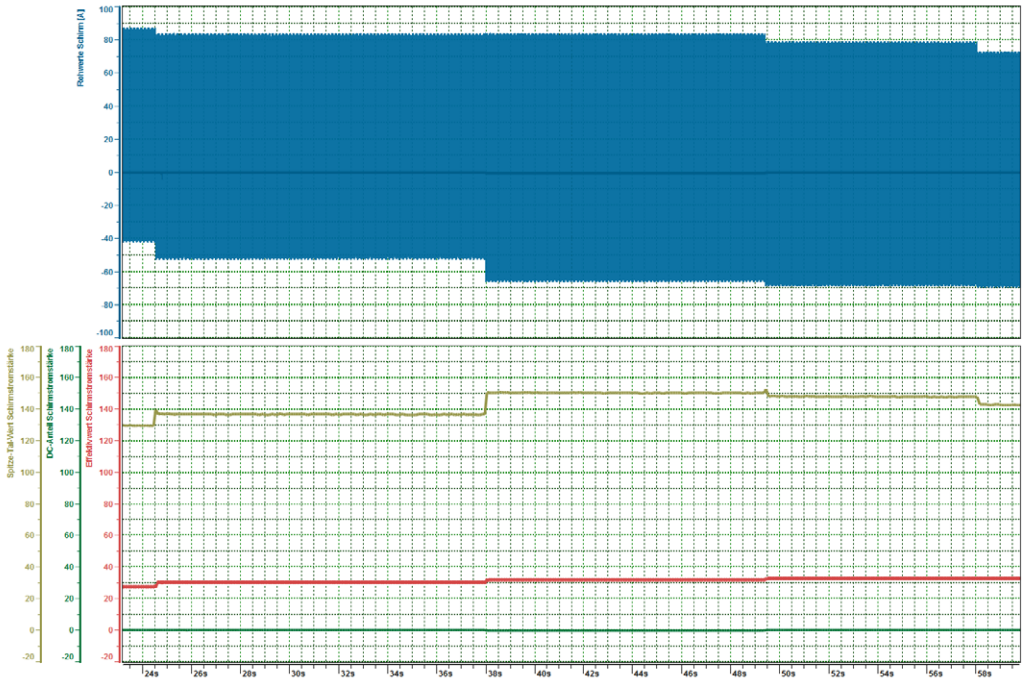

Abb. 5: Dieselbe Messung wie in Abbildung 4, hier die Ansicht über mehrere Sekunden

In Abbildung 5 sind der Verlauf des gemessenen Schirmstroms sowie der errechneten Signale zu sehen und der Informationsgewinn aus den errechneten Signalen. vMeasure erzeugt online aus den errechneten Werten neue Mess-Signale, die mit allen Funktionen des vMeasure Funktionsumfangs weiterbearbeitet werden können. Die Aufzeichnung der Signale kann getriggert erfolgen. Durch die Multi-Recorder-Funktionen können gezielt auch nur einzelne Signale oder die online berechneten Signale aufgezeichnet werden, um die Menge abgespeicherter Daten zu begrenzen.

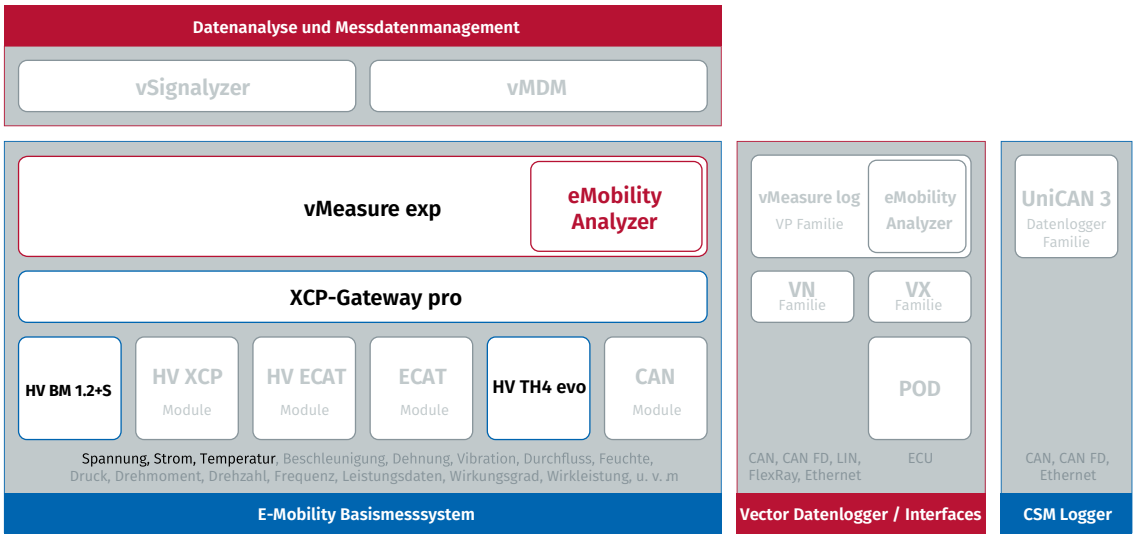

Abb. 6: Die Schirmstrommessung an Elektrofahrzeugen in der Systematik des Vector CSM E-Mobility-Messsystems

Vorteile

- Innovative, schnelle, präzise und flexible Messungen für die Validierung und Verifizierung von elektrischen Hochspannungssystemen im Labor und auf der Straße
- Der eMobilityAnalyzer ist standardmäßig in der Software vMeasure und CANape enthalten
- Wie alle Messmodule von CSM sind die BM-Module klein, robust und für den direkten Einbau in das Fahrzeug konzipiert. Es ist nicht notwendig, das Fahrzeug mit zusätzlichen Stromsensoren, langen Messkabeln und Messgeräten auszurüsten. Das spart nicht nur Zeit und reduziert das Risiko, sondern verkürzt auch die Messkette und verbessert die Qualität der Messung
- Synchrone Aufzeichnung aller Messgrößen, einschließlich der Signale der Steuergeräte oder der Fahrzeugbusse
- Die Leistungsfähigkeit der vMeasure-Messsoftware macht es einfach, komplexe mathematische Operationen an Messkanälen während der Messung in Echtzeit durchzuführen. So können neben der Aufzeichnung der direkt gemessenen Signale auch gefilterte Signale oder Ableitungen von Signalen visualisiert und synchron aufgezeichnet werden. Sie können auch einfach als Triggersignal wirken
- Der Anwender kann die Strom- und Spannungsdynamik einfach und genau messen und erhält auch während der Fahrversuche eine sofortige Rückmeldung, was die Verifikation und eine anschließende tiefergehende Analyse wesentlich effizienter macht
- Die Messkonfiguration lässt sich sehr einfach auf den leistungsfähigen Datenlogger vMeasure log übertragen womit bei einer Testfahrt kein separates Laptop mitgeführt werden muss
- Nahtlose, automatisierte Analyse und Darstellung der Messdaten durch das Software-Tool Vector vSignalyzer und direkte Übertragung und sichere Speicherung der Messdaten im Vector-Messdatenmanagementsystem vMDM

Verwendete Produkte

HV Breakout-Modul 1.2+S

Das HV Breakout-Modul 1.2+S erlaubt die einphasige Messung von Strom, Spannung und Leistung in separaten HV+ und HV- Kabeln. Zusätzlich können Ströme im Schirmgeflecht über einen Messshunt gemessen werden.

HV TH evo

Das Thermo-Messmodul HV TH4 evo erlaubt sichere Temperaturmessungen mit Thermoelementen an Hochvolt-Komponenten. Durch seine kompakte Bauform und verstärkte Isolierung bis 1.000 V RMS eignet es sich besonders für den dezentralen Einsatz im Fahrversuch.

XCP-Gateway-Serie

Die Protokollumsetzer der XCP-Gateway-Serie wurden speziell für die CSM EtherCAT®-Messmodule und für Messaufgaben mit vielen Messkanälen und hohen Messdatenraten entwickelt. Das XCP-Gateway ist in den Versionen „Basic“ und „pro“ erhältlich. Letztere verfügt über zwei CAN- Schnittstellen, über die CAN-basierte CSM Messmodule angeschlossen und in das Messdatenprotokoll XCP-on-Ethernet eingebunden werden können. Zudem können in der "pro"-Version Temperaturdaten aus den HV Breakout-Modulen direkt über EtherCAT® übertragen werden.

Komplettlösungen aus einer Hand:

CSM stellt Ihnen umfangreiche Komplettpakete aus Messmodulen, Sensoren, Verbindungskabeln und Software zur Verfügung - zugeschnitten auf Ihre individuellen Bedürfnisse.

Weitere Informationen zu unseren Produkten erhalten Sie auf www.csm.de
oder per E-Mail unter sales@csm.de.

CSM GmbH Zentrale (Deutschland)

Raiffeisenstraße 36 • 70794 Filderstadt
+49 711 - 77 96 40 sales@csm.de

CSM Büro Südeuropa (Frankreich, Italien)

Site d´Archamps
178, rue des Frères Lumière • Immeuble Alliance – Entrée A
74160 Archamps France
+33 450 - 95 86 44 info@csm-produits.fr

CSM Products, Inc. USA (USA, Kanada, Mexiko)

1920 Opdyke Court, Suite 200 • Auburn Hills, MI 48326
+1 248 836-4995 sales@csmproductsinc.com

CSM (RoW)

Vector Informatik (China, Japan, Korea, Indien, Großbritannien)
ECM AB (Schweden)
DATRON-TECHNOLOGY (Slowakei, Tschechien)
Unsere Partner garantieren Ihnen eine weltweite Verfügbarkeit. Sprechen Sie uns einfach an.

Unser Unternehmen ist zertifiziert.

ISO 9001, ISO 14001
Zertifiziertes Integriertes Managementsystem für Qualität und Umwelt
www.tuev-sued.de/ms-zert

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-K-15214-01-00

Alle erwähnten Marken- und Warenzeichen sind Eigentum ihrer jeweiligen Besitzer.
Irrtum und Änderungen jederzeit ohne Ankündigung vorbehalten.
CANopen® und CiA® sind eingetragene Warenzeichen der Gemeinschaft CAN in Automation e.V.
EtherCAT® ist eine eingetragene Marke und patentierte Technologie, lizenziert durch die Beckhoff Automation GmbH, Deutschland.

Copyright © 2023 CSM Computer-Systeme-Messtechnik GmbH

010_HV Schirmstrommessung_UC_0200_DEU
19.07.2023