



Smart current clamp

registers
parasitic currents in industry

Objectives

Expensive downtime in complex industrial plant is often attributable to malfunctioning of the closed- and open-loop control technology. These malfunctions are, in turn, often caused by unwanted interaction between the electricity supply and the control system. The effect is that communication between components is impaired. If the interference level is outside the error tolerance margin, the controls will no longer compensate and will thus cause machinery to stop, so that production is interrupted.

It is not always possible to apply the classic error analysis methods in the search for the causes of such interference. To observe signals as they pass through the communication wires it would be necessary to pause the ongoing operation of the plant. It is often not feasible to evaluate a number of appropriate measuring points simultaneously as the plant will usually be a very complex combination of machines and sometimes there is no detailed documentation of these available on site. Another reason is that the components of the plant which function in combination may well be at a considerable distance from each other and not susceptible of observation from

Energetic measurements for the smart current clamp. Photograph: IMMS.

one single point in the plant. Yet another is that the breakdowns seem to happen sporadically, tending only to happen at intervals of perhaps several hours or even days. If expert staff apply themselves and complex measurement equipment to ongoing analysis over such long periods, the costs will be high.

Development

For all these reasons, IMMS has developed a compact, smart current clamp for Indu-Sol to manufacture. It is a mobile device, energy autonomous, which will register automatically and continuously the true RMS level of parasitic current in a wire of the communication bus system in industrial plant for a period of 14 days, recording this on an SD card for later detailed analysis.

The energy for its operation is stored in six LR6 mignon batteries supplying a total of approximately 20 Wh. This is about three times the capacity of a normal smartphone battery. The clamp recognises the parasitic currents from threshold values and is able to register values across a wide range, between 10 mA



The smart current clamp (EmCheck@ ISMZ I) developed by IMMS in cooperation with its industrial partner Indu-Sol can be ordered from Indu-Sol (item no. 122010020). Photograph: IMMS.

and 30A, at up to 40 kSa/s, digitising them at 16-bit resolution. It will display the root mean square value (RMS) of the current parasitics in either numerical, graphic or spectral form and can be easily and intuitively operated. If the owners of industrial plant use several clamps at once they can establish the site of the parasitics, thus greatly reducing the effort required for analysis. The evaluation of the data is carried out with dedicated software on the PC. Thanks to its special provisions to ensure electrical safety, the device can also be clamped around wires under current which have a high electrical touch voltage as in overvoltage category III. This means that it is possible also to carry out measurements, for instance, in plant control cabinets which have fixed wiring.

Remedy

IMMS' development work relied on the detailed information relating to analysis of the problems caused by conducted interference currents which was supplied by its industrial partner, Indu-Sol, an expert company in the field, which had analysed its numerous call-outs to such plant. The company had established that on interrupted communication wires there was often a high level of unwanted balancing currents flowing mainly along the conductive shield of the cable. The cause of the currents is usually an unfavourable grounding condition associated with components that switch on and off. Alternatively, depending on component function, a high level of transient or high frequency leakage current may be the cause in, for instance, variable-frequency drives. As the data stream is normally transmitted differentially,

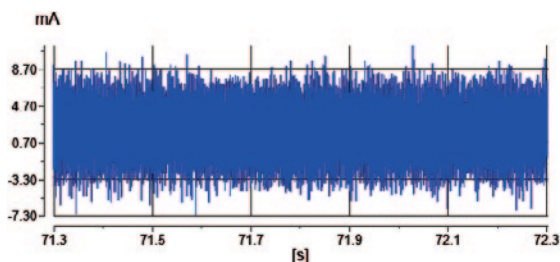


Fig. 1: Unremarkable current flow in the conductive shield of a communication cable. Source: Indu-Sol.

it cannot be detected outside the wiring. However, the analysis of the unwanted balancing currents can be enough to conclude that there is a possible risk of interference, so that it is not necessary to investigate the data stream for the purpose. An example is shown in Figure 1 where the current passage measured by a current clamp encircling such a communication wire is depicted. Experience would suggest that the low

current level and unremarkable envelope mean that little interference is to be expected on this communication wire. Figure 2, on the other hand, has an envelope indicating a distinctive flow of current which may be a sign of a high level of parasitics.

Various patterns had been identified to assist in the definition of a particular interference current. They include temporary or permanent high peak current levels, high slew rates for the current, and certain frequency sections of the current flow.

The challenge to IMMS in designing the current clamp was the fact that it would have to run for 14 days on commercially obtainable LR6 batteries as they would enable it to be used all over the world. The precondition dictates low energy consumption by all components and energy-efficient algorithms within the software. At the same time the wide dynamic range required, stretching from 10mA to 30A, was a considerable challenge to the magnetic detection coil, the electronics and the analogue-digital-converter combined in the system. In the selection of components, IMMS investigated the accuracy of various **magnetic detection coils** in the intended frequency range of between 40Hz and 10kHz and on that basis determined the analogue circuit elements necessary.

The Institute took many serial measurements for energy consumption by a variety of **microcontrollers** and for the time they took to go through certain algorithms. The times measured are shown in summary form for four selected microcontrollers in Figure 3. For purposes of comparison, it was assumed that the values would be registered at 200kHz. For this to be

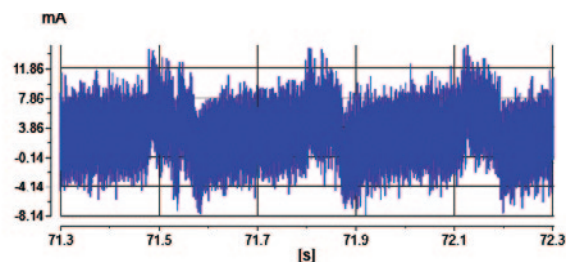


Fig. 2: Current flow with distinctive envelope in the conductive shield of a communication cable. Source: Indu-Sol.

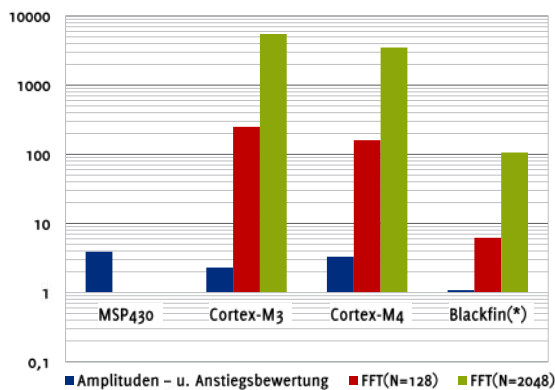


Fig. 3: Computation times compared. Blue: computation of signal amplitude and gain at cyclical frequency of 12MHz; red and green: computation of different rapid FFTs at the maximum possible frequency in each case. Diagram: IMMS.

the case, a new value must enter into the computation procedure every five microseconds. The diagram shows that all four microcontrollers achieve evaluation of amplitude and gain of the signal faster than in the maximum permitted time of 5 μ s. A comparison was also made using the same computation at a lower cyclical rate of 12MHz with the consequent reduced energy consumption. The energy consumption for the four microcontrollers over a period of 14 days appears in Figure 4.

After evaluating all these measurements, IMMS decided on a microcontroller suitable for the task which possesses the periphery embracing the necessary measurements together with appropriate low power modes.

To set optimum dimensions for the **batteries** with the **necessary capacity**, the Institute identified the current consumed by the system in each operational cycle. The capacity was derived not only on these measurements but also on experience from other projects. The amount of energy available from a battery is, however, dependent also on the peak load arising during the process with which the system is dealing. The peak values were thus also identified for the supply current during the measurement procedures and the order in which the process was carried out was optimised in the software to avoid too much stress on the batteries during operation. For example, it is energy intensive to write a large number of small data sets onto an SD card. Therefore, specific cycles were defined for the writing onto the card. Another tactic was to adapt the data sets to the cluster size of the file system, again reducing electricity consumption. By writing several clusters in one writing operation it was also possible to bring the energy use down by 50 % as compared with the initial requirement. Even more current-saving measures

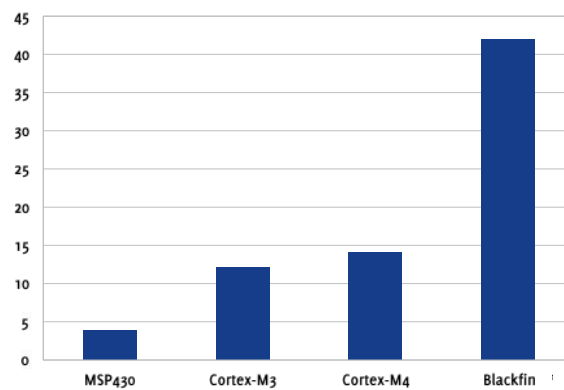


Fig. 4: Energy needs compared for a 14-day period at cyclical frequency of 12 MHz. Diagram: IMMS.

were applied, too: for example, in certain operational modes the microcontroller cyclical frequency was reduced. Any controller components not currently required were also switched off.

Commercially available batteries were subjected to comprehensive testing and measurement to demonstrate how batteries will behave under given discharging conditions. This made it possible to establish more accurately what **battery capacity** would be **available** to actual use scenarios for the current clamp and to improve the dimensioning even further.

IMMS first made an experimental prototype of the system, tested it and optimised it again. The final design of the hardware was based on the casing design which was also an IMMS development. The system was commissioned, tested and then integrated into the casing. The software to carry out the initial evaluation of the data in the current clamp was likewise made at IMMS and then implemented.

Future prospects

The current clamp was presented by Indu-Sol to a large specialist audience at the "sps ipc drives" trade fair in November 2014. As yet there is no comparable product available on the market. Mass production is to begin in the summer of 2015.

Contact person: Dr. Tino Hutschenreuther,
tino.hutschenreuther@imms.de

Supported by:



on the basis of a decision
by the German Bundestag

The ZIM project entitled "Intelligente Strommesszange EMCheck IMSZ 1", which was concluded in 2014 having run for two years, was funded by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) under the reference KF2534508 DB2.

Intelligente Strommesszange



erfasst
Störströme in Industrieanlagen

Motivation

Teure Fertigungsstillstände komplexer Industrieanlagen sind oft auf Funktionsstörungen in der Steuerungs- und Regelungstechnik zurückzuführen, die durch unerwünschte Wechselwirkungen zwischen Stromversorgung und Steuerung verursacht werden. Solche Effekte beeinträchtigen die Kommunikation zwischen den Komponenten. Ist das Niveau der Störungen zu hoch, werden diese durch die Fehlertoleranz der Steuerung nicht mehr ausgeglichen und lassen so Komponenten und damit die Produktion ausfallen.

Klassische Fehleranalysemethoden, mit denen Ursachen für solche Störungen gesucht werden können, lassen sich nicht immer einsetzen. Um Signale auf den Kommunikationsleitungen zu beobachten, müsste der laufende Betrieb der Anlage unterbrochen werden. Mehrere relevante Messstellen zeitgleich auszuwerten, ist oft unmöglich, da zum einen die Anlagen meist sehr komplex aufgebaut sind und teilweise vor Ort keine detaillierte Dokumentation verfügbar ist. Zum anderen können die funktionell zusammenwirkenden Bestandteile der Anlage wegen ihrer großen Entfernung zueinander häufig nicht von

Energetische Messungen für die intelligente Strommesszange. Foto: IMMS.

einem Punkt aus beobachtet werden. Darüber hinaus treten die Funktionsstörungen scheinbar sporadisch und in der Regel in großen Zeitabständen von mehreren Stunden bis einigen Tagen auf. Eine entsprechend langanhaltende Analyse durch fachkundiges Personal mit Hilfe komplexer Messtechnik vor Ort verursacht hohe Kosten.

Entwicklung

Das IMMS hat daher für die Firma Indu-Sol eine kompakte, intelligente Strommesszange entwickelt, die als energieautarkes mobiles Gerät selbständig das Störniveau auf einer Leitung des Automatisierungsbusses einer Industrieanlage über 14 Tage dauerhaft erfasst, bewertet und für eine spätere detaillierte Auswertung auf SD-Karte aufzeichnet. Als Energiespeicher werden sechs LR6-Mignonzellen mit insgesamt ca. 20Wh verwendet. Das entspricht etwa der dreifachen Kapazität eines normalen Smartphone-Akkus. Die Zange erkennt das Störniveau anhand von Schwellwerten und kann Werte in einem großen Messbereich zwischen 10 mA und 30A mit bis zu 40 kSa/s erfassen und die-



Die vom IMMS in einem Kooperationsprojekt mit dem Industriepartner Indu-Sol entwickelte intelligente Strommesszange EMCheck® ISMZ I kann bei der Fa. Indu-Sol bestellt werden (Art.-Nr. 122010020). Foto: IMMS.

se mit einer Auflösung von 16 Bit digitalisieren. Sie zeigt den Effektivwert (RMS) des aktuellen Störniveaus numerisch, grafisch oder spektral an und ist einfach und intuitiv zu bedienen. Nutzen Industrieanlagenbetreiber mehrere Zangen gleichzeitig, können sie den Ort der Störung bestimmen und somit den Analyseaufwand deutlich reduzieren. Die Datenauswertung wird mit einer zugehörigen Software auf dem PC vorgenommen. Dank besonderer Maßnahmen zur Gewährleistung der Elektrosicherheit ist das Gerät auch an stromführenden Leitungen mit hohen Berührungsspannungen entsprechend der Überspannungskategorie III einsetzbar. Das bedeutet, dass z.B. auch Messungen in fest verdrahteten Schaltschränken von Industrieanlagen vorgenommen werden können.

Lösungsweg

Grundlage für die Entwicklung des IMMS waren detaillierte Informationen zur Analyse von Störproblemen in Industrieanlagen, die die Firma Indu-Sol als Praxispartner und Experte auf diesem Gebiet lieferte. Das Unternehmen hat seine zahlreichen Einsätze in solchen Anlagen untersucht. Es hat festgestellt, dass auf den gestörten Kommunikationsleitungen oft ein hohes Niveau von Ausgleichströmen zu finden ist, die überwiegend entlang der Abschirmung der Kabel fließen. Ursache dieser Ströme sind in der Regel ungünstige Erdungsverhältnisse im Zusammenhang mit Komponenten, die ein- oder abgeschaltet werden, oder die funktionsbedingt ein hohes Niveau an transienten oder hochfrequenten Ableitströmen haben, wie z. B. Frequenzumrichter. Der Datenstrom wird i.d.R. differentiell gegenphasig übertragen und

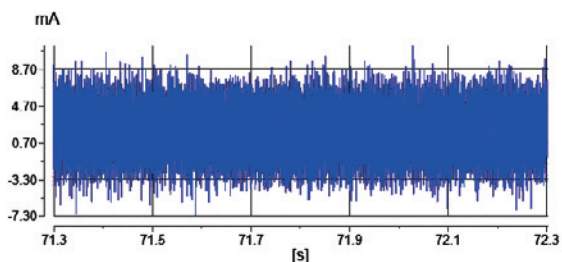


Abbildung 1: Verlauf des Stromes auf der Abschirmung einer Kommunikationsleitung ohne Auffälligkeiten. Quelle: Indu-Sol.

kann daher außerhalb des Leiters nicht detektiert werden. Allein durch die Analyse der Ausgleichströme kann jedoch auf ein mögliches Störrisiko geschlossen werden, d.h. der Datenstrom muss hierfür nicht untersucht werden. Als Beispiel ist in Abbildung 1 der Verlauf des Stromes dargestellt, der mit Hilfe einer Stromzange gemessen wurde, die eine solche Kommunikationsleitung vollständig umfasst. Erfahrungsgemäß ist wegen des niedrigen Stromniveaus und der unauffälligen Hüllkurve auf dieser Kommunikationsleitung nicht mit einem hohen Störniveau zu rechnen. In Abbildung 2 dagegen weist die Hüllkurve einen auffälligen Verlauf auf, was auf ein möglicherweise höheres Störniveau hinweist.

Um einen möglichen Störeintrag beurteilen zu können, wurden Merkmale identifiziert. Diese umfassen eine zeitweilige oder permanente hohe Stromamplitude, eine hohe Anstiegsgeschwindigkeit des Stromes und das Auftreten bestimmter Frequenzanteile im Stromverlauf.

Herausforderung für das Design dieser Strommesszange am IMMS war die geforderte Laufzeit über 14 Tage bei Nutzung herkömmlicher LR6-Batterien, welche einen weltweiten Einsatz ermöglichen. Dies setzt einen niedrigen Energieverbrauch der eingesetzten Komponenten und energieeffiziente Algorithmen in der Software voraus. Gleichzeitig stellte der große Messbereich von 10mA bis 30A hohe Anforderungen an die Aufnahmespule, die Elektronik und den Analog-Digital-Wandler des Systems, da diese Ströme nur aus dem Streufeld des Leiters gemessen werden. Für die Auswahl der Komponenten hat das IMMS verschiedene **Magnetkreise** auf Ihre Genauigkeit im angestrebten Frequenzspektrum von 40Hz bis 10kHz untersucht und auf dieser Basis die erforderlichen analogen Schaltungsteile bestimmt.

Das Institut hat eine große Anzahl von Messreihen zum Energieverbrauch unterschiedlicher **Mikrocontroller** und deren Ausführungszeiten für bestimmte Algorithmen durchgeführt. Diese Zeiten sind in Abbil-

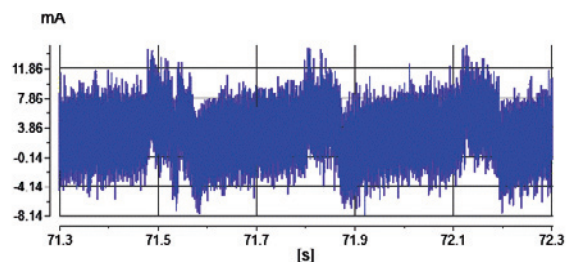


Abbildung 2: Verlauf des Stromes auf der Abschirmung einer Kommunikationsleitung mit auffälliger Hüllkurve. Quelle: Indu-Sol.

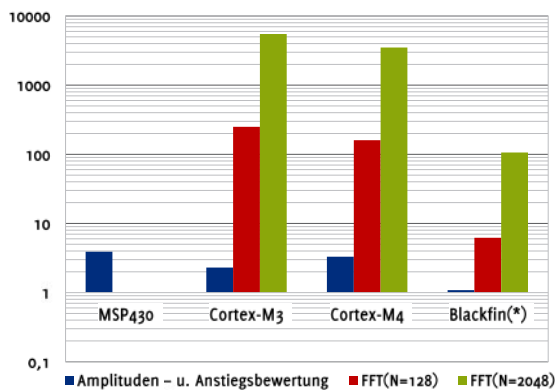


Abbildung 3: Vergleich der Ausführungszeiten (µs) verschiedener Berechnungen. Blau: Berechnung der Amplituden- und Anstiegsbewertung bei Taktfrequenz von 12MHz. Rot/grün: Berechnung verschiedener schneller Fourier-Transformationen (FFTs) mit jeweils maximal möglicher Taktfrequenz. Grafik: IMMS.

Abbildung 3 für vier ausgewählte Mikrocontroller zusammengefasst dargestellt. Zu Vergleichszwecken wurde von 200kHz ausgegangen, mit denen die Werte erfasst wurden. Hierfür muss alle 5 µs ein neuer Messwert in die Berechnung einfließen. Das Diagramm zeigt, dass alle vier Mikrocontroller die Amplituden- und Anstiegsbewertung des Signals schneller als in der maximal erlaubten Zeit von 5 µs vornehmen. Außerdem wurden die gleichen Berechnungen bei einer geringen Taktfrequenz von 12MHz und folglich die niedrigeren Energiebedarfe verglichen. Abbildung 4 stellt den Energiebedarf der Mikrocontroller für eine 14-tägige Laufzeit gegenüber.

Nach der Auswertung der Messreihen hat das IMMS einen geeigneten Mikrocontroller für diese Aufgabe bestimmt, der gleichzeitig die erforderliche Peripherie für die notwendigen Messaufgaben und Stromsparmodi besitzt.

Um die **notwendige Batteriekapazität** optimal zu dimensionieren, hat das Institut die Stromaufnahme des Systems in jedem Arbeitszyklus bestimmt. Hieraus sowie aufbauend auf den Erfahrungen aus anderen Projekten wurde die erforderliche Kapazität abgeleitet. Die entnehmbare Energie einer Batterie ist jedoch auch von der Spitzenlast abhängig, die bei der Prozessverarbeitung im System auftritt. Daher wurden solche Stromspitzen während des Messvorgangs bestimmt und die Reihenfolge der Prozessverarbeitung auf Software-Ebene optimiert, um die Batterien während des Betriebes nicht zu stark zu belasten. Zum Beispiel verbraucht das Schreiben vieler kleiner Datenmengen auf die SD-Karte sehr viel Energie. Deshalb wurden Zyklen definiert, in denen auf die SD-Karte geschrieben wird. Darüber hinaus wurden die zu schreibenden Datenmengen an die Clustergrößen des Filesystems angepasst und damit der Stromverbrauch gesenkt. Zudem konnte durch das Schreiben von meh-

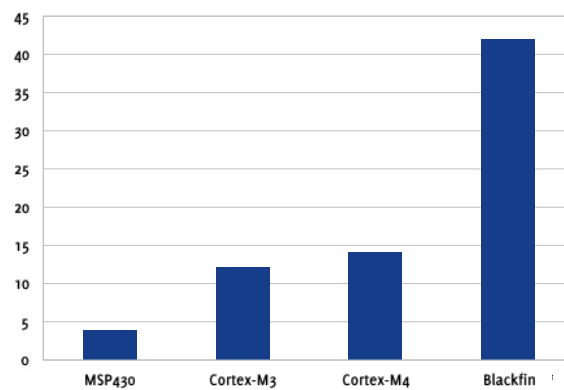


Abbildung 4: Vergleich des Energiebedarfs (Wh) für eine 14-tägige Laufzeit bei einer Taktfrequenz von 12 MHz. Grafik: IMMS.

ren Clustern mit einer Schreiboperation der Energieverbrauch um ca. 50% gegenüber dem Ausgangswert reduziert werden. Für weitere Einspareffekte wurden zusätzliche Stromsparmaßnahmen umgesetzt, wie z.B. die Reduzierung der Taktfrequenz des Mikrocontrollers in bestimmten Betriebsmodi und das Abschalten nicht benötigter Komponenten des Controllers.

Umfangreiche Messreihen zu handelsüblichen Batterien gaben schließlich Auskunft darüber, wie sich Batterien bei gegebenen Entnahmekapazitäten verhalten. Dadurch konnte die **verfügbare Batteriekapazität** für konkrete Benutzungsszenarien der Strommesszange genauer bestimmt und die Dimensionierung verbessert werden.

Das IMMS hat das **System** zunächst experimentell aufgebaut, vermessen und weiter optimiert. Das finale Design der Hardware wurde anhand der ebenfalls am IMMS vorgenommenen Konstruktion des Gehäuses entwickelt, das System wurde in Betrieb genommen, getestet und in das Gehäuse integriert. Die Software, die die erste Bewertung der Daten auf der Stromzange vornimmt, wurde ebenfalls am IMMS erarbeitet und implementiert.

Ausblick

Die Stromzange wurde auf der Messe „sps ipc drives“ im November 2014 in Nürnberg von der Firma Indu-Sol einem breiten Fachpublikum vorgestellt. Gegenwärtig gibt es keine vergleichbaren Lösungen. Der Start der Serienfertigung soll im Sommer 2015 erfolgen.

Kontakt:

Dr. Tino Hutschenreuther, tino.hutschenreuther@imms.de

Gefördert durch:

 aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages

Das zweijährige und 2014 abgeschlossene ZIM-Projekt „Intelligente Strommesszange EMCheck IMSZ I“ wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem Kennzeichen KF2534508 DB2 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.