



ADMONT –

RFID chip

supporting battery-free operation of off-the-shelf sensors for diagnostics and analytics

IMMS has developed an RFID sensor transponder IC as a bridge between NFC and I²C, with which commercial sensors for diagnostic and analytical applications can be connected and operated without batteries. Photograph: IMMS.

© IMMS GmbH. All rights reserved. Reproduction and publication only with express permission of IMMS GmbH.

Objectives and overview

Wireless sensors for future point-of-care diagnostics

In the field of personalized medical care and diagnostic tests, more and more sensors are being used today. There are, for instance, sensors which can be implanted subcutaneously to measure blood glucose concentration. Besides blood glucose meters, test strips, e.g. for pregnancy, ovulation and allergy tests, facilitate rapid analysis directly at home with a simple yes/no result (qualitative assessment). In future, digital sensors will complement today's test strips to enable quantitative assessments. This will be extended beyond what the present portfolio of test strips can do. For example, patients could be monitored after treatment of heart problems, athletes could have their lactate levels monitored, pets could be tested for disease. With modern, wireless communications and energy supply technologies such as RFID, these sensors can be read by any smartphone and the information obtained can be sent directly to the family doctor or linked to value-added services via an app. Such wireless point-of-care sensors have the characteristics of full-fledged IoT com-

*More on
Life Sciences:
www.imms.de*

*More on
ADMONT at
www.imms.de*

*Annual Report
© IMMS 2019*

ponents which, in conjunction with Big Data and cloud-based application software, represent the most important basis for new data-driven business models. Due to their battery-free operation and the resulting resource-efficient setup, RFID sensors can be regarded as one of the most important future technologies for point-of-care diagnostics.

Flexible RFID sensor transponder chip from IMMS as a bridge between NFC and I²C sensors

IMMS has developed a battery free (passive) NFC-enabled RFID transponder chip that supports various types of commercially available digital I²C sensors with different power requirements as a flexible bridge interface, see Figure 1. It can supply a regulated voltage for external sensors of up to 2.2 V with a maximum current of 10 mA. It ensures low power consumption of the overall system and minimizes the number of external components needed to build an RFID sensor transponder. With the IMMS RFID chip, building up a wireless sensor life science application can become faster and more cost-effective.

The IMMS solution in detail

RFID sensor transponders are also able to receive and transmit sensor data

RFID technology

RFID, or Radio Frequency IDentification, is a well-established form of technology that works wirelessly for purposes of tracking and access control. A typical RFID system consists of at least one reader and one or more transponders. The reader communicates with the surrounding transponders via a radio frequency (RF) field, and they respond with

49

> INPOS

> INSPECT

> ADMONT

> Ko²SiBus

> AgAVE

> Dig. Engineering

> IRIS

> Contents

* Funding

More on chip development at www.imms.de.

and publication only with express permission of IMMS GmbH.

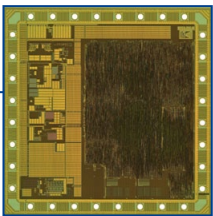


Figure 1:
left: RFID sensor transponder, illustrated here with temperature, humidity and pressure sensing;
right: RFID transponder chip. Photograph: IMMS.

* Funding

Lack of flexible and energy-efficient transponder architectures

Dedicated RFID sensor transponder ICs, in which the sensors are integrated directly into the RFID chip, are state of the art, so that energy efficiency, functionality and sensor accuracy can be optimized within the IC [1]. However, such ICs are designed for specific applications and are therefore not flexible enough for a wide variety of application scenarios. Many commercial RFID sensors therefore combine RFID transponder ICs, microcontrollers (MCU) and stand-alone sensors, see Figure 2.

Here, it is the MCU that manages the sensor operation, acting as master in the system. The sensors and RFID IC will act as a slave. In systems like this, most of the power available from the reader is used up by the MCU, which consumes approx. 100 $\mu\text{A}/\text{MHz}$. Therefore, it is not possible to interface them with energy-hungry sensors, such as optical sensors based on photodiodes and LEDs, which are frequently used in diagnostic applications. An LED approximately requires about 3 – 5 mA for its operation.

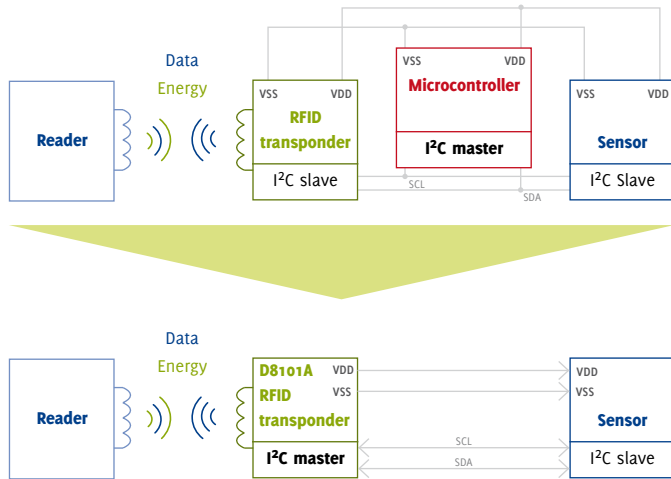


Figure 2:

Top: In conventional discrete RFID sensor systems the sensors (slave) are controlled by the microcontroller as master.

Below: In RFID sensor systems with the new RFID transponder IC D8101A with integrated (on-chip) master, a microcontroller is no longer necessary.

Diagram: IMMS.

- > INPOS
- > INSPECT
- > ADMONT
- > Ko²SiBus
- > AgAVE
- > Dig. Engineering
- > IRIS
- > Contents
- * Funding

Flexible RFID sensor-transponder chip as bridge between NFC and I²C

In response to this need, IMMS has developed an NFC-compatible HF RFID transponder IC that can serve as a flexible wireless bridge interface for commercially available digital I²C sensors. The chip is supplied with an on-chip I²C master and a configurable power management block which can support different types of sensors with different power requirements. It can supply a regulated voltage for external sensors up to 2.2 V at a maximum current of 10 mA [2]. The on-chip I²C master block eliminates the need for an MCU to perform simple read/write operations with sensors. This reduces the power consumption of the entire system as well as the number of external components required to build an RFID sensor transponder. Figure 3 shows the chip architecture.

More on chip development at www.imms.de.

Figure 3:

Block diagram of the RFID sensor transponder IC D8101A.

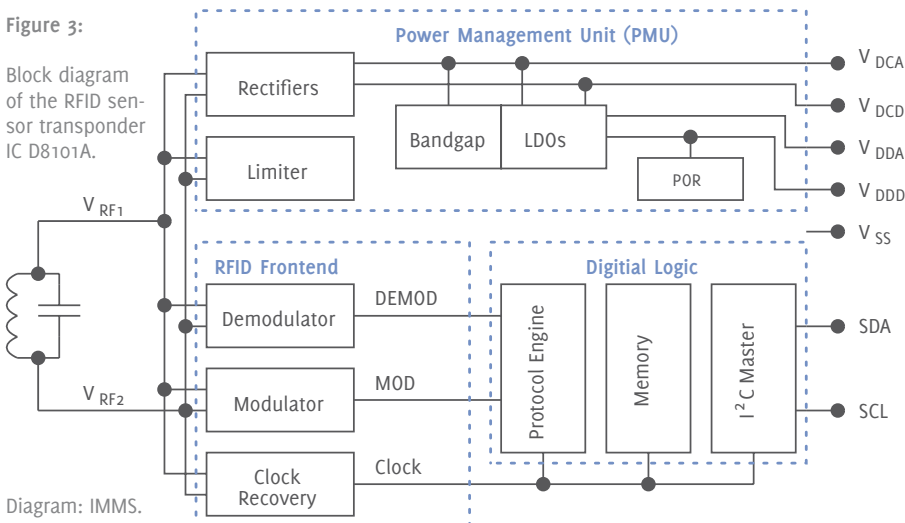


Diagram: IMMS.

When coupling an I²C master with a slave IC, pull-up resistors are required on each bi-directional line (SDA, SCL). In a conventional I²C bus system, the ohmic resistors are unfavourable for high energy consumption. To solve this problem, IMMS has also developed a latch-based ultra-low power pull-up emulator that is fully I²C standard-compatible [3]. Together with the pull-up emulator, the RFID sensor transponder IC forms an extremely energy-efficient solution for building wireless personalized health-care applications.

Power management and communications with I²C sensors

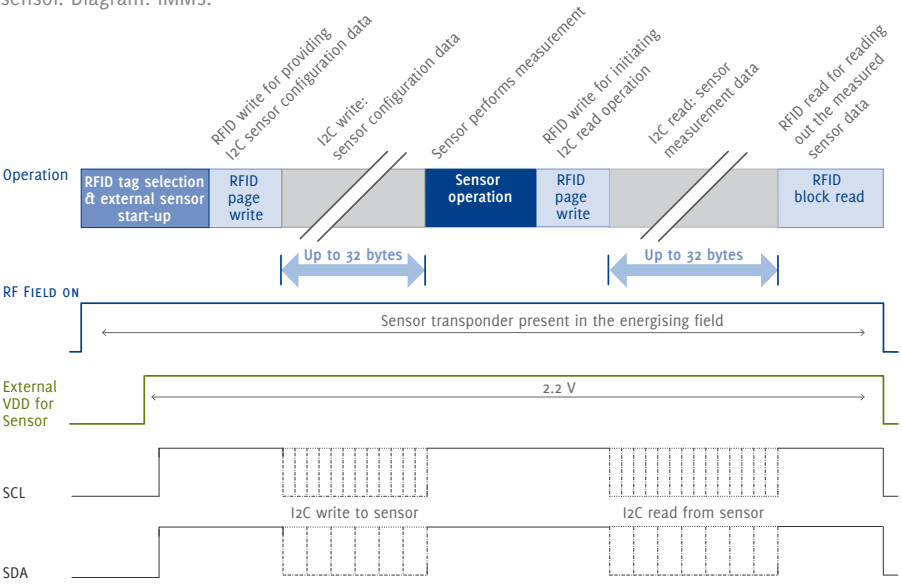
Unique to the developed chip is the flexible power management, with which stable communications with external I²C sensors is achieved. The chip uses an external capacitor that automatically stores energy while the transponder is in the energy field of the reader. When the required energy for system and sensor operation is charged, an internal interrupt “Power_OK” is initiated. From this point on, the operation of the connected I²C slave chips, such as sensors and external memory, can be initiated. The charging process of the external capacitor is configurable to allow different energy consumption levels of commercial sensors. Configurations can be easily programmed to the on-chip memory using standard ISO 14443 Type-A write commands. For communications with the external I²C sensors, the I²C communications informa-

- 52
- > INPOS
- > INSPECT
- > ADMONT
- > Ko²SiBus
- > AgAVE
- > Dig. Engineering
- > IRIS
- > Contents
- * Funding

More on energy efficiency:
www.imms.de.

More on communications solutions at
www.imms.de.

Figure 4: Power management and energy consumption flow of the RFID transponder IC with external I²C sensor. Diagram: IMMS.



tion is written into the command registers in the transponder memory. The on-chip I²C master makes use of this information to initiate the I²C transactions with the external sensors. For external I²C sensors, the chip offers flexibility of operation in the following respects: multiple read and write operations; combined reading and writing (write information to start sensor operation and read back acquired data on conclusion of operation); start delay (time for start-up of sensor); delay between two consecutive I²C writes (required when writing information into a non-volatile external memory).

Monitoring of diagnostic applications in laboratories

The developed chip is not only intended for NFC-based sensor applications in consumer applications but can also be used for diagnostic laboratory applications that require permanent monitoring of environmental parameters such as temperature, humidity and pressure. Since the chip is fully compatible with the ISO 14443 Type-A protocol, it can be used with any commercially available HF RFID reader.

Future prospects: digital value creation thanks to NFC

A major advantage of NFC-based analysis of sensors compared to conventional approaches is its compactness and flexibility: with NFC, the user can configure and read out the sensors via a smart phone app, which enables complex parameter combinations, analysis algorithms and the connection to the internet in a simple way. Instead of having to install LEDs or a display on the sensor side, the larger screen of a smartphone or tablet can be used. This increases user-friendliness and simultaneously reduces system costs. Compared to other technologies such as Bluetooth or WiFi, NFC-based sensors do not require batteries, which is a major advantage, especially compared to today's disposable electronic tests. Therefore, the presented RFID chip when intended for interfacing with commercial sensors offers for the first time a technological basis for a large number of point-of-care applications where sensor data is collected for new

Figure 5: Smartphone app developed by IMMS for reading data from the RFID sensors. Photograph: IMMS.



value creation, e.g. with individualized product recommendations, in a resource-saving way, thus paving the way for new data-driven business models in our digital world.

Contact person:

Muralikrishna Sathyamurthy, M.Sc. MBA, muralikrishna.sathyamurthy@imms.de



The ADMONT project has received funding from the ECSEL Joint Undertaking under grant agreement No 661796. This Joint Undertaking has received support as Innovation Action from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme, the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) and Finland, Sweden, Italy, Austria, Hungary. The IMMS sub-project "Design of intelligent in vitro diagnostic und bioanalytical sensor and actuator systems" has received funding under the reference 16ESE0057.

More detail on

ADMONT at

www.imms.de.

Author publications:

- [1] J. TAN, M. SATHYAMURTHY, A. ROLAPP, J. GAMEZ, E. HENNIG, E. SCHÄFER, and R. SOMMER, "A Fully Passive RFID Temperature Sensor SoC with an Accuracy of $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ (3σ) from 0°C to 125°C ," in *IEEE Journal of Radio Frequency Identification (JRFID)*, vol. 3, no. 1, pp. 35-45, Mar. 2019. DOI: 10.1109/JRFID.2019.2896145
- [2] J. TAN, M. SATHYAMURTHY, A. ROLAPP, J. GAMEZ, M. ELKHARASHI, B. SAFT, S. JÄGER, and R. SOMMER, "An RFID to I²C Bridge IC with Supply Interference Reduction for Flexible RFID Sensor Applications," in *IEEE International Conference on RFID 2019, Phoenix (AZ), USA, Apr. 2019*. DOI: 10.1109/RFID.2019.8719257
- [3] B. SAFT und G. GLÄSER, „Schaltungsanordnung zur Bereitstellung der Ladeenergie für einen Pegelwechsel auf einem Signalbus, Verfahren zur Kalibrierung und Signalübertragungssystem“, *Disclosed patent application: DE 10 2016 119 927 A1*.



ADMONT –

RFID-Chip

zum batterielosen Betrieb kommerzieller Sensoren für diagnostische und analytische Anwendungen

Das IMMS hat einen RFID-Sensor-Transponder-IC als Brücke zwischen NFC und I²C entwickelt, mit dem sich kommerzielle Sensoren für diagnostische und analytische Anwendungen anschließen und batterieelos betreiben lassen. Foto: IMMS.

Motivation und Überblick

Drahtlose Sensoren für die Point-of-Care-Diagnostik der Zukunft

Sensoren jeglicher Art werden zunehmend in den Bereichen der personalisierten Medizin und diagnostischen Analytik eingesetzt. So gibt es zum Beispiel implantierbare Sensoren, die direkt unter der Haut sitzen und die Glukosekonzentration messen. Neben Blutzuckermessgeräten ermöglichen Teststreifen, wie z.B. für Schwangerschafts-, Ovulations- und Allergietests, die schnelle Analytik direkt zu Hause mit einer einfachen Ja/Nein-Aussage. In Zukunft werden digitale Sensoren die heutigen Teststreifen ergänzen, um u.a. quantitative Aussagen zu ermöglichen. Das Portfolio der Teststreifen kann damit erweitert werden, um zum Beispiel Patienten mit behandelten Herzleiden zu monitoren, Sportlern die Überwachung ihrer Laktatwerte zu ermöglichen oder Haustiere auf Krankheiten zu testen. Mit modernen, drahtlosen Kommunikations- und Energieversorgungstechnologien wie RFID können diese Sensoren von jedem Smartphone ausgelesen und die gewonnenen Informationen direkt an den Hausarzt gesendet oder durch eine App mit wertschöpfenden Diensten verknüpft werden. Solche drahtlosen Point-of-Care-Sensoren haben den Charakter voll-

Mehr zu
Life-Sciences:
www.imms.de

Mehr zu
ADMONT auf
www.imms.de

Jahresbericht
© IMMS 2019

wertiger IoT-Komponenten, die im Zusammenhang mit Big Data und Cloud-basierter Anwendungssoftware die wichtigste Basis für neue datengetriebene Geschäftsmodelle darstellen. Aufgrund des batterielosen Betriebs und dem daraus folgenden ressourcenschonenden Aufbau können RFID-Sensoren als eine der wichtigsten Zukunftstechnologien für die Point-of-Care-Diagnostik angesehen werden.

Flexibler RFID-Sensor-Transponder-Chip des IMMS als Brücke zwischen NFC und I²C-Sensoren

Das IMMS hat einen passiven NFC-fähigen RFID-Transponder-Chip entwickelt, der als flexible Brückenschnittstelle verschiedene Arten handelsüblicher digitaler I²C-Sensoren mit unterschiedlichem Leistungsbedarf unterstützt, siehe Abbildung 1. Er kann eine geregelte Spannung für externe Sensoren bis zu 2,2 V bei einem maximalen Strom von 10 mA liefern. Er sorgt für einen niedrigen Stromverbrauch des Gesamtsystems und minimiert die Anzahl an externen Komponenten, die für den Aufbau eines RFID-Sensor-Transponders benötigt werden. Mit dem RFID-Chip des IMMS können Life-Science-Anwendungen schneller und kostengünstiger werden.

Lösung im Detail

RFID-Sensor-Transponder erfassen und übertragen auch Sensordaten

RFID-Technologie

Die RFID-Technologie (Radio Frequency Identification) ist eine etablierte drahtlose Technologie für die Rückverfolgung und Zugangskontrolle. Ein typisches RFID-System besteht aus mindestens einem Lesegerät und einem oder mehreren Transpondern.

Das Lesegerät kommuniziert über ein hochfrequentes (RF-) Feld mit den umgebenden Tags, und die

Veröffentlichung und Veröffentlichung nur mit Genehmigung der IMMS GmbH.

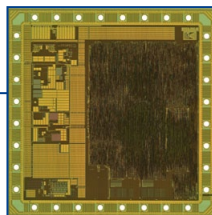


Abbildung 1:

links: RFID-Sensor-Transponder, hier mit Temperatur-, Luftfeuchte- und Drucksensorik;
rechts: RFID-Transponder-Chip. Foto: IMMS.

Mehr zu Chip-
Entwicklungen:
www.imms.de

Tags antworten mit ihren eindeutigen Identifikationsnummern. Die Verbindung von RFID mit Sensoren zu RFID-Sensoren ist eine Weiterentwicklung der RFID-Technologie. Deren Kernelement ist ein RFID-Sensor-Transponder-IC – eine integrierte Schaltung, die Umweltveränderungen, wie z.B. die Umgebungstemperatur, misst und diese Informationen an das Lesegerät überträgt.

Nahfeldkommunikation (NFC)

Nahfeldkommunikation (NFC) ist ein auf RFID basierender Standard zur Übertragung von Energie und Daten über kurze Distanzen, der sich mit Smartphones (Device to Device Communication) stark verbreitet hat. Bisher wird diese Technik vor allem für kontaktlose Geldzahlungen eingesetzt, jedoch eignet sie sich sehr gut für verschiedene Sensorik- und Monitoring-Anwendungen für die persönliche Gesundheitsüberwachung. Die NFC-Technologie nutzt die gleichen ISO-Protokolle für die Kommunikation mit den Transpondern wie HF-RFID bei 13,56 MHz. Jedes NFC-fähige Smartphone funktioniert somit als RFID-Lesegerät, das den Sensortransponder mit Energie versorgt, so dass dieser dann die Sensordaten ohne eine zusätzliche Batterie auf der Tag-Seite auslesen und übertragen kann. NFC kann somit künftig als Basistechnologie Anwendungen für Privatanwender (B2C) erschließen.

Anpassungsfähige und energieeffiziente Transponder-Architekturen fehlen

Stand der Technik sind dedizierte RFID-Sensor-Transponder-ICs, bei denen die Sensoren direkt im RFID-Chip integriert sind, so dass Energieeffizienz, Funktionalität und Sensorgenauigkeit innerhalb des ICs optimiert werden können [1]. Solche ICs werden jedoch für spezifische Anwendungen ausgelegt und sind deshalb für den breiten Einsatz in mehreren Anwendungsszenarien nicht flexibel genug. Viele kommerzielle RFID-Sensoren kombinieren daher RFID-Transponder-ICs, Mikrocontroller (MCU) und Stand-Alone-Sensoren, vgl. Abbildung 2.

Die Sensoroperationen werden in solchen Fällen jedoch von der MCU gesteuert, d.h. mit der MCU als Master und RFID-IC sowie Sensoren als Slave. Der Großteil der verfügbaren Energie wird bei solchen Systemen von der MCU mit etwa 100 µA/MHz verbraucht. Deshalb können diese nicht mit energiehungrigen Sensoren gekoppelt werden, wie bei auf Photodioden und LEDs basierender optischer Sensorik, die in der Diagnostik häufig eingesetzt wird. Eine LED benötigt etwa 3 – 5 mA, um betrieben zu werden.

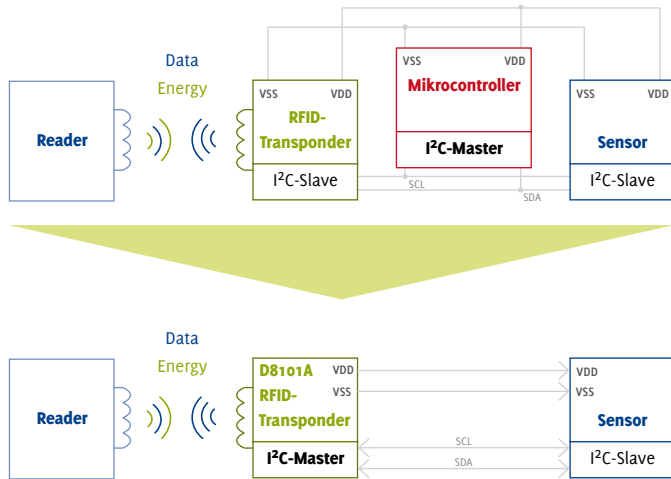


Abbildung 2:

Oben: In herkömmlichen diskret aufgebauten RFID-Sensorsystemen werden die Sensoren (Slave) vom Mikrocontroller als Master gesteuert.

Unten: In RFID-Sensorsystemen mit dem neuen RFID-Transponder-IC D8101A mit integriertem (on-chip) Master ist kein Mikrocontroller mehr notwendig. Grafik: IMMS.

- > INPOS
- > INSPECT
- > ADMONT
- > Ko²SiBus
- > AgAVE
- > Dig. Engineering
- > IRIS
- > Inhalt
- * Förderung

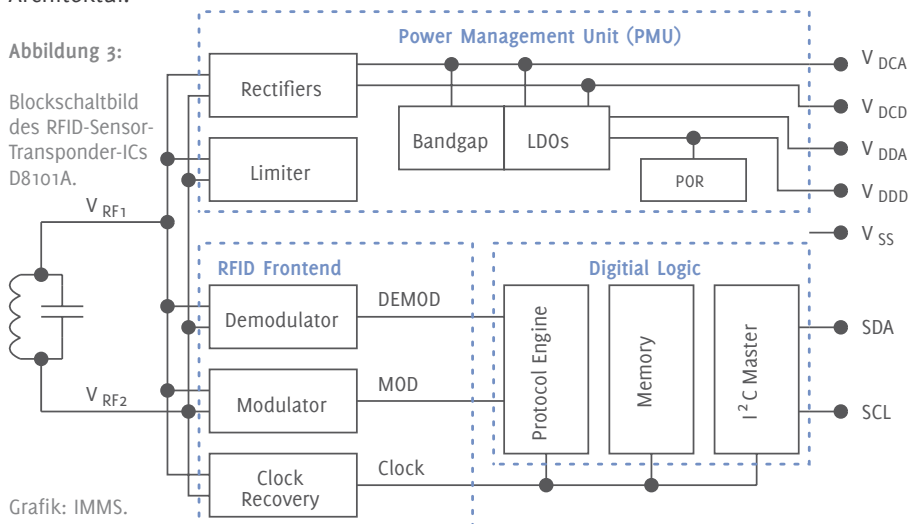
Flexibler RFID-Sensor-Transponder-IC als Brücke zwischen NFC und I²C

Das IMMS hat daher einen NFC-kompatiblen HF-RFID-Transponder-IC entwickelt, der als flexible, drahtlose Brückenschnittstelle für handelsübliche digitale I²C-Sensoren dienen kann. Der Chip wird mit einem On-Chip-I²C-Master und einem konfigurierbaren Power-Management-Block geliefert und unterstützt damit verschiedene Arten von Sensoren mit unterschiedlichem Leistungsbedarf. Er kann eine geregelte Spannung für externe Sensoren bis zu 2,2 V bei einem maximalen Strom von 10 mA liefern [2]. Dank des On-Chip-I²C-Masterblocks ist eine MCU für die Durchführung simpler Lese-/Schreibvorgänge mit Sensoren nicht notwendig. Dies reduziert den Stromverbrauch des Gesamtsystems sowie die Anzahl an externen Komponenten, die für den Aufbau eines RFID-Sensortransponders benötigt werden. Abbildung 3 zeigt die Chip-Architektur.

Mehr zu Chip-Entwicklungen: www.imms.de.

Abbildung 3:

Blockschaltbild des RFID-Sensor-Transponder-ICs D8101A.



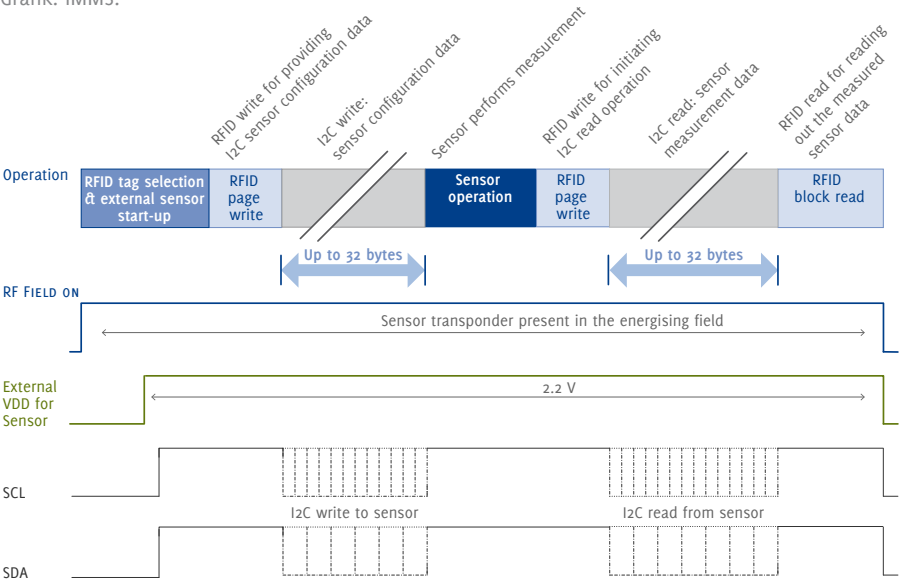
Grafik: IMMS.

Bei der Kopplung eines I²C-Masters mit einem Slave-IC wird an jeder bidirektionalen Leitung (SDA, SCL) ein Pull-up-Widerstand benötigt. In einem konventionellen I²C-Bussystem sind die ohmschen Widerstände ungünstig für den Energieverbrauch. Um dieses Problem zu lösen, hat das IMMS auch einen Latch-basierten Ultra-Low-Power-Pull-Up-Emulator entwickelt, der vollständig I²C-Standard-kompatibel ist [3]. Der RFID-Sensor-Transponder-IC bildet mit dem Pull-Up-Emulator eine äußerst energieeffiziente Lösung für den Aufbau drahtloser personalisierter Health-Care-Anwendungen.

Powermanagement und Kommunikation mit I²C-Sensoren

Einzigartig am entwickelten Chip ist das flexible Powermanagement, mit dem eine stabile Kommunikation mit externen I²C-Sensoren erreicht wird. Der Chip nutzt einen externen Kondensator, der die Energie automatisch speichert, während sich der Transponder im Energiefeld des Lesegeräts befindet. Wenn die erforderliche Energie für den System- und Sensorbetrieb geladen wurde, wird ein internes Interrupt initiiert. Ab diesem Zeitpunkt kann der Betrieb der verbundenen I²C-Slave-Chips, wie z.B. Sensoren und auch externer Speicher, eingeleitet werden. Der Ladevorgang des externen Kondensators ist konfigurierbar, damit der unterschiedliche Stromverbrauch von kommerziellen Sensoren berücksichtigt wird. Die Konfigurationen können mit den standardmäßigen Schreibbefehlen nach ISO 14443 Typ A einfach auf den On-Chip-Speicher programmiert werden.

Abbildung 4: Powermanagement und Energieverbrauchsfluss des RFID-Transponder-ICs mit externem I²C-Sensor. Grafik: IMMS.



Mehr zu Energieeffizienz auf www.imms.de.

Mehr Kommunikationslösungen: www.imms.de.

Die Kommunikation mit den externen I²C-Sensoren erfolgt durch Schreiben der I²C-Kommunikationsinformationen in die Befehlsregister im Transponderspeicher. Diese Informationen werden vom On-Chip-I²C-Master verwendet, um die I²C-Transaktionen mit den externen Sensoren zu initiieren. Der Chip bietet die folgende Flexibilität für einen externen I²C-Betrieb: mehrfacher Lese- und Schreibbetrieb; kombinierter Lese- und Schreibbetrieb (Schreibinformationen zum Starten des Sensorbetriebs und Lesen der erfassten Daten nach dem Betrieb); Startverzögerung (Zeit für das Starten des Sensors); Verzögerung zwischen zwei aufeinanderfolgenden I²C-Schreibvorgängen (erforderlich beim Schreiben von Informationen in einen externen nichtflüchtigen Speicher).

53	
> INPOS	
> INSPECT	
> ADMONT	
> Ko ² SiBus	
> AgAVE	
> Dig. Engineering	
> IRIS	
> Inhalt	
* Förderung	

Überwachung diagnostischer Laboranwendungen

Der entwickelte Chip ist nicht nur für NFC-basierte Sensoranwendungen in Privathaushalten vorgesehen, sondern kann auch für diagnostische Laboranwendungen eingesetzt werden, die auch ein permanentes Monitoring von Umgebungsparametern wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Druck erfordern. Da der Chip vollständig zum ISO-14443-Typ-A-Protokoll kompatibel ist, kann er mit jedem kommerziell erhältlichen HF-RFID-Lesegerät verwendet werden.

Mehr zu
Life-Sciences:
www.imms.de.

Ausblick: Digitale Wertschöpfung dank NFC

Ein wesentlicher Vorteil der NFC-basierten Auswertung von Sensoren im Vergleich zu konventionellen Ansätzen liegt in der Kompaktheit und Flexibilität: Mit NFC kann der Anwender die Sensoren über eine Smartphone-App konfigurieren und auslesen, die auf einfachem Weg komplexe Parameterkombinationen, Auswertungsalgorithmen und die Anbindung an das Internet ermöglicht. Anstatt auf dem Sensor LEDs oder ein Display installieren zu müssen, kann der größere Bildschirm eines Smartphones oder Tablets genutzt werden. Dies erhöht die Nutzerfreundlichkeit und senkt gleichzeitig die Systemkosten. Im Vergleich zu anderen Technologien wie Bluetooth oder WiFi werden für NFC-

Mehr Kommuni-
kationslösungen:
www.imms.de.

Abbildung 5: Am IMMS entwickelte Smartphone-App zum Auslesen der RFID-Sensoren. Foto: IMMS.



basierte Sensoren keine Batterien oder Akkus benötigt, was insbesondere gegenüber heute verfügbaren elektronischen Wegwerftests einen erheblichen Vorteil darstellt. Der vorgestellte RFID-Chip zum Anschluss kommerzieller Sensoren bietet daher für eine Vielzahl von Point-of-Care-Anwendungen erstmals eine technologische Basis, um Sensordaten für neue Wertschöpfungsmodelle, z.B. mit individualisierten Produktempfehlungen, ressourcenschonend zu sammeln und damit den Weg für neue datengetriebene Geschäftsmodelle in unserer digitalen Welt zu ebnen.

Kontakt:

Muralikrishna Sathyamurthy, M.Sc. MBA, muralikrishna.sathyamurthy@imms.de



Die Arbeiten im Verbundprojekt ADMONT wurden als industrielle Forschung (Innovation Action) im ECSEL-Programm als Teil des Forschungsrahmenprogramms Horizon 2020 durch die Europäische Union und das Bundesministerium für Bildung und Forschung unter dem Kennzeichen 661796 gefördert, das Teilvorhaben des IMMS „Entwurf intelligenter in-vitro-diagnostischer und bioanalytischer Sensor- und Aktorsysteme“ unter dem Kennzeichen 16ESE0057.

Mehr zu

ADMONT auf

www.imms.de

Eigene Veröffentlichungen:

- [1] J. TAN, M. SATHYAMURTHY, A. ROLAPP, J. GAMEZ, E. HENNIG, E. SCHÄFER, and R. SOMMER, “A Fully Passive RFID Temperature Sensor SoC with an Accuracy of $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ (3σ) from 0°C to 125°C ,” in *IEEE Journal of Radio Frequency Identification (JRFID)*, vol. 3, no. 1, pp. 35-45, Mar. 2019. DOI: 10.1109/JRFID.2019.2896145
- [2] J. TAN, M. SATHYAMURTHY, A. ROLAPP, J. GAMEZ, M. ELKHARASHI, B. SAFT, S. JÄGER, and R. SOMMER, “An RFID to I2C Bridge IC with Supply Interference Reduction for Flexible RFID Sensor Applications,” in *IEEE International Conference on RFID 2019, Phoenix (AZ), USA, Apr. 2019*. DOI: 10.1109/RFID.2019.8719257
- [3] B. SAFT und G. GLÄSER, „Schaltungsanordnung zur Bereitstellung der Ladeenergie für einen Pegelwechsel auf einem Signalbus, Verfahren zur Kalibrierung und Signalübertragungssystem“, *Offengelegte Patentanmeldung DE 10 2016 119 927 A1*.