

Multikanal-Zeitbereichsmessung von Magnetfeldern im Frequenzbereich bis 400 kHz mit MF-EASY

G. Schmid

1. Bedarf an Multikanal-Magnetfeldmessungen

Die Messung von niederfrequenten Magnetfeldern im Frequenzbereich bis zu einigen hundert Kilohertz gehört sowohl im Bereich der Elektromagnetischen (Geräte-)Verträglichkeit (EMVG), als auch im Bereich der Elektromagnetischen (Umwelt-)Verträglichkeit (EMVU) zur Laborroutine. Folgt die Messgröße (magnetische Flussdichte B) keinem sinusförmigen Zeitverlauf, sind häufig Messungen im Zeitbereich notwendig.

Auf dem Gebiet der EMVU ist dies beispielsweise für die biophysikalisch sinnvolle Bewertung der Exposition von Personen in Magnetfeldern notwendig, da die Stimulationsschwellen von Nerven- und Muskelgewebe maßgeblich vom Zeitverlauf des einwirkenden Magnetfeldes abhängen. Vereinfachte standardisierte Bewertungsverfahren, die ausschließlich auf dem auftretenden zeitlichen Spitzenwert des Magnetfeldes beruhen, führen zwangsläufig zu einer Überbewertung der Exposition, was, insbesondere in Situationen mit relativ hohen Magnetfeldamplituden, häufig Konflikte mit den einzuhaltenden Referenz- bzw. Grenzwerten mit sich bringt. Wird jedoch nicht nur der Spitzenwert, sondern der gesamte Zeitverlauf des einwirkenden Magnetfeldes erfasst, ist eine detaillierte Bewertung unter Berücksichtigung biophysikalischer Gegebenheiten möglich [1]. Da die für die Grenzwertgebung herangezogenen Stimulationsschwellen und die daraus abgeleiteten Grenz- und Referenzwerte frequenzabhängig sind und im Frequenzbereich mittels Butterworth Tief- und Hochpass-Charakteristiken dargestellt werden können, ist diese unter der Bezeichnung „Weighted Peak“-Methode (WPM) bekannte Bewertung sogar „on the fly“ möglich, d. h., durch Vorverzerrung des Messsignals durch ein entspre-

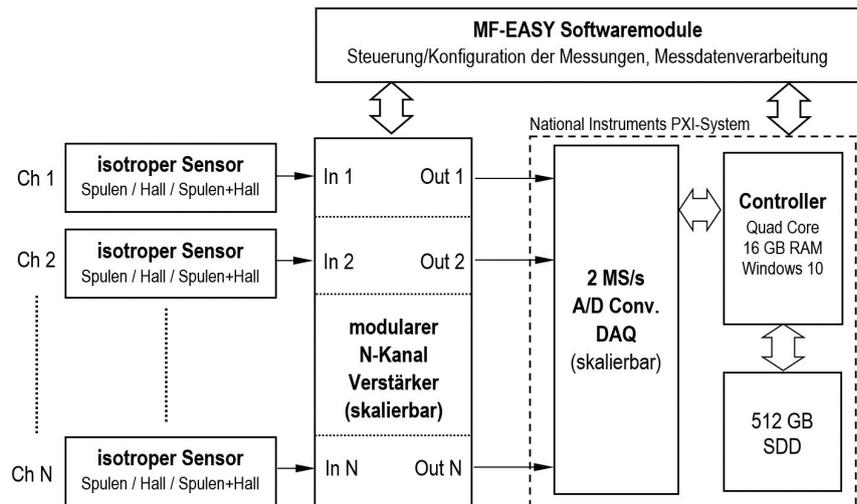


Abb. 1. Vereinfachtes Schema des flexiblen und skalierbaren Systemkonzepts von MF-EASY

chendes „Gewichtungs“-Filter. Der Frequenzgang dieses Filters muss lediglich reziprok zum Frequenzgang des Referenz- bzw. Grenzwertes sein. Der Spitzenwert eines auf diese Weise vorverzerrten Messsignals kann dann direkt in % des Referenz- bzw. Grenzwertes skaliert und zur Anzeige gebracht werden.

Auch bei EMVG-Problemen ist eine Magnetfeldmessung im Zeitbereich oft-



Abb. 2. Kombinierte isotrope Spulen- und Hallensoren mit 100 cm² (oben) und 3 cm² (Mitte) Spulenquerschnitt sowie isotroper Hallensensor (unten)

mals erforderlich bzw. hilfreich, da transiente Magnetfelder häufig Ursache für Störsignal-Einkopplungen und damit verbundene EMV-Probleme sind.

Gegenwärtige kommerziell erhältliche Magnetfeld-Messgeräte mit der Möglichkeit, die Zeitbereichsmessdaten der magnetischen Flussdichte aufzuzeichnen, bieten typischerweise einen einzigen isotropen Messkanal, d. h., das Messgerät liefert drei separate Messsignale, jeweils eines für jede Raumkomponente $B_x(t)$, $B_y(t)$, $B_z(t)$ des einwirkenden Magnetfeldvektors $B(t)$. Die drei Signale $B_x(t)$, $B_y(t)$, $B_z(t)$ können bei solchen Messgeräten typischerweise an entsprechenden Analogausgängen des Messgerätes abgegriffen und für die weitere Auswertung mittels eines zusätzlich zum Magnetfeld-Messgerät erforderlichen Speicheroszilloskops oder ähnlicher A/D-Wandlersysteme aufgezeichnet bzw. gespeichert werden.

In vielen Fällen in der Praxis ist jedoch ein einzelner isotroper Messkanal zu wenig, um eine spezielle Fragestellung effizient und hinreichend genau bearbeiten zu können. Beispielsweise ist für die Expositionsbewertung in räumlich nicht ho-

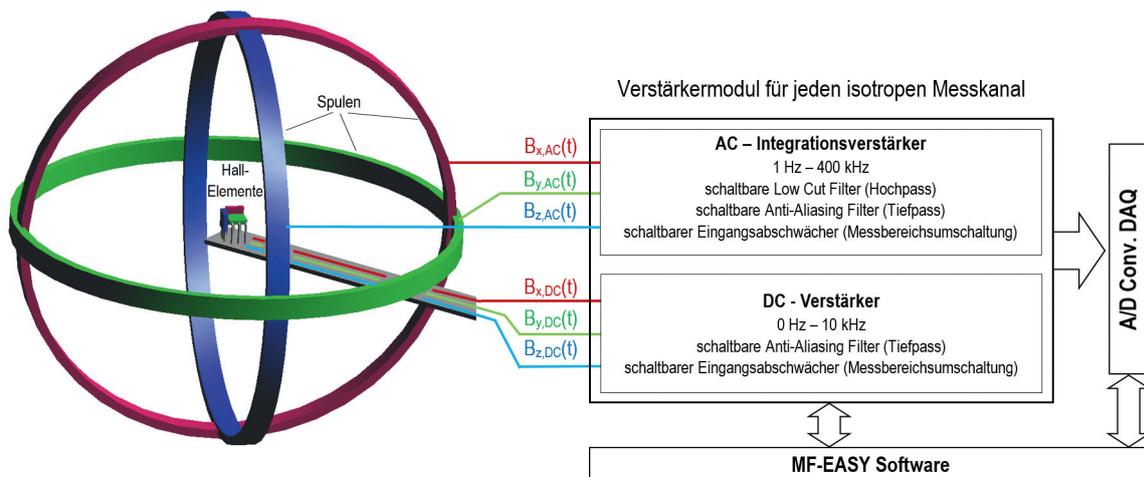


Abb. 3. Schema eines isotropen Messkanals in Form eines isotropen kombinierten Spulen- und Hallsensors (links) mit nachfolgendem Verstärkermodule (rechts), bestehend aus separatem 3-fach-Integrationsverstärker für den Spulensensor und 3-fach-Gleichspannungsverstärker für den Hallsensor; bei Ausführungsformen mit nur Spulen- oder nur Hallsensoren kann das Verstärkermodule nur mit Integrationsverstärker oder nur mit Gleichspannungsverstärker ausgeführt werden

mogenen Magnetfeldern naturgemäß die räumliche Verteilung des Magnetfeldes entlang des Körpers wesentlich aussagekräftiger als bloß der an einem (evtl. sogar nur zufällig gewählten) einzelnen Punkt gemessene Wert. Steht nur ein einzelner isotroper Messkanal zur Verfügung, bleibt in derartigen Fällen nur die Möglichkeit, zeitlich hintereinander, durch wiederholte Messungen, die magnetische Flussdichte entlang des betrachteten Messpunktgitters unter möglichst identischem Emissionsverhalten der Feldquelle zu messen. Hat man keine Kontrolle über das zeitliche

Emissionsverhalten der Quelle (zeitlich fluktuierende Magnetfeldverteilungen), kann bei dieser Messmethode überhaupt keine zuverlässige Aussage über die tatsächliche Magnetfeldverteilung getroffen werden.

Ähnlich stellt sich die Situation bei der Analyse von EMV-Problemen dar, bei denen in komplexen, räumlich verteilten Systemen (z. B. innerhalb eines Kraftfahrzeugs mit elektrischem Antriebssystem) Störungen auftreten, die von transienten magnetischen Störfeldern verursacht werden. Die Suche nach der Quelle des

Störfeldes bzw. nach dem Ort der Störkopplung ist in solchen Situationen mit einem einzigen isotropen Magnetfeld-Messkanal typischerweise sehr zeitaufwendig.

2. Flexibles und skalierbares Multikanal-Magnetfeldmess-System MF-EASY

Mit dem von Seibersdorf Laboratories neu entwickelten Mess-System MF-EASY sind Aufgabenstellungen wie die oben als Beispiele angeführten, zeit- und kosteneffizient zu bewerkstelligen. MF-EA-

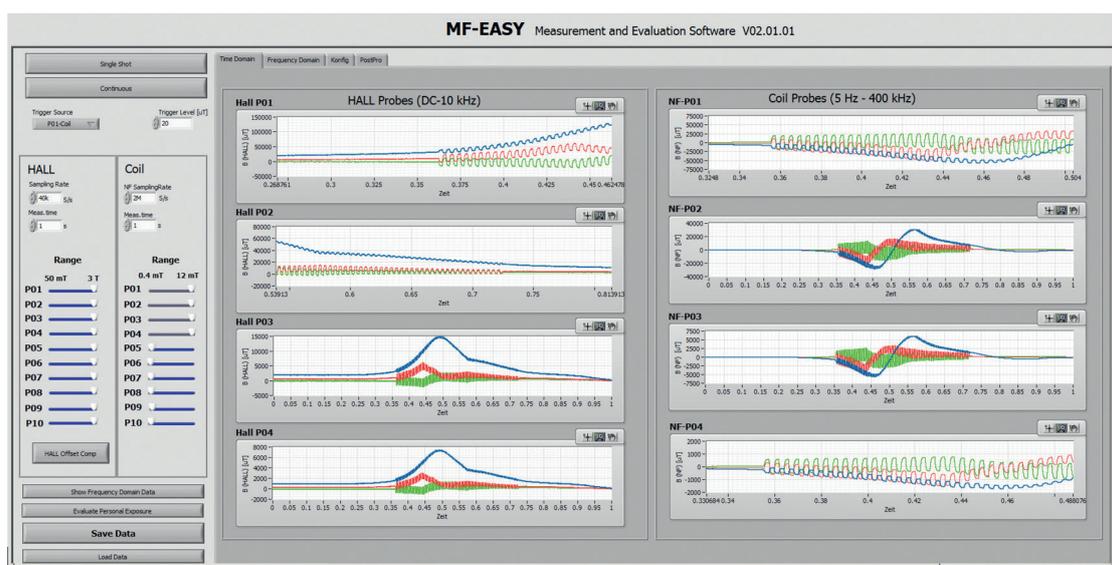


Abb. 4. Beispiel Screenshot der MF-EASY Messsoftware. Von den insgesamt zehn isotropen Kanälen sind nur vier (P01-P04) im Programmfenster in Form des Zeitverlaufs der magnetischen Flussdichte dargestellt. Linke Diagrammspalte: Messergebnis mit Hall-Sensoren, rechte Diagrammspalte: Messergebnis mit Spulensensoren. Die unterschiedlich farbigen Signalverläufe stellen jeweils x-, y- und z-Komponenten der gemessenen Magnetfeldvektoren dar

Tabelle 1. Die wichtigsten technischen Daten des MF-EASY

Frequenzbereich	
Spulensensoren	5 Hz – 400 kHz
Hall-Sensoren	0 Hz – 10 kHz
Dynamikbereich	
Spulensensoren 100 cm ²	< 100 nT ... 100 mT
Spulensensoren 20 cm ²	< 300 nT ... 200 mT
Spulensensoren 3 cm ²	< 1 µT ... 500 mT
Hall-Sensoren	< 20 µT ... 3 T
Software	LabView™-basiert
	konfigurierbares GUI
	Postprocessing Tools
	Weighted Peak Bewertung
	automatische Sensorerkennung
	automatische Offset- und Temperaturkomp. (Hall-Sensoren)
	Messdaten-Schnittstelle für weiterführende User Programmierung, direkt am Systemcontroller
Anzahl isotroper Messkanäle	beliebig erweiterbar

SY ermöglicht eine Multikanal-Messung von Magnetfeldern im Frequenzbereich 0 Hz – 400 kHz, wobei die Anzahl der verfügbaren isotropen Messkanäle je nach Bedarf skalierbar ist. Das Herzstück von MF-EASY ist ein bezüglich Hard- und Software flexibles und skalierbares Systemkonzept, das es erlaubt, jeweils ein für unterschiedlichste Problemstellungen maßgeschneidertes Messsystem zur Verfügung zu stellen. Abbildung 1 zeigt schematisch das Konzept von MF-EASY.

3. Unterschiedliche Sensortypen für vielseitige Anwendungen

Herkömmliche Magnetfeld-Messgeräte sind entweder mit Spulensensoren für die Messungen von Wechselfeldern (AC) ausgestattet oder mit Hallsensoren, die auch eine Messung von Gleichfeldern (DC) ermöglichen. Messungen von langsam zeitveränderlichen Magnetfeldern im Bereich von wenigen Hz mit Spulensensoren sind zwar grundsätzlich möglich, haben aber den Nachteil langer Einschwingzeiten des bei Spulensensoren immer notwendigen Integrationsverstärkers. Durch entsprechende (zuschaltbare) Cut-Off-Hochpassfilter können lange Einschwingzeiten zwar vermieden werden, allerdings kommt es dann bei der Messung von im-

pulsartigen Signalen vermehrt (je höher die Cut-Off-Frequenz gewählt wird) zur Verfälschung des tatsächlichen Zeitverlaufs des einwirkenden Magnetfeldes.

Eine Alternative zur Messung sehr niederfrequenter bzw. impulsartiger Magnetfelder bilden Hall-Sensoren, die jedoch zumeist nur bis maximal ca. 10 kHz einsetzbar sind. Mit MF-EASY können die Vorzüge von Spulen- und Hallsensoren vereint werden. Es sind dazu isotrope Spulensensoren mit unterschiedlichen Aufnehmerquerschnitten (standardmäßig 100 cm², 20 cm² oder 3 cm²) für Messungen bis 400 kHz, isotrope Hallsensoren (ca. 10 mm Außendurchmesser des Sensorkopfes) oder kombinierte, isozentrisch angeordnete isotrope Spulen- und Hallsensoren verfügbar (Abb. 2). Die letztgenannte Sensorvariante ermöglicht die simultane Spulensensor-basierte und Hallsensor-basierte Magnetfeldmessung, indem im Zentrum der drei orthogonal angeordneten Sensorspulen zur Messung von $B_{x,AC}(t)$, $B_{y,AC}(t)$ und $B_{z,AC}(t)$ bis 400 kHz zusätzlich ein zueinander orthogonal angeordnetes Triple von Hall-Elementen angeordnet ist, mit dem parallel die Messung von $B_{x,DC}(t)$, $B_{y,DC}(t)$ und $B_{z,DC}(t)$ bis 10 kHz erfolgt (Abb. 3). Auf diese Weise kann der Zeitverlauf von

beliebigen Magnetfeldern von 0 Hz bis 400 kHz ohne Kompromisse zuverlässig gemessen und analysiert werden.

4. Modulares und skalierbares Verstärkerkonzept

Jeder isotrope Sensor des MF-EASY liefert entweder drei (bei Spulen- oder Hall-basierten Sensortypen) oder sechs (bei kombinierten Spulen- und Hall-basierten Sensortypen) einzelne Messsignale, um den zu messenden Magnetfeldvektor vollständig zu charakterisieren. Diese Messsignale werden der modular konzipierten Verstärkereinheit des MF-EASY zugeführt, wo eine entsprechende Signalverstärkung erfolgt. Stufenweise schaltbare Tiefpassfilter sorgen für eine Begrenzung der höchsten Signalfrequenz, um Aliasing-Effekte bei der A/D-Wandlung zu vermeiden, und mittels schaltbarer Eingangsabschwächer werden, zur Erreichung der erforderlichen Messdynamik, unterschiedliche Messbereiche realisiert. Weiters sind stufenweise schaltbare Low-Cut-Filter am Eingang des AC-Integrationsverstärkers vorgesehen, um auch die untere Grenze des Messfrequenzbereiches anwendungsspezifisch festlegen zu können (Abb. 3). Durch das modulare Konzept von MF-EASY können, je nach Anzahl der benötigten isotropen Messkanäle, beliebig viele Verstärkermodule parallel betrieben werden. Bis zu zehn Verstärkermodule finden dabei in einem 19"-Rack mit 3 HE Platz. Bei mehr als zehn Verstärkermodulen (= isotropen Messkanälen) wird einfach eine neue 3-HE-19"-Zeile begonnen, d. h., 20 Verstärkermodule benötigen 6 HE in einem 19"-Rack.

5. A/D-Wandlung mit etablierter Hardware von National Instruments

Die von der MF-EASY-Verstärkereinheit aufbereiteten Messsignale werden schließlich mittels etablierter Analogsignal-Erfassungshardware aus der PXI-Produktfamilie von National Instruments mit konfigurierbarer Abtastrate bis zu 2 MS/s und 16-Bit-Auflösung digitalisiert und stehen danach für jede Art der unmittelbaren Weiterverarbeitung durch die in LabView™ entwickelte MF-EASY-Soft-

ware zur Verfügung. Alternativ können die Messdaten in digitaler Form selbstverständlich auch auf der System-Harddisk gespeichert und danach jeder beliebigen Form des Postprocessings zugeführt werden. Anwendungsspezifische Erweiterungen des PXI-Systems, um weitere Messgrößen parallel bzw. synchron zur Magnetfeldmessung erfassen zu können (z. B. CAN-Bus-Signale etc.) fügen sich damit nahtlos zum MF-EASY hinzu.

6. MF-EASY User Interface und Mess-Software

Konfiguration der Hardware und Ablaufsteuerung der Messungen erfolgt über die in LabView™ entwickelte MF-EASY-Software (Abb. 4). Messbereiche, Filter, Abstraten, Darstellungsart der Mess-

ergebnisse etc. sind über ein übersichtliches und selbsterklärendes grafisches Userinterface (GUI) einstellbar und damit an jede Messaufgabe optimal anpassbar. Zusätzlich stehen Auswertetools im Frequenzbereich und eine „On the fly“-Bewertung der Magnetfeldexposition basierend auf der Weighted-Peak-Methode (realisiert mittels digitaler Filter in der Messsoftware) für alle gängigen Grenzwerte zur Verfügung.

Eine automatische Sondenerkennung, Offset- und Temperaturkompensation der Hallsensoren sorgen für größtmöglichen Komfort und minimieren gleichzeitig das Risiko von Messfehlern. Zusätzlich stellt die MF-EASY-Software eine Schnittstelle für die Magnetfeldmessdaten zur Verfügung, so dass für den Benutzer

die Möglichkeit besteht, spezielle Auswerterroutinen direkt in LabView™ am Systemcontroller zu implementieren.

Tabelle 1 fasst die wichtigsten Spezifikationen von MF-EASY zusammen.

Literatur

- [1] Keller H.: The weighted peak method in the time domain compared with alternative methods for assessing LF electric and magnetic fields. Health Physics 113 (1) 2017: 54-65.

Autor

Dipl.-Ing. Gernot Schmid, Elektromagnetische Verträglichkeit, EMC & Optics, Seibersdorf Labor GmbH, 2444 Seibersdorf, Telefon +43 (50) 550 28 10, E-Mail: gernot.schmid@seibersdorf-laboratories.at, Internet: www.seibersdorf-laboratories.at

Verbesserung der EMV durch spezielle Software-Techniken

R. Grandits, P. Wratil

1. Motivation

Eine geeignete Implementierung von speziellen Software-Techniken hilft, EMV-Probleme zu erkennen und diese auch sicher zu beherrschen.

In diesem Beitrag werden drei typische Verfahren vorgestellt, in welcher Form Software-Techniken zum Einsatz kommen und einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der EMV bringen.

Grundlegend zur optimalen Implementierung von qualitativen Software- und Hardwarelösungen ist die Etablierung von unternehmensinternen Prozessen sowie geeigneten Entwicklungsprozessen. Zu diesem Thema wird im Artikel eine mögliche Prozessanleitung – vielleicht zum Selbstversuch – bereitgestellt.

2. Technische Herangehensweise

2.1 Technische Randbedingungen

Von den vielen Einsatzbereichen der Software zur Verbesserung der EMV werden hier nur einige Verfahren vorgestellt, die

sich auf die Anwendung von speicherprogrammierbaren Steuerungen oder Embedded-Systemen beziehen.

Abbildung 1 stellt eine typische Wirkkette für ein Steuerungs- oder Regelungssystem dar. Wie diese Abbildung zeigt, besteht das Steuerungs- oder Regelsystem aus einem Sensor, der die Eingangsdaten bereitstellt, der Logik, die alle Daten verarbeitet, und dem Aktuator, der letztlich die gewünschte Aktion ausführt.

Für die folgenden Beispiele sollen nur die Datenstrecke zwischen dem Sensor

und die Eingangsschaltung der Logik betrachtet werden. Sie können durch elektromagnetische Einflüsse teilweise massiven Störungen ausgesetzt sein.

2.2 Verarbeitung digitaler Eingangsgrößen

Ein Großteil der verwendeten Sensoren nach Abb. 1 stellen digitale Signale zur Verfügung. Diese sind den logischen Pegeln nach in der Norm DIN EN 61131 [5] festgelegt. Hierbei wird ein logischer 1-Pegel bei Spannungen über 15 Volt und ein logischer 0-Pegel bei Spannungen un-

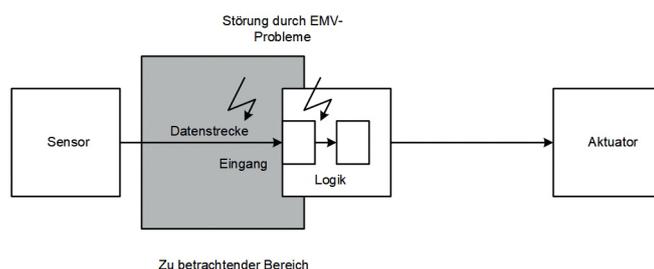


Abb. 1. Wirkkette einer regelnden oder steuernden Einheit