

AKTIVE KOMPENSATION NIEDERFREQUENTER MAGNETISCHER FELDER

R. Fleischer¹, L. Herrmann¹, R. Schüler²

¹FB-Medizintechnik, Fachhochschule Jena, Deutschland

²BioMed Jena GmbH

RolandFleischer@web.de

Abstract—On the one hand magnetic fields caused by technical sources and apparatus of our everyday life are pervasive. On the other hand in medicine magnetic fields emitted by structures of the human body are an important physical property for diagnostics. The problem is that the intensity of biomagnetic fields is dimensions less than the intensity of the technical ones. Further the frequency range of both field sources is equivalent. Thus there are enormous efforts to shield equipment of diagnostics from disturbing technical fields. Especially this noise of frequencies below 10Hz is difficult to handle. The aim of this study was to examine the possibility of an active compensation of magnetic fields. The attenuation was realized both analogous and digital in a frequency range below 10Hz.

Keywords—magnetic field, active shielding, digital, fluxgate, MEG / MCG

Einleitung

Gegenüber elektrischen weisen magnetische Diagnoseverfahren aus physikalischen Gründen den Vorteil einer unverfälschten Quellendarstellung auf. Außerdem erfolgen die Ableitungen am Patienten berührungslos, was sicherheitstechnisch unbedenklicher ist. Deshalb haben sich in der Medizin Methoden wie z.B. Magneto-Cardio-Graphie (MCG) und Magneto-Encephalo-Graphie (MEG) etabliert. Das Problem ist aber die geringe Intensität dieser Magnetfeldquellen. Felder, die durch technische Quellen verursacht werden, sind in jedem Fall vielfach stärker und befinden sich im etwa gleichen Frequenzbereich. Diese technischen Felder abzuschirmen erfordert zudem enormen Aufwand.

Aus diesem Grund wurden, im Rahmen einer Diplomarbeit, Anordnungen zur aktiven Kompensation von Magnetfeldern im Frequenzbereich unter 10 Hz untersucht.

Methoden

Kompensationsspulen: Zur Untersuchung des Problems wurde ein würfelförmiger Raum mit der Kantenlänge 0,7m definiert. In der Art einer 3-dimensionalen Anordnung von Helmholtzspulen, wurden entlang der Kanten dieses Raumes Kompensationsspulen angebracht. Es ergeben sich demnach 3 recht-eckförmige Spulenpaare. Der Abstand zwischen 2 Spulen eines dieser Paare ist dabei gleich der Kantenlänge des zuvor festgelegten Raumes. In Abb.1 ist dies beispielhaft für ein Spulenpaar (schwarz markiert)

dargestellt. Die sich durch die Spulenform ergebende Verteilung der

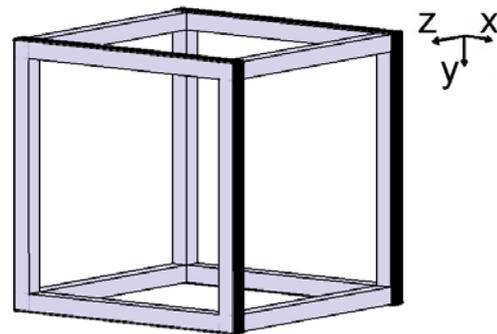


Abbildung 1: Raum mit einem Paar Kompensationsspulen

Flussdichtekomponente B in z -Richtung (B_z) kann mit Hilfe des in [1] beschriebenen Gleichungssystems berechnet werden. In der xz -Ebene nach Abb.1 ergibt sich, in der Ebene durch den Schwerpunkt (Koordinatenursprung), B_z in Abhängigkeit der Raumkoordinaten (x,y,z) wie in Abb.2. gezeigt.

Die Spulenanordnung entlang der drei Raumachsen wird dazu genutzt, um ein von außen eindringendes Störmagnetfeld zu kompensieren.

(Nach Abb.1 wird die Störfeldkomponente mit dem abgebildeten Spulenpaar entlang der z -Achse gedämpft.)

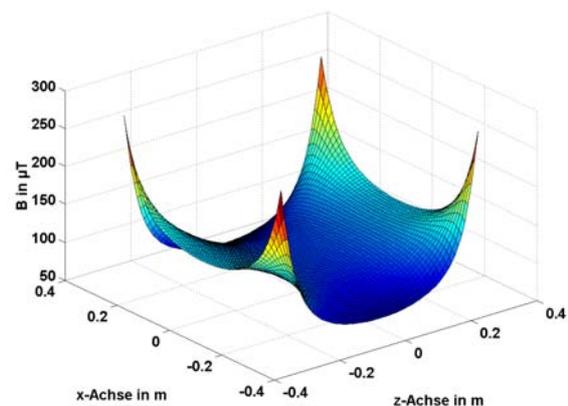


Abbildung 2: Feld B_z in xz -Ebene

Um dies zu erreichen wurde jedes der drei Spulenpaare in einen eigenen Regelkreis eingebunden.

Signalgewinnung: Im Spulninneren wurde je Raumrichtung ein Fluxgatesensor positioniert mit dem die Störgröße permanent erfasst wird. Dieses gemessene Sensorsignal wird hiernach mittels Butterworth Tiefpass gefiltert. Die Grenzfrequenz des Filters beträgt dabei 10Hz und die Filtersteilheit -40dB pro Frequenzdekade. [2]

Regelung: Nach der Filterung wird das Störsignal einem PID-Regler zugeführt, welcher eine entsprechende Stellgröße generiert. [3]

Aus Vergleichsgründen wurden parallel zwei Regler realisiert, wovon der eine als analoge Schaltung und der andere digital aufgebaut wurde. Vorteilhaft bei einer digitalen Regelung ist die Möglichkeit eine Vielzahl von Algorithmen ausprobieren zu können.

Zum Aufbau des digitalen Reglers wurde eine 16 Bit-Wandlerkarte NI PCI-6014 der Firma National Instruments verwendet. Der Regelalgorithmus wurde über die Software LabView 5.1 implementiert.

Zur Bewertung der zur Kompensation notwendigen Auflösung, wurde das Programm so eingerichtet, dass auch geringere Auflösungen simuliert werden konnten.

Um ein einzelnes Spulenpaar betreiben zu können, wurde eine spannungsgesteuerte Stromquelle verwendet. Die durch den Regler erzeugte Stellgröße am Eingang dieser Stromquelle erzeugt an deren Ausgang einen zur Eingangsspannung proportionalen Strom. [2]

Dieser durch ein Spulenpaar fließende Strom baut wiederum das zur Magnetfeldkompensation benötigte äquivalente Gegenfeld auf.

Ergebnisse

In Abb.3 sind die Dämpfungsverläufe dargestellt, die bei der analogen Regelung und der digitalen 16 Bit Regelung erreicht werden. Die Position des zur Regelung verwendeten Referenzsensors – dem Fluxgate-Magnetometer - liegt im Schwerpunkt des in Abb.1 gezeigten Würfels.

Neben diesen beiden Dämpfungskurven ist eine dritte eingezeichnet, die sich auf die digitale Regelung mit nur 12 Bit Auflösung bezieht.

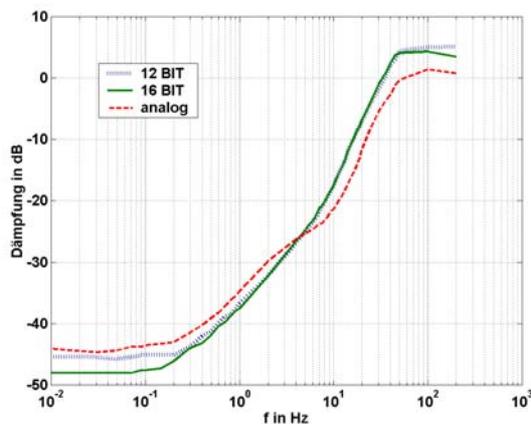


Abbildung 3: Dämpfungsverhalten

Im Frequenzbereich von 10mHz bis 0,1Hz beträgt die Felddämpfung mit der 16 Bit Regelung 48dB und bei 12

Bit noch 45,4dB. Analog geregelt werden 44,6dB erreicht. Im Bereich bis 10Hz werden im Digitalen Dämpfungen von mindestens 17,5dB erreicht und im Analogen sogar 21,4dB.

In den Versuchen wurden weitere Auflösungen von 8 bis 16 Bit getestet. Grundsätzlich kann behauptet werden, dass je schlechter die Auflösung, desto schlechter auch die Regelung. Aber ab einer bestimmten Auflösung (13 Bit) trat eine Art Sättigung ein. Trotz weiterer Erhöhung der Wortbreite konnte keine Verbesserung bei der Felddämpfung festgestellt werden.

Der nächste Schritt ist, den Referenzsensor aus dem Spulninneren herauszunehmen. Obwohl nicht die selben Werte für die Dämpfung erreicht wurden, waren erste Versuche vielversprechend.

Diskussion

Es hat sich gezeigt, dass im Frequenzbereich unter 100mHz Felddämpfungen von mindestens 45dB erreicht werden können. Es ist dabei nicht notwendig, die Regelung gänzlich analog auszuführen, da mit herkömmlichen Mitteln das gleiche Ziel auch im Digitalen erreicht werden kann.

Die aktive Magnetfeldkompensation bietet somit eine Möglichkeit, in schwierig schirmbaren Frequenzbereichen, die durch Messaufgaben gestellten Anforderungen adäquat zu lösen.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Methoden, also der Nutzung hochpermeabler schwerer Metallschilde, ist eine Spulenordnung überall und jederzeit installierbar und bietet deshalb eine flexible Alternative zur Abschirmung störender Magnetfelder.

Literatur

- [1] Martin Misakian, "Equations for the Magnetic Field Produced by One or More Rectangular Loops of Wire in the Same Plane", Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Volume 105, Number 4, July / August 2000
- [2] U. Tietze, Ch. Schenk „Halbleiter Schaltungstechnik“, 11. Auflage, Springer, 1999
- [3] Mann, Schiffelgen, Froriep „Einführung in die Regelungstechnik“, 9. Auflage, Hanser, 2002/2003