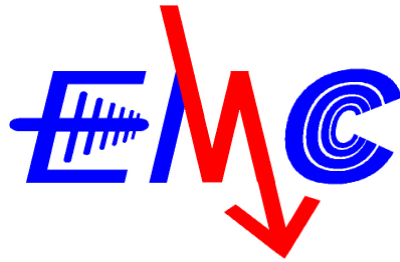


TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg



Diplomarbeit

Entwicklung einer 6-Kanal-Feldsonde mit faseroptischem Anschluss zur vektoriellen Messung elektromagnetischer Felder

von
Stefan Hübner

Technische Universität Hamburg-Harburg
Institut für Messtechnik / EMV

Prof. Dr.-Ing. J.L. ter Haseborg
Betreuer: Kai Haake

Februar 2008

Zusammenfassung

Gegenstand der vorliegenden Diplomarbeit ist die Entwicklung und der Aufbau eines Messgerätes zur Messung von Amplitude und Phase elektromagnetischer Felder.

Gemäß den Anforderungen wurde ein System in Hard- und Software realisiert, das die computergestützte Messung von Signalen in einem Frequenzbereich von 100kHz bis 100MHz ermöglicht. Als Signalquelle steht dabei ein integrierter Synthesegenerator zur Verfügung, es kann aber – mit eingeschränktem Frequenzbereich – auch ein externer Generator zur Synchronisation herangezogen und so Messungen mit vorhandenen Netzwerkanalysatoren durchgeführt werden.

In dieser Betriebsart folgt der eingebaute Synthesizer daher in Frequenz, Pegel Amplitude und Phase dem vom Messkopf erfassten Signal. Die Zuführung der Messsignale erfolgt am abgesetzten, akkubetriebenen Messkopf, der über 6 SMA-Buchsen zur Aufnahme von Leitungen oder Antennen verfügt. Um Beeinflussungen der Messung zu minimieren erfolgt die Übertragung von Referenz-, Daten- und Steuersignalen vollständig optisch über handelsübliche Duplex-Glasfaserkabel aus der Datenverarbeitungstechnik.

Das Gerät soll im Institut für Messtechnik und Elektromagnetische Verträglichkeit der Technischen Universität Hamburg-Harburg zur Erfassung komplexer Feldgrößen in der institutseigenen GTEM-Messzelle eingesetzt werden. Zur Steuerung und Auswertung steht eine serielle Schnittstelle zur Verfügung, ausserdem wurde eine Beispielapplikation mit grafischer Oberfläche in der Sprache Tcl/Tk erstellt.

In den abschliessenden Tests wurde zunächst mittels eines kommerziellen Netzwerkanalysators (Rohde & Schwarz Modell ZVB8) die Genauigkeit, mit der der Aufbau einer externen Referenz zu folgen vermag, geprüft. Anschliessend wurde als Messobjekt ein Meter hochwertiger Messleitung zunächst mit dem hier beschriebenen Gerät und anschließend mit einem Netzwerkanalysator Typ Rohde & Schwarz ZVCE vermessen.

3 Anforderungen

In diesem Abschnitt sollen die Anforderungen funktioneller Art, die sich aus dem in der Einleitung beschriebenen Einsatzgebiet ergeben, näher beschrieben werden. Dies erfolgt nach einer Darstellung des Gesamtsystems in Funktionseinheiten getrennt.

3.1 Gesamtsystem

Für die computergestützte, vektorielle Messung elektrischer Signale in einem Umfeld wie dem Innenraum einer GTEM-Zelle ergeben sich folgende grundlegende Anforderungen:

- Das System muss über einen durch eine dielektrische Verbindung von der Erfassungseinheit (im Folgenden Basisgerät) getrennten Aufnehmer (Messkopf) verfügen
- Der Messkopf muss im Betrieb aus Akkumulatoren versorgt werden
- Zur Steuerung und Auswertung muss eine Schnittstelle zu einem PC bereitstehen
- Es muss ein Eingang für ein externes Referenzsignal vorhanden sein
- Über einen Ausgang wird wahlweise das synthetisierte Signal am Ort der Messung (Tracking-Betrieb) oder das in Frequenz und Pegel programmierbare Signal zur Anregung des Messobjektes (eigenständiger Betrieb) ausgegeben
- Der Messkopf muss über 6 einzeln anwählbare Eingänge für Antennen o.ä. verfügen
- Das zugeführte Signal muss komplexwertig gemessen werden

3.2 Hardware

Aus den vorgenannten Forderungen lassen sich direkt die für die Entwicklung der Hardware maßgeblichen Kriterien ableiten:

- Das System muss über einen Frequenzsynthesizer verfügen, der sowohl eigenständig (hier in einem Frequenzbereich von 100kHz bis 100MHz) arbeitet als auch durch ein externes Signal (im Bereich von 2..100MHz) synchronisiert werden kann
- Der Pegel am Ausgang muss im Bereich von -60..+10dBm einstellbar sein
- Die Phase des Ausgangssignals muss im Trackingbetrieb gegenüber dem Signal am Referenzeingang im gesamten Bereich von 0..360° verschoben werden können
- Sämtliche zuvor genannten Funktionen müssen durch die Software des Basisgerätes festgelegt werden können
- Eine Verbindung der Geräte mittels Duplex-Glasfaser-Lichtwellenleiter erfüllt die Anforderungen an eine dielektrische Anbindung und muss das Referenzsignal mit hohem zeitlichen Determinismus sowie die Information zur Auswahl des jeweiligen Eingangs vom Basisgerät zum Messkopf übertragen, während die andere Richtung für die Messdaten zur Verfügung steht
- Durch geeignete Aufbereitung und Verarbeitung des Referenzsignals muss eine Messung des Real- und Imaginäranteils der Signalspannung ermöglicht werden
- Der Messkopf soll über eine eingebaute Ladeschaltung für die enthaltenen Akkumulatoren verfügen, um ein geschlossenes Abschirmgehäuse zu erlauben
- Ferner soll für alle Signalanschlüsse die Forderung nach einer Impedanz von 50Ω gestellt werden
- Ein LC-Display soll im Messbetrieb die wichtigsten Daten visualisieren

3.3 Software

Die meisten Anforderungen an die Softwarebestandteile ergeben sich direkt aus der Realisierung der Hardware, die größtenteils aus hochintegrierten Bausteinen mit Schnittstellen zum Anschluss an Microcontrollersysteme verfügen. Die Software muss folgende Aspekte erfüllen:

- Initialisierung der und Kommunikation mit den verwendeten Bausteinen
- Kommunikation mit einem PC einschließlich Interpretation von Steuerbefehlen und Ausgabe von Zustandsmeldungen und Messdaten
- Realisierung einer sicheren Datenübertragung vom und zum Messkopf durch Plausibilitätsprüfung der durch das Basisgerät empfangenen Daten
- Implementierung eines Software-Reglers für die Akkuladung mit Überwachung des Ladezustandes

Eine detailliertere Beschreibung der Anforderungen ergibt sich aus den Ausführungen zur Realisierung in Abschnitt 4.5. Die Programme für die eingesetzten AVR-Microcontroller (*ATmega*, Fa. Atmel) wurden in C geschrieben und mit dem freien Compiler *gcc* übersetzt, während das beispielhafte grafische PC-Frontend zur Steuerung in Tcl/Tk programmiert wurde und unter Windows z.B. mit dem freien *ActiveTcl* ausgeführt werden kann.

4. Realisierung

Die konsequente Umsetzung der zuvor gestellten Anforderungen unter Verwendung moderner integrierter Schaltungen, deren Einsatz größtenteils auf Applikationsschriften der jeweiligen Hersteller basiert, soll im Folgenden detailliert dargelegt werden. Zunächst wird anhand eines Blockschaltbildes das Gesamtsystem, die Besonderheiten bei der optischen Signalübertragung und nach einem kurzen Überblick über die Möglichkeiten das verwendete Messverfahren beschrieben. Im Anschluss folgt dann die schaltungs- und softwaretechnische Realisierung.

4.1 Übersicht

1. Basisgerät

Einen Überblick über den Aufbau des Prototypen gibt das nachfolgende Foto.

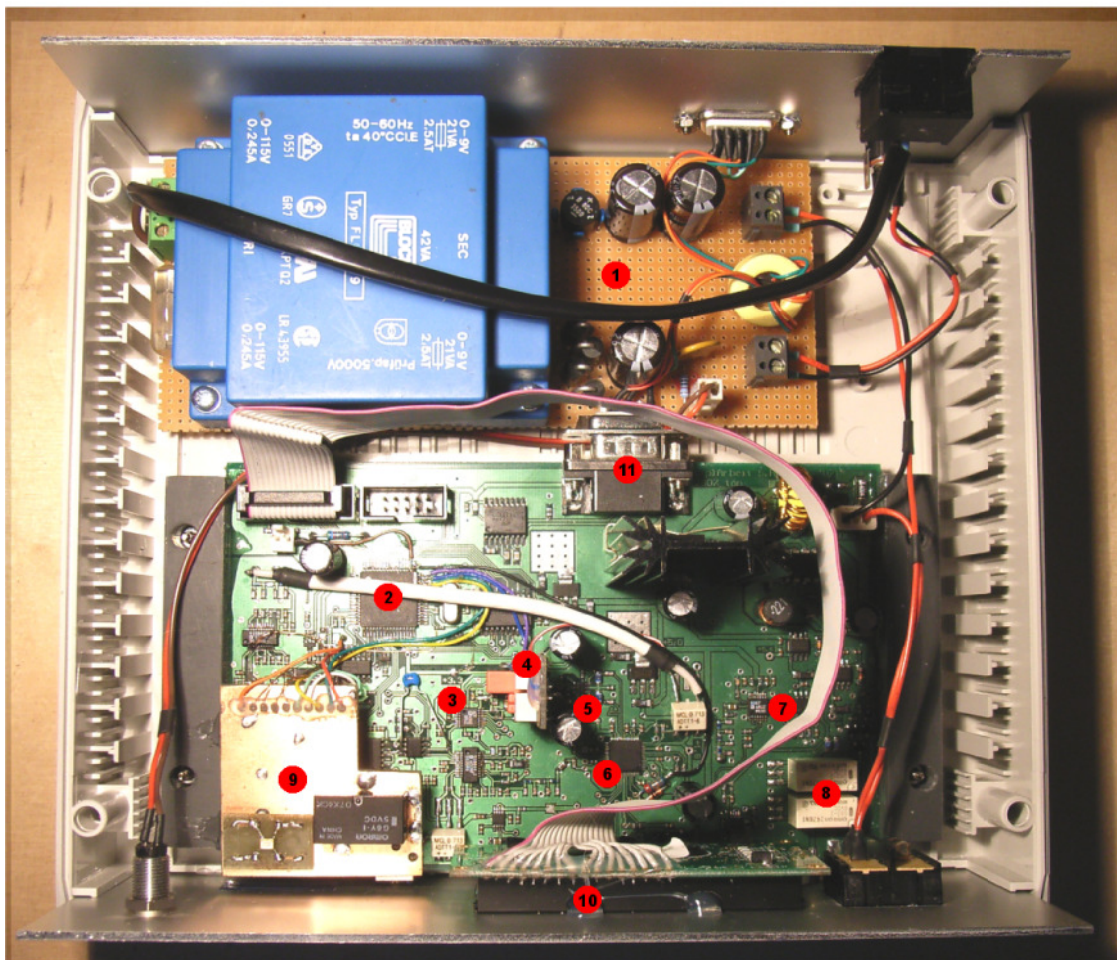


Abbildung 16: Innenansicht Basisgerät

1: Netzteil, 2: Microcontroller, 3: PLL, 4: Schleifenfilter, 5: VCO, 6: DDS, 7: Pegelregler f. Syntheseausgang, 8: Abschwächer, 9: Modulatorplatine mit Referenzoszillator, darunter der GBIC, 10: LC-Display, 11: RS232-Anschluss

logarithmischer Detektor in Verbindung mit einem PI-Regler ermöglicht die Regelung des Ausgangspegels auf einen durch den D/A-Umsetzer vorgegebenen Sollwert.

Damit der Synthesizer auf die jeweilige Referenzfrequenz programmiert werden kann, wird diese durch einen um einen externen Vorteiler erweiterten Timer des μC kontinuierlich gezählt. Zur Überwachung wird der Pegel des Signals außerdem mittels eines weiteren logarithmischen Detektors gemessen und über einen Analogeingang dem A/D-Umsetzer des μC zugeführt. Ein weiterer Analogeingang ist mit dem Lock-Detektor der PLL-Schaltung verbunden und ermöglicht so zu erkennen, wenn die PLL auf das Referenzsignal eingetretet ist.

Die vom Messkopf gelieferten modulierten Daten werden durch den Empfängerbaustein im GBIC aufbereitet zur Demodulation einem Tiefpass mit nachgeschaltetem Schmitt-Trigger und anschließend einer der im μC integrierten seriellen Sende-/Empfangseinrichtungen (*UART*) zugeführt. Der zweite *UART* dient nach geeigneter Pegelwandlung der Kommunikation mit dem angeschlossenen PC per serieller Schnittstelle (*RS232C*).

Neben der direkten Steuerung verschiedener Funktionen mittels einzelner Port-Anschlüsse des μC , über die im übrigen auch das LC-Display mit dem Controller verbunden ist, existiert eine serielle Schnittstelle (*SPI*), die hier zur Kommunikation mit den höherintegrierten Schaltkreisen PLL, DDS und D/A-Umsetzer dient.

2. Messkopf

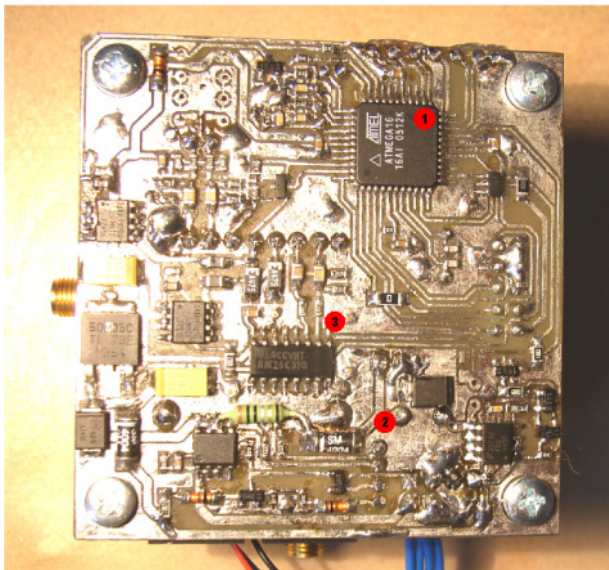


Abbildung 18: Controllerplatine

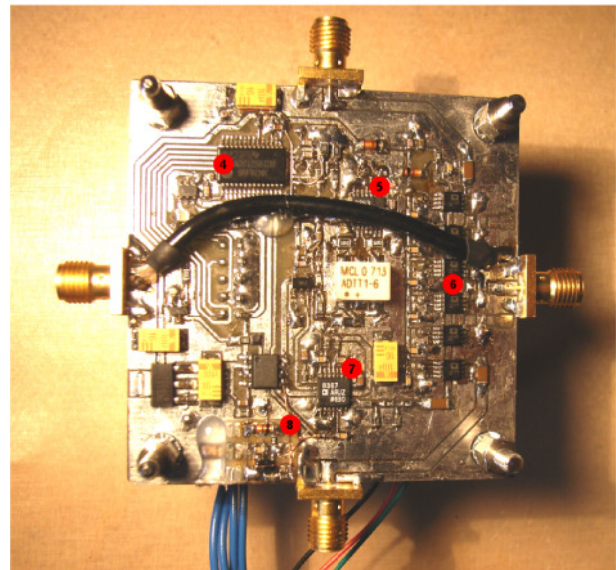


Abbildung 19: Signalplatine

1: Microcontroller, 2: Ladeschaltung, 3: Pegelwandler für Sendedaten, Rückseite: GBIC,
4: A/D-Umsetzer, 5: Mischer/Synchrondetektor, 6: Eingangsumschalter, 7: AGC-Schaltung,
8: Klemmschaltung für AGC-Regelspannung

Beim vorliegenden Prototypen sind z.Zt. nur die Buchsen für die Eingänge 1,3,4 und 6 bestückt. Die Buchsen für Kanal 2 und 5 werden über Koaxialkabel mit der Signalplatine verbunden und mit dem Abschirmgehäuse verschraubt.

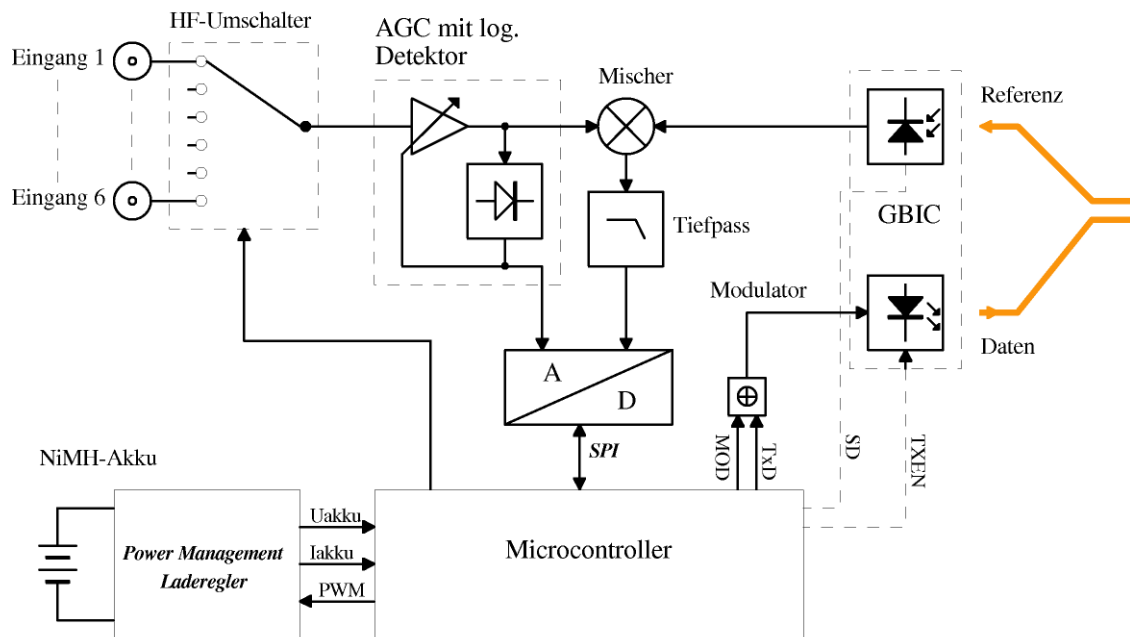


Abbildung 20: Blockschaltbild des Messkopfes

Der Messkopf verfügt den Anforderungen entsprechend über 6 SMA-Buchsen, von denen durch den Microcontroller (μC) jeweils eine zur Zeit ausgewählt und mit der Messschaltung verbunden werden kann. Das zugeführte Signal wird zunächst mit Hilfe einer automatischen Verstärkungsregelung (AGC), bestehend aus einem spannungsgesteuerten Verstärker und einem logarithmischen Detektor, auf einen einheitlichen Pegel, maximal jedoch um 45dB, verstärkt. Das erreichte Maß der Verstärkung wird mit einem Kanal des A/D-Umsetzers durch den μC festgestellt. Das so verstärkte Signal gelangt dann in einen HF-Mischer, in dem es mit dem vom Basisgerät generierten und durch den GBIC opto-elektrisch gewandelten Referenzsignal einer Form der Multiplikation unterzogen wird. Dieser *direct conversion* genannte Vorgang hat zwei Mischprodukte zur Folge, von denen eines eine Gleichspannung ist, die im nachfolgenden Tiefpass abgetrennt und ebenfalls durch den A/D-Umsetzer für den μC aufbereitet wird. Die nach einem kompletten Messzyklus bereit stehenden Messwerte werden vom μC seriell ausgegeben und mittels eines Exklusiv-ODER-Gatters mit einem Trägersignal moduliert dem Sendeteil des GBIC zugeführt. Aus Energiespargründen wird die Sendediode des GBIC mittels der Leitung *TXEN* nur während der Datenübertragung aktiviert, während das Signal *SD* dem μC ermöglicht, gezielt einzelne Baugruppen abzuschalten, wenn das Basisgerät dies durch Abschalten seiner Sendediode signalisiert.

Der Akkustand wird fortwährend durch den im μC integrierten A/D-Umsetzer überwacht und ebenfalls an das Basisgerät kommuniziert. Während des Ladevorgangs misst der μC außerdem den Ladestrom, um diesen durch entsprechende Anpassung des PWM-Signals mittels eines in Software realisierten PI-Reglers zu regeln.