

Ratiometer, Konzept und Realisierung einer Auswerteelektronik für ein Laser-Interferometer

Peter von Walter, Physikalisches Institut der Universität Heidelberg
Kai-Martin Knaak, Physikalisches Institut der Universität Mainz

EINLEITUNG

Zur genauen Bestimmung der Ionengeschwindigkeit im ESR-Speicherring (GSI) wird ein neuartiges Messsystem aufgebaut. Die zugrundeliegende Messaufgabe, das gewählte Messprinzip und die Realisierung eines Gerätes zur hochgenauen Bestimmung eines Frequenzverhältnisses wird vorgestellt. Die Funktionsweise der Schaltung sowie einige Ergebnisse werden erläutert.

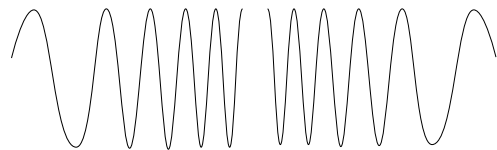
1. MESSAUFGABE

- Die eigentliche (physikalische) Fragestellung bezieht sich auf die genaue Kenntnis der Geschwindigkeit von Ionen im ESR-Speicherring
- Durch Elektronenkühlung werden die Ionen auf die gleiche Geschwindigkeit von mitfliegenden Elektronen gebracht. Die Geschwindigkeit der Elektronen ist durch die angelegte Hochspannung bestimmt.
- Die Messung der Hochspannung (ca. 300kV) mit konventionellen Methoden (Voltmeter) führt durch die Ungenauigkeit der relativ hohen Teilerwiderstände und durch Einflüsse von Kriechströmen zu Ungenauigkeiten im 10V Bereich.
- Durch einen neuen Ansatz soll die Hochspannung im Voltbereich (10^{-5} .. 10^{-6}) genau gemessen werden. Zu diesem Zweck werden in einem separaten Zweig Ionen durch die selbe Hochspannung beschleunigt. Die Endgeschwindigkeit der Ionen ist ein Maß für die Hochspannung.
- Die Ionen geraten durch Anregung mit einer bestimmten Laserfrequenz in Fluoreszenz. Der Dopplereffekt bei sich bewegenden Ionen und damit die geänderte Laserfrequenz ist somit ein Maß für die Geschwindigkeit der Ionen.
- Die Messung der Laserfrequenz erfolgt in einem Wavemeter, wobei die sich hier ergebenden Frequenzen durch die beschriebene Elektronik (Ratiometer) ausgewertet werden.

2. MESSPRINZIP WAVEMETER

Durch einen sich bewegenden Spiegel wird der Messlaser sowie ein Referenzlaser jeweils mit sich in Interferenz gebracht und das sich zeitlich ändernde Referenzmuster über Photodioden ausgewertet. Das Verhältnis dieser beiden Frequenzen erlaubt damit die Bestimmung der Laserfrequenz. Die geforderte Genauigkeit liegt bei etwa 10^{-8} .

Bei einer Laserfrequenz von ca. 852nm und einer Hublänge von 10cm werden ca. $5 \cdot 10^5$ Fringes gesehen. Bei einer Messdauer von ca. 1sec werden damit Frequenzen bis zu 1Mhz erzeugt. Ein einfaches Auszählen der Frequenzen mit ganzen Perioden (± 1) führt damit aber nur zu einer Genauigkeit von ca. 10^{-5} . Es ist folglich notwendig auch die Phasenlage der beiden Frequenzen zueinander zu bestimmen und auszuwerten (Bild 1).



3. MESSPRINZIP RATIOMETER

Das gewählte Messprinzip berücksichtigt die Tatsache, daß die beiden (unterschiedlichen) Frequenzen gegeneinander laufen und somit mit ausreichender Wahrscheinlichkeit innerhalb kurzer Zeit eine Phasenkoinzidenz (gleiche Phasenlage) auftritt. Diese Koinzidenz wird mit hoher Genauigkeit über einen ADC ermittelt. Der Zählvorgang für beide Frequenzen wird in diesem Moment gestartet und in der gleichen Weise am Ende des Messvorgangs wieder gestoppt. Auf diese Weise ist das Verhältnis der beiden Frequenzen zueinander immer geradzahlig. Der große Vorteil dieser Messmethode liegt auch darin, daß keine weitere Referenz (wie z.B. bei Zeitmessungen) benötigt und der Messvorgang von den absoluten Frequenzen (und damit auch von deren Schwankungen) unabhängig wird.

4. REALISIERUNG

Das Blockschaltbild (Bild 2) zeigt die einzelnen Komponenten des Ratiometers.

Über einen Komparator wird aus dem REF-Signal die Clock für das System gebildet. Diese Clock liefert den Abtastzeitpunkt für den ADC, an dessen Eingang direkt das MES-Signal liegt. Auch das MES-Signal wird noch über einen Komparator digitalisiert und ausgezählt.

In einen hochkomplexen PLD Baustein werden alle notwendigen Zähler, wie insbesondere für REF und MES mit jeweils 24 Bit, sowie die Ablaufsteuerung für den Messvorgang realisiert (Bild 3).

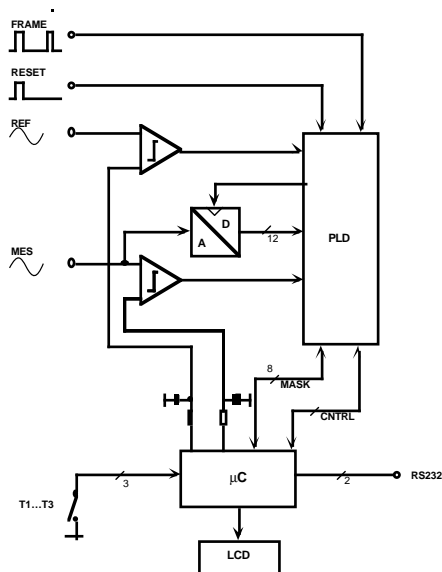


Bild 2: Blockschaltbild Ratiometer

Ein Microcontroller übernimmt die globale Steuerung der Elektronik und erlaubt so die Bedienung über Tasten, die lokale Auslese über ein LCD-Display sowie die allgemeine Steuerung des gesamten Systems über die serielle Schnittstelle (RS232).

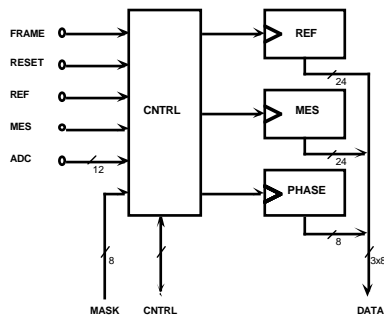


Bild 3: Blockschaltbild CPLD

5. FUNKTIONSABLAUF

Die Ablaufsteuerung im CPLD wird im wesentlichen über eine State-Machine (Bild 4) definiert, die schließlich mit allen logischen Funktionen über eine Hardware-Beschreibungssprache (ABEL) festgelegt und nach dem Übersetzen in den Baustein geladen wird.

Der Messvorgang synchronisiert sich über zwei externe Signale (RES, FRAME) aus einer Lichtschrankenordnung. Das Signal FRAME bestimmt wann nach der Koizidenz gesucht wird und wann der eigentliche Zählvorgang abläuft.

Normalerweise wird bei Koizidenz der rechte Messzweig durchlaufen. Falls jedoch die beiden Frequenzen zufällig in einem geradzahigen Vielfachen zueinander stehen (und u.U. keine Koizidenz gefunden werden kann), wird die Suche abgebrochen und einfach der nächste folgende Nulldurchgang als Koizidenz gewertet.

Falls in der Messfolge ein Fehler auftritt, (z.B. Koizidenz am Anfang aber nicht am Ende der Messung) wird ein entsprechender Fehlercode abgespeichert.

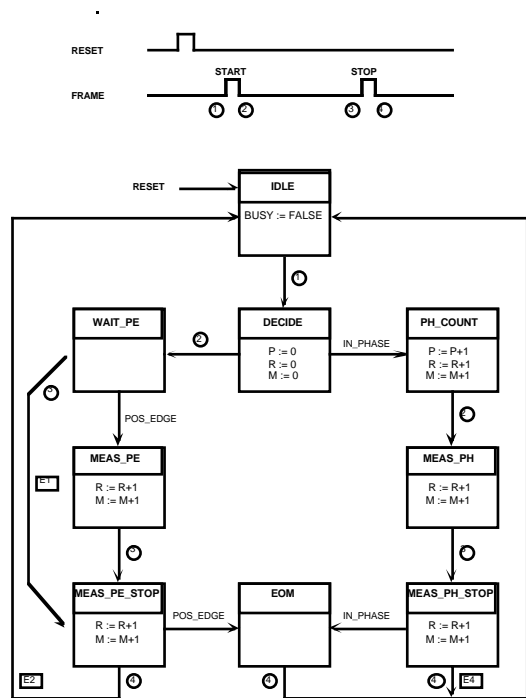


Bild 4: Funktionsablauf über State-Diagramm

6. AUFBAU

Durch die Verwendung von wenigen hochintegrierten Bausteinen konnte das Gerät sehr kompakt aufgebaut werden. Die Platine (Bild 5) trägt ein Standard-Controller-Modul (80C535) sowie den CPLD (Lattice 10E48) und einen 12-Bit, 1.25MHz ADC (AD1671).

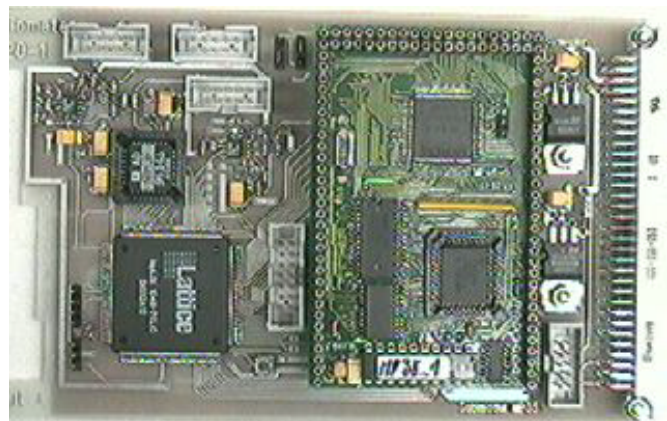


Bild 5: Ratiometer

Bild 6 zeigt die Frontansicht des Gerätes mit dem LCD-Display und den Tasten zur Bedienung. Die Buchsen dienen zum Anschluß der Photodioden sowie der Lichtschranke.



Bild 6: Ratiometer Front

Über die serielle Schnittstelle (9600 Baud) kann ein externer Rechner das Gerät in allen Belangen steuern sowie alle Rohdaten (Zähler) oder lokal verarbeitete Daten auslesen. Der im folgenden Bild 7 gezeigt Terminalausdruck zeigt die Kommandos, durch die das Gerät gesteuert werden kann.

```

ä
-----
Ratiometer:  A320 vw080797
Physik.Inst., Uni HD: vWalter
-----
?           Help (this screen!)
A/a        get F&R&P&E sync/imm.
W/w        get Wavelength=v*Ratio c/s
V/v        get Ratio(F/R) c/s
F/f        get Frq count c/s
R/r        get Ref count c/s
P/p        get Phase counts c/s
E/e        get Error c/s
Gn/g       set/get Ref threshold
Hn/h       set/get Frq threshold
Kn/k       set/get Mask
U/u        set/get WLC
S/s        get State/get Busy
C/c        Stop/Continue Measurement
D p,text/d Disp.text<CR>ßp/Get Keys
L/l        Lock/Unlock Keys
M n/m n    Mode set/get
-----

```

Bild 7: Serielle Kommandos

7. ERGEBNISSE

Das Bild 8 zeigt eine Fehlerverteilung von 1000 Messwerten, die bei der Messung der Frequenz 1.01Mhz (MES) zu 1Mhz (REF) gemessen wurde. Die Standard-Abweichung liegt bei ca. $4 \cdot 10^{-10}$ und erfüllt somit bei weitem die geforderte Genauigkeit.

..

Durch den Einsatz eines wiederprogrammierbaren CPLDs sowie der Steuerung durch einen Microcontroller ist das Gerät jederzeit modifizierbar und auch an andere Messaufgaben anpassbar.

8. REFERENZ

Informationen über das zugrundeliegende Experiment und über weitere Geräte der Elektronik-Werkstatt des Physi-kalischen Instituts können auch im Internet abgefragt werden:

<http://abraxas.physik.uni-mainz.de>

http://pi.physi.uni-heidelberg.de/~vwalter/EW_Homepage.html