

マイクロコンピューター利用の自動追尾NMR磁場測定装置

著者	古川 一男
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 数学・物理学・化学
巻	16
ページ	65-69
別言語のタイトル	Automatic Field Tracking NMR Magnetometer Using Microcomputer
URL	http://hdl.handle.net/10232/6410

マイクロコンピューター利用の自動追尾NMR磁場測定装置

著者	古川 一男
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 数学・物理学・化学
巻	16
ページ	65-69
別言語のタイトル	Automatic Field Tracking NMR Magnetometer Using Microcomputer
URL	http://hdl.handle.net/10232/00007017

マイクロコンピューター利用の 自動追尾 NMR 磁場測定装置

古川 一 男*

(1983年9月10日受理)

Automatic Field Tracking NMR Magnetometer Using Microcomputer

Kazuo FURUKAWA

Abstract

A magnetic field tracking NMR magnetometer system equipped with a microcomputer is described that covers the region between 2500 and 4200 gauss with one sample coil and generates field marker signals for a recorder chart as programmed.

The proton NMR frequency is controlled by both Hall voltage and NMR error voltage using varicap diodes. The Hall voltage is converted by the microcomputer based on the voltage-frequency characteristic of the NMR oscillator and fed to the varicap diodes. The error voltage is used for a negative feed back loop to lock the frequency more precisely.

It is proved to be advantageous to introduce the microcomputer to the system especially for the total cost and the flexibility for the system change and the data acquisition.

1. 序 論

通常の ESR 測定では大量のデータに磁場マーカーを入れなければならないが、これを手作業で行うと大変な労力を要する。我々も長年 NMR 信号を観測しながら手動にてマーカーを入れてきたが、今度、特に X-band, 即ち 2,500~4,200 ガウスの範囲で NMR 信号を自動追尾しながら磁場測定し、ESR チャート上に必要な磁場マーカーを入れるシステムを試作したので紹介する。本システムは最近急速に普及したマイクロコンピューターを利用したために、比較的安価にて実現できたこと、システムが自動化されかつ簡略化できたこと、各種データ収集処理の自由度が大きいことなどが特徴になっている。

プロトン NMR の共鳴周波数 f (Hz) と静磁場 H (ガウス) の間には $f = (\gamma/2\pi) H$ の関係がある。ここで γ は核の磁気回転比で $2.67523 \times 10^4 \text{ gauss}^{-1} \text{ sec}^{-1}$ である。高精度の磁場測定はこの関係を利用して行う。

NMR 発振器の可変コンデンサーをサーボモーターでコントロールして共鳴磁場を自動追尾する試みはいくつか発表^{1,2)} されているが、このサーボシステムでは、機械振動によるノイズの問題は避けられないし、サーボ機構の設計、製作、制御に苦勞する。本システムでは、電圧可変コンデンサー(バリキャップ)をマイクロコンピューターの出力電圧と、NMR 信号を位相検波(PSD)した誤差電圧の両方でコントロールした。温度特性、直線性に劣るホール素子^{3,4,5)}は、

* 鹿児島大学理学部物理学教室 Department of Physics, Faculty of Science, Kagoshima University, Kagoshima, Japan.

NMR でよく較正した後、磁場モニタとして利用し、これに基づいてマイクロコンピュータの出力を計算した。回路は全て半導体化したので、機械振動にも強くなり、システムの自動化も容易になった。個々の電子回路については、最近の著しいエレクトロニクス技術の進歩のお陰で、特に苦労するような所もなかったので説明を省略する。

2. システム構成

システム全体を図1のブロックダイアグラムに従って説明する。まずホール電圧は磁場単位になるようにNMRを利用してよく調整しておくが、それでも2,500~4,200 Gaussに渡る掃引では、現在使用のホール素子で ± 3 Gauss位の狂いが生じる。この電圧は4 1/2桁の二重積分方式のデジタルボルトメーターで読み取るので、30 Hzの磁場変調の影響は殆んど受けない。更にホール素子は変調コイルから離して設置しておく。ホール電圧中のノイズは、デジタル電圧計の読みに1 Gauss以上の影響は殆んど与えないけれども、同時にESRチャートの磁場掃引軸にも利用するので、充分低ノイズ低ドリフトの直流増中器(ユニパルス U350)を利用した。読み取ったホール電圧はインターフェースを介してマイクロコンピュータにとり込まれ、NMRの電圧制御発振器(VCO)に必要な電圧を計算の後、12 bitのDA変換して出力する。この出力は当然ステップ関数になるので、自動磁場掃引中は1秒程度のローパスフィルター(LPF)を入れて変化を滑らかにしておく。VCOの電圧対周波数(V-f)特性の自動測定時などLPFが不要の場合はこれを外しておく。この出力によるコントロールだけでも、ある程度、共鳴点を追尾出来るが、1,000 Gaussを越える磁場掃引では、ホール電圧の非直線性による誤差と、v-f特性の関数近似の為に数Gaussのずれを生じる。これを修正する為にフィルタを通したNMR信号を30 Hzのパルス波で位相検波した出力の誤差電圧をネガティブフィードバックする。これによって共鳴点にしっかりロックさせ、高精度追尾させる。もともとこのPSDの出力だけでも、キャプチャレンジが充分広く、一度ロックされてしまえば、充分自動追尾する訳

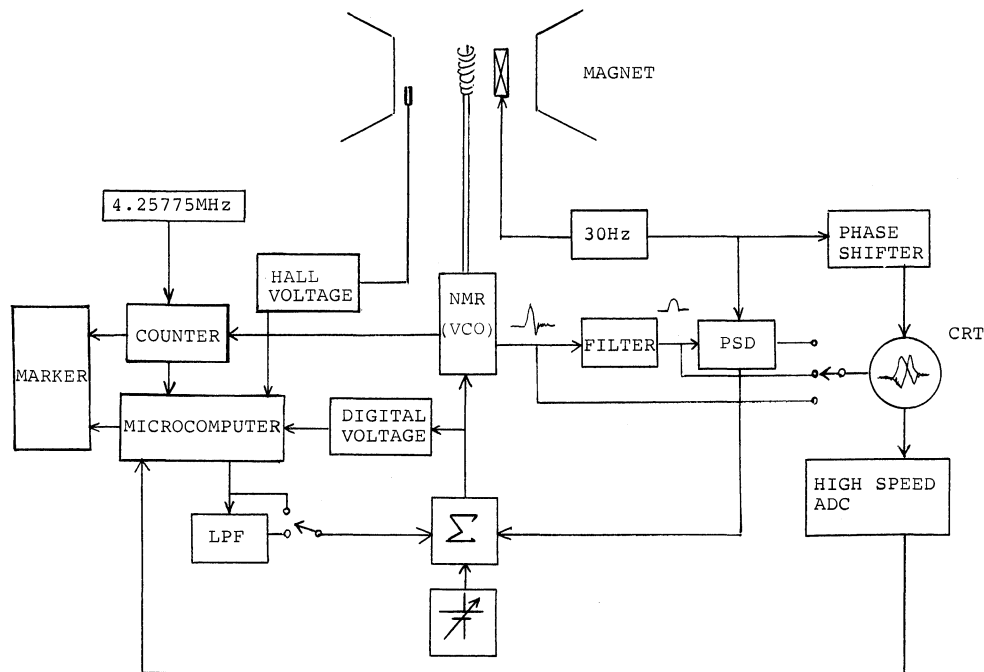


図1. システムのブロックダイアグラム。

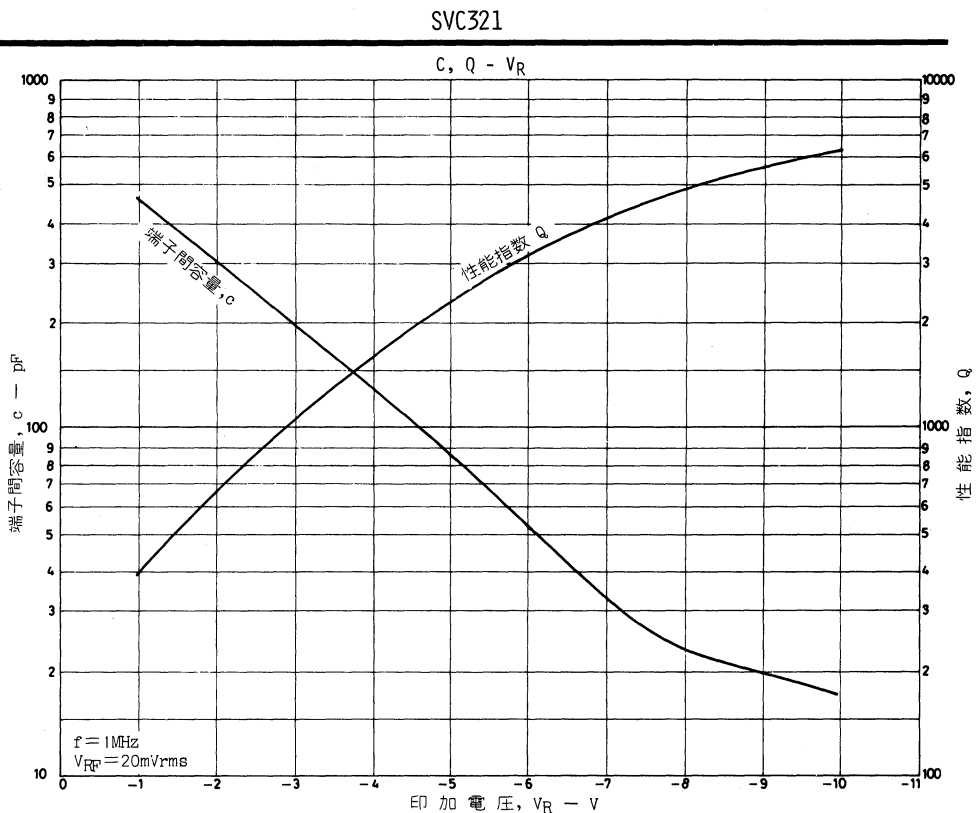
だから、DAC の出力は必ずしも高精度を要しないが、本システムでは±3 ガウス程度の誤差内におさえてある。VCO の入力直前には、更に手動入力も加えて、各入力のゲインやバイアスの調整器 (図中 Σ) を設けてある。そして VCO の入力はデジタルボルトメーターでモニタされ、マイクロコンピュータにもとり込まれて v-f 特性の自動測定に利用される。

NMR 共鳴周波数はカウンターで読んでマイクロコンピュータに取り込まれる。タイムベースには 4.25775 MHz を分周したものをを用いるので、カウンターの読みはそのままで磁場単位となり、1/100 ガウスまで表示する。マイクロコンピュータは所望の磁場の所でマーカーへ信号を送る。またカウンターから直接マーカーへ信号を送り、ソフトの負担を軽減することも出来る様になっている。

NMR 信号は CRT にて常にモニタされる。これは高速 ADC を介してマイクロコンピュータに取り込まれるので、積算処理も可能になり、プロッター等へのハードコピーもすぐとれるので写真記録する必要がない。

3. プロトン NMR と信号処理

電圧制御方式プロトンマグネットメーターには、エコー電子製 EFM 1015 を少し改造したものを利用した。方式は Pound-Knight 型で、バリキャップ、FET 採用の全て半導体化されたものである。磁場変調周波数には 30 Hz を使ったが、ロックインアンプ即ち PSD の特徴を生かして



* 東京三洋電機 (株) 半導体事業部技術資料 NoC699D

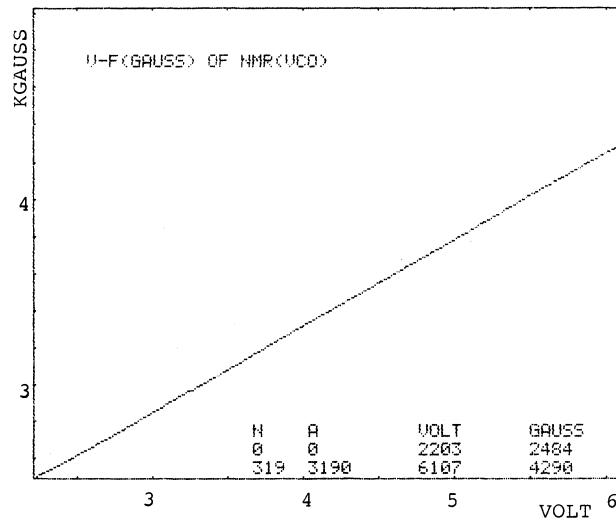


図3. VCOの総合的な電圧対周波数特性例。縦軸は磁場単位になっている。

S/N比を上げるには、もっと高い周波数の方が望ましい。EFM 1015内蔵のバリキャップも充分実用に耐えたが、更に電圧対周波数の直線性とQ値の向上の為に三洋製 IOCAP と組合せて利用した。IOCAP の特性の一例を引用*して図2に示しておく。総合的な電圧対周波数即ち磁場との関係は、図3に示される如く充分満足できる直線性を示している。

この特性はLPFを介さずにマイクロコンピュータにて自動的に迅速に測定したものである。これを6次の多項式で近似すると、全領域に渡って現在使用のソフトでは、1 Gauss以上のずれは生じない。測定データはグラフィックディスプレイで確認の後ハードコピーもとれるので、バリキャップや共振コイルの交換に対しても容易に対応できて、大いに時間の節約になった。

通常ロックインアンプにてNMR信号を記録する場合、線巾の数分の1程度の巾の磁場変調をかけて、信号の微分曲線を記録するが、線巾より大きい変調でも、共鳴点を中心に勾配を持った誤差出力が得られる²⁾。この出力は小振巾変調時の微分曲線に類似している。これをネガティブフィードバックして、自動追尾を更に安定化そして高精度化する。またこの出力のS/N比を上げるには、単極性の信号の方が効率が良くなるので、NMR信号は30 Hzのバンドパスフィルターを通した後適当なバイアスをかけて整流した。即ち設定レベル以下の信号はカットして不要なノイズを減らしてPSDへ導いた。フィルターを通した信号を更に積算処理したもののハードコピーを図4に示す。

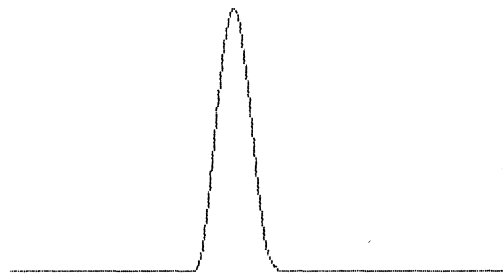


図4. フィルタで処理されたNMR信号。10回積算したもの。

4. マイクロコンピュータとソフトウェア

マイクロコンピュータは SORD 製 M100 ACEII で、これに多チャンネル入出力ポートと高速 ADC (MN5132) 及び DAC (DAC 80CBI-V) を増設した。インターフェース部のハンドリングソフトは附属のアセンブラーで作製し、これをリンクした BASIC で全体のプログラムを書いた。関数精度は 16 桁が保証されており充分であった。多項式近似の関数計算を行うには多少時間を要するが、通常の ESR 測定における磁場掃引は比較的低速で行われるので実用上問題はなかった⁶⁾。限界を越える、より速い掃引では、ハード、ソフト共に改良が必要になる。

5. 後 記

以上本システムの概要を説明したが、マイクロコンピュータ採用の為、システムの改善、変更が極めて容易になったことを強調しておきたい。更にマグネット本体と連動して磁場のコントロール迄カバーする様にすればもっと自動化のメリットが引き出せる筈である。

最後に IOCAP を提供して下さいだった東京三洋電機 (株) と U350 を提供して下さいだったユニパルス (株) に感謝します。

Reference

- 1) K. Hukuda and M. Nakahara: Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. **B4** (1968) 1.
- 2) J.R.DE HAAS, D. VANORMONDT and C. SCOTTJE: J. Sci. Instrum. **44** (1967) 471.
- 3) 宮沢久雄: 固体物理 **8** (1973) 609.
- 4) 山崎健一: トランジスタ技術 Nov. (1982) 414.
- 5) 井上 均: トランジスタ技術 Aug. (1978) 291.
- 6) K. Furukawa, K. Yonekura and T. Kawano: Rep. Fac. Sci., Kagoshima Univ. (Math., Phys., Chem.) **15** (1982) 43.