

| Title | 電界効果トランジスタを用いたマージナル発振検出器 |
|------------|---|
| Author(s) | 二木, 治雄 |
| Citation | 琉球大学理学部紀要 = Bulletin of the College of Science. University of the Ryukyus(43): 11-21 |
| Issue Date | 1987-03 |
| URL | http://hdl.handle.net/20.500.12000/12528 |
| Rights | |



Marginal oscillator-detector using field effect transistors

Haruo NIKI

Department of Physics, Division of General Education, University of the Ryukyus, Nishihara, Okinawa 903-01, JAPAN (Received 5 November 1986)

Abstract

A marginal oscillator-detector was made using field effect transistors (FET). In high and low frequency circuits, 2SK61 and 2SK40 were used, respectively. With a lock-in amplifier, NF product LI-574A, the NQR measurement of 35 Cl in KClO₃ was carried out both at 1F and 2F modes. As a result, a satisfactory S/N ratio was obtained. The NMR measurement of ¹H in water was also made and the result was good.

電界効果トランジスタを用いた マージナル発振検出器

二木治雄

要旨

電界効果トランジスタ(FET)を用いて、マージナル発振検出器を製作した。高周波回路には2SK61、低周波回路には2SK40を使用した。ロックインアンプは、NF製LI-574Aを 使用し、1F、2Fモードの両モードについて、KClO₃の³⁵Cl核のNQRを行った。その結果、 十分なS/N比を得ることができた。また、水の¹H核のNMRも行い、良好な結果を得た。

1. はじめに

連続波法による核四重極共鳴を行うためには、周波数掃引を行う必要がある。周波数掃引を 行う発振検出器には大別して、再生(マージナル)方式と超再生方式がある。超再生方式では、 感度は非常に高いが間欠発振のため、共鳴周波数の直接測定が困難であり、サイドバンドが多 数生じるため、正確な中心周波数を求めることは困難になる。また、接近した位置の共鳴線や 微細構造等は分離しにくく、単一吸収線に対しても線幅等の信頼しうるデータは得がたい。こ れに対して、再生方式では、超再生方式に比して感度は低いが、共鳴周波数を正確に測定する ことができ、線幅等についての知見を得ることができる利点を有する^{1,23}。

今回、我々は、共鳴周波数、線幅等についての正確な知見を得るために、再生型発振検出器 を、電界効果トランジスタ(FET)を使用して製作した。製作するにあたっては、サリバン のマージナル発振検出器を参考にし、手軽に入手できる部品を使用した^{3、4)}。

2.回 路

回路図は、図1に示す。高周波回路は2段になっており、第1段はソースホロアで、発振回 路のバッファとなっている。第2段はコモンゲート回路で、ドレイン側より第1段の発振回路 に正帰還を行っている。低周波回路は、信号によって生じた DC レベルの変化を高周波回路の ソースにあるオーディオ用トランスによって検出し、低周波増幅をしている。使用した FET は高周波回路では東芝製 2 SK61 (同等品に 2 SK161もある)、低周波回路では日立製 2 SK40 を使用した。



Fig. 1. Circuit diagram of a marginal oscillator-detector.

トランスについては、山水製マイクロホン用トランス A -603及び、インプットトランス ST -12を比較してみた。A -603、ST -12については、図 2に示す。A -603は、電磁シー ルドが 2 重になっていて、外部への磁束の漏れが少なく、真空管用ソケット(9 pin)にさし 込むことができる。また、1 次側のインピーダンスが、150 Ω、600 Ω のいずれかを選択できる 様になっている。A -603については、高周波側を150 Ω、または、600 Ω として使用し、ST -12については、高周波側を 2 次側の1 KΩ、低周波側を1 次側の100KΩにして使用した。 その結果に、大きな違いは見られなかったので、現在、磁気シールドのしっかりした A -603 を使用し、1 次側コイルを600 Ω としている。A -603を入手できない場合には、ST -12に磁 気シールドを施せばよい。

低周波増幅回路から第2段の FET のゲートへの帰還抵抗は、現在の周波数領域(20~ 30MHz程度)では、500KΩが最良であった。この帰還回路をつけることで、安定した信号検 出を行うことができた。

可変容量ダイオード(バリキャップ)については、現在入手できた新日本無線製1S352を 使用しているが、Q 値等で最良であるとは考えていない。今後、Q 値等が大で、使用条件に 適合するバリキャップが入手できれば、交換していく予定である。バリキャップの両端には、 フェアチャイルド製オペアンプμA741によって、周波数変調電圧、周波数掃引電圧、周波数



Fig. 2. Specification for the transformers produced by Sansui.

可変用 DC 電圧が加算されて加えられている。その様子は、ボルトメータによって監視されて いる。ボルトメータは2台用意されていて、DC 用、AC 用に使用している。

周波数カウンターを直接接続した場合、雑音が混入する場合があるので、バッファとして高 インピーダンス入力の増幅器を用いた。増幅器としては、NF 製広帯域プリアンプ BX -31を 使用した。入力インピーダンスは、1 MΩ、帯域幅は、DC ~75MHz、増幅度は、10倍で使用 した。我々は、発振電圧を知るために、高周波回路の第1段の FET のゲートに接続したが、 ソース側に接続しても良い。この時、観測される電圧はゲートでの発振電圧の70~80%程度で、 その電圧に比例している。また、使用するプリアンプは、ゲートに取り付ける時と比べて、入 力インピーダンスが低くても良いので、例えば、フェアチャイルド製 μA733などでも十分で あろう。

各部の配線を極力短くするために、立体配線を行ったが、プリント基板でも問題はないと考 えられる。実体配線図を図3に示す。図3(b)に示された発振検出部のケースには、磁気シー ルドのために、ステンレス板(非磁性でないもの)を使用した。発振検出器の全体図を図4に 示す。ケースには、1mmの厚さのアルミニウム板を使用し、内側に0.3mmのステンレス板(非 磁性でないもの)を張って磁気シールドとした。



Fig. 3(a). Pictorial view of a marginal oscillator-detector.



Fig. 3(b). Pictorial arrangement of the oscillator-detector part of the marginal oscillatordetector.



Fig. 4 (a). Front view of a marginal oscillator-detector.



Fig. 4 (b). Side view of the marginal oscillator-detector.



Fig. 4 (c). Rear view of the marginal oscillator-detector.

実験と結果

使用した試料は、塩素酸カリウム KClO₃で、外径15mm、長さ40mmのパイレックスガラスの 試料管に封入した。試料コイルは内径15mm、長さ27mm、直径1mmのホルマル線を7回巻にして、 接着剤でかためて使用した。試料および試料コイルのシールドケースはアルミニウムを用い、 コイルのQ値の低下を避けるため試料コイルに比べて少し大きめにした。そのサイズは、縦

H. NIKI

8.2cm、横8.0cm、高さ8.5cm、である。測定中の温度変化を極力避けるため、試料コイルおよびケー ス外部を発泡スチロールで囲み断熱・保温を行った。シールドケースと発振検出器を接属する 同軸ケーブルは3D2Vを用い、信号の減衰を避けるために、BNCも含めて全長7.2cmで使 用した。実験は、ロックインアンプの位相敏感検波器(PSD)の参照信号周波数を、変調周 波数の1倍と2倍に変えて行った。使用したロックインアンプは、NF製LI-574Aで、位相 敏感検波において参照信号周波数を、変調周波数の1倍と2倍で使用できるモードを有する。 前者を1Fモード、後者を2Fモードと言う。

初めに、1Fモードで実験を行った。1Fモードで得られた KClO₃の³⁵Cl 核の常温での NQR の共鳴線を図5に示す。観測された共鳴線は吸収曲線の1次微分である。掃引幅は5 KHz、掃引時間は120秒、変調波はサイン波、変調周波数は400Hz、変調幅は1.4KHz (P-P)、 発振電圧は0.5~0.6V 程度である。ロックインアンプのタイムコンスタントは1秒、ハイパス、 ローパスフィルタはそれぞれ100Hz、1KHz、感度レンジは2mV で出力電圧に生じる DC 電 圧は、フルスケールの70%程度であった。

信号を最良に取り出すためには,下記に述べる理由によって、上記の DC 電圧が大きくなる様 に、図 1 の LEVEL ADJUST, FEED - BACK, SENS. ADJUST を調整する。SENS. AD-JUST の電圧は、なるべく低い方がよい。

現装置では、周波数変調を行うために、可変容量ダイオード(バリキャップ)が使用されて いる。バリキャップの両端に変調波電圧をかけるため、変調周波数に対応する振幅変調が、高 周波に寄生する。そのため、ロックインアンプの出力には、共鳴信号電圧だけでなく、寄生の 振幅変調に対応する DC 電圧が生じる。高周波に生じる寄生振幅の大きさは変らないので、発 振検出器を調整して DC 電圧が大きくなる様にすれば、共鳴信号の検出感度も良くすることが できる。この方法を行うには、オシロスコープをX-Yレンジにして、X軸に変調波を、Y軸 にロックインアンプの狭帯域増幅を経た波形(現有ロックインアンプでは、シグナルモニタか らの波形)を入力し、画面上に生じる輪が縦(Y軸)方向に大きくなる様にすれば良い。図5 に示された共鳴線を検出する際に、調整によって生じたオシロスコープ上の輪を図6に示す。 掃引速度を速くすれば、共鳴線を通過する瞬間に輪の縦方向に変化が起こり、肉眼でも共鳴を 観測することができる。

線幅の広い共鳴線を検出するためには、周波数変調を大きくかけなければならない。その 結果、高周波に生じる振幅変調も大きくなる。このため、ロックインアンプの出力に生じる DC 電圧も増加し、飽和を避けるためにロックインアンプの増幅率を下げなくてはならず、共 鳴信号の信号対維音比を低下させることになる。

この問題を回避するためには、ロックインアンプの位相敏感検出を2Fモードにすれば良い。 2Fモードで、KCIO3の常温での共鳴線を図7に示す。測定条件は、ロックインアンプの感 度レンジを除いて、図5に示した1Fモードでの共鳴線を測定した時と同一である。この時の 感度レンジは、100 μVであった。出力電圧に生じる DC 電圧はフルスケールの10%程度で、 1Fに比べて格段に小さいことがわかる。これは、2Fモードによる位相敏感検波によって、 寄生の DC 電圧の影響を取り除くことができたためである。

16



Fig. 5. NQR signal of ³⁵Cl in KClO₃ at room temperature with a lock-in amplifier at 1F mode. The resonance line is the first derivative of an absorption line. Sweep speed is 2.5 KHz/min. Time constant is 1 sec. The frequency modulation is 1.4 KHz peak to peak at 400 Hz.



Fig. 6. X-Y diagram on an oscilloscope. The modulating audio signal and the output of the narrow band amplifier in a lock-in amplifier are fed into X and Y ranges, respectively.



Fig. 7. NQR signal of ³⁵Cl in KClO₃ at room temperature with a lock-in amplifier at 2F mode. Sweep speed is 2.5 KHz/min. Time constant is 1 sec. The frequency modulation is 1.4 KHz peak to peak at 400 Hz.

1Fモード状態で、位相敏感検波の参照信号の位相を変化させた後、2F状態に戻し、他の 条件を変化させないで、共鳴線を記録すると、図8の様になる。 θ は、1Fモードでの共鳴信号 と参照信号の位相差である。 θ が変化するにつれて共鳴線の形状も変化する。1Fモードでの共 鳴線を観測する条件である $\theta = 0$ であれば、歪みのない共鳴線を得られることがわかる。

ロックインアンプから出力された共鳴信号をマイクロコンピューターに取り込み、FFT を 用いて雑音を取り除いた図を、1Fモードは図9に、2Fモードは図10に示す。図より、雑音 が取り除かれていることが良くわかる⁵⁾。

この再生型発振検出器を用いて、硫酸銅を少量加えた水の¹H核の核磁気共鳴(NMR)を行 なった。共鳴信号を、前述の方法でオシロスコープ上に捕えた様子を、図11に示す。これを利 用すれば、再生型発振検出器を用いて、NMR での磁場較正を行うことができる。なお、共鳴 周波数は、28.068MHzであった。



Fig. 8. Phase dependence of the resonance signals with a lock-in amplifier at 2F mode. The θ is the phase difference between the reference and resonance signals fed into the phase sensitive detector with a lock- in amplifier at 1F mode. They are in phase when $\theta = 0$.



Fig. 9. Resonance signal with a lock-in amplifier at 1F mode processed by a microcomputer.
(a) Data of one measurement; (b) Base-line made horizontal by removing the base-line drift which is produced by frequency sweeping and is assumed to be a straight line;
(c) Power spectrum of the Fourier transform of (b) (Unit of the abscissa is 0.0833 Hz.);
(d) Inverse of the Fourier transform of (c) after removing high frequency components (Cut frequency is 0.08 Hz.).



Fig. 10. Resonance signal with a lock-in amplifier at 2F mode processed by a microcomputer.
(a) Data of one measurement; (b) Base-line made horizontal by removing the base-line drift which is produced by frequency sweeping and is assumed to be a straight line;
(c) Power spectrum of the Fourier transform of (b) (Unit of the abscissa is 0.0833 Hz.); (d) Inverse of the Fourier transform of (c) after removing high frequency components (Cut frequency is 0.08 Hz.).



Fig. 11. X-Y diagram on an oscilloscope of the NMR signal of ¹H in water. The modulating audio signal and the output of the narrow band amplifier in a lock-in amplifier are fed into X and Y ranges, respectively.

以上により、今回、手軽に入手できる部品を使用して製作した、FETによる再生(マージ ナル)型発振検出器は、安定に動作し、十分実用に耐えうることがわかった。 本研究をまとめるにあたって、教養部の伊芸諒寛教授に御助言を戴いたことを心から感謝し ます。また、物理学科の1982年度卒業研究生幾島康夫、菊池泰秀、1983年度卒業研究生伊藤文 昭、宮国透、1984年度卒業研究生宮城悟、與那嶺岳、1985年度卒業研究生梅木辰夫、大城一文、 知念靖、実原治、1986年度卒業研究生上地宏一、奥間隆之、津波篤夫、比嘉正、辺土名浩の諸 氏の御助力に感謝します。

文 献

- 1) 中村大雄、池田龍一、「日本化学会編、新実験化学講座、基礎技術2、磁気」(丸善)(1976)§5・3、 p.458~492.
- I. D. Weisman, L. J. Swartzendruber and L. H. Bennett: *Techniques of Metals Research*, ed. R. F. Bunshah and E. Passaglia (John Wiley and Sons, New York, 1973) Vol. VI, Part 2, Chap. 9, p.249 ~254.
- 3) N. Sullivan: Rev. Sci. Instrum. 42 (1971) 462.
- 4) T. Tsukada, Y. Hiyama, N. Watanabe and E. Niki: BUNSEKI KAGAKU 24 (1975) 787 [in Japanese].
- 5) H. Niki, Y. Ikushima, Y. Kikuchi, and R. Igei: Bull. Coll. Sci. Univ. Ryukyus, 36 (1983) 27.