

マイクロ波実験装置の改良

4年C組 寺川 峻平
指導教員 米田 隆恒

1. 要約

私はマイクロ波実験装置の開発を行っている。昨年度製作した装置の信号出力部分を大幅に改良し、オシロスコープを使わずに実験を行うことができるように改良を行ったので、ここに報告する。

キーワード マイクロ波、オシロスコープ、電圧計、オペアンプ、増幅、検波

2. 研究の背景と目的

私は数年前から市販のドップラーセンサを用いてマイクロ波実験装置の開発を行ってきた。その結果、物質中のマイクロ波の波長の測定とマイクロ波の受信強度測定を行うことができるようになった。しかし、それらの測定・実験を行うためには微弱な出力信号を読み取るためにオシロスコープ(図2)を使う必要があった。もとの開発目的が「教科書を読んだだけでは呑み込めない事象を実験によって確かめる。そのためにできるだけ安価に装置を自作する」というものであるため、非常に高価な機材であるオシロスコープが必要であるということは望ましくない。そこで、オシロスコープの代わりに電圧計を使って結果を表示できるように信号出力部分の改良を行った。

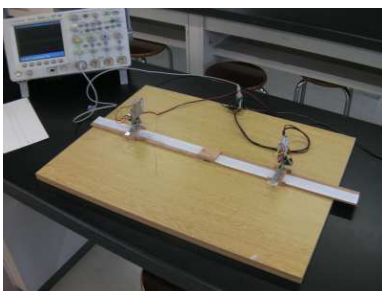


図1 マイクロ波実験装置



図2 オシロスコープ

3. 研究内容

自作したマイクロ波実験装置からの出力信号を電圧計で見られるようにするため、信号を増幅する必要がある。

扱う出力信号の例を図3に示す。

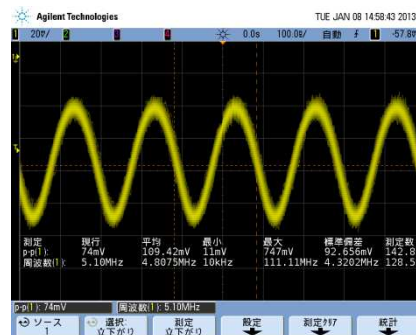


図3 装置からの出力信号

<装置からの出力信号の特徴>

- ・周波数：数 MHz から 10MHz
- ・電圧：およそ 10mV_{p-p} から 100mV_{p-p}
- ・装置の特性により、振動の中心電圧が変動する。

装置からの出力信号を増幅するために、以下の3種類の方法で実験を行い、検証を行った。

[実験①] 周波数変換→汎用オペアンプで増幅→整流

[実験②] 広帯域オペアンプで増幅→整流

[実験③] 整流→単電源オペアンプで増幅

[実験①] 周波数変換→汎用オペアンプで増幅→整流

実験の結果、この方法は断念した。

通常、信号を増幅するにはオペアンプという IC を使用する。オペアンプは外付けの抵抗器の抵抗値の比によって簡単に増幅率を変えられるため、とても便利で使いやすい部品である。しかし今回扱う信号は通常のオペアンプで扱える周波数よりも高い周波数であるため、そのままでは増幅することができない。そこで、混合器（ミキサ）を利用しようと考えた。混合器とは、異なる周波数をもつ2つの信号を入力すると、それらの和と差の周波数の信号を出力するというものである。これを利用すれば、実験装置からの出力信号の周波数を変換し、オペアンプで増幅できる周波数まで落とすことができるはずである。

しかし、出力信号の周波数をオペアンプで扱える 100Hz 程度まで下げるためには、出力信号±100Hz 程度の基準信号が必要である。日によって変化する出力信号の周

波数に合わせた高周波信号を作ることは難しかったため、混合器で周波数変換を行う方法は断念した。

[実験②] 広帯域オペアンプで増幅→整流
実験の結果、この方法も断念した。

実験②では、高周波信号を扱えるオペアンプを用いて実験を行った。オペアンプはその目的によっていくつかの種類に分けることができ、オーディオ信号を歪みの少ない状態で増幅するもの、正の低周波信号を高精度で増幅するもの、電源電圧近くまで出力電圧をとれるものなどがある。それらの中で、広い周波数帯域を持ち、高周波信号でも増幅することができるタイプのオペアンプを使用すれば信号を電圧計で見られるのではないかと考えたためである。

しかし、オペアンプは増幅する信号の周波数が高くなるほど増幅率の上限が下がるという性質がある。広帯域オペアンプでもそれは同じで、入手が比較的容易な広帯域オペアンプ[NJM4580]では数 MHz の信号を 10db 以下の増幅率でしか増幅することができないことがわかった（図4）。

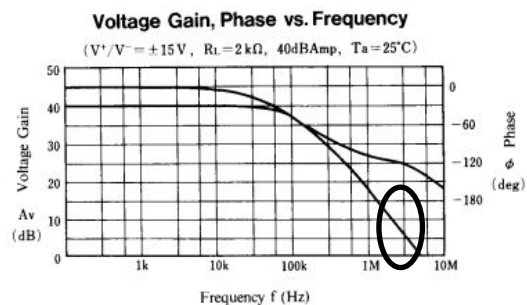


図4 オペアンプの周波数特性
(横軸：周波数 縦軸：増幅率)

これでは電圧計で扱える数Vレベルにまで増幅することは困難であるため、広帯域

オペアンプを使用する方法も断念した。

[実験③] 整流→単電源オペアンプで増幅
実験の結果、採用できることがわかった。

今回扱う出力信号は交流であり、電圧計で扱う信号は直流である。そのため、回路のどこかの段階で整流を行う必要がある。整流とは交流信号を直流信号に変える操作のことであるが、これを回路の入力に一番近い部分で行うことによって増幅を容易にしようと考えた。整流されたあとの信号は正の直流電圧（今回は脈流となる可能性もある）となるため、増幅は単電源のオペアンプを用いればよく、非常に簡単な回路で増幅できることがわかった。回路の構成を以下に示す。

・入力 - 整流部

信号のゆらぎを取り除くため、直流カット用のコンデンサを直列に入れる。それによって 0V を中心に振動するようになった信号を、ダイオードとコンデンサにより整流する。汎用ダイオードでは数 MHz という高周波に対応できないため、高周波信号も扱うことのできるショットキーバリアダイオードを使用した。これらの回路によって、装置からの出力信号の振幅の変化を電圧の変化に変換することができた（図 5）。

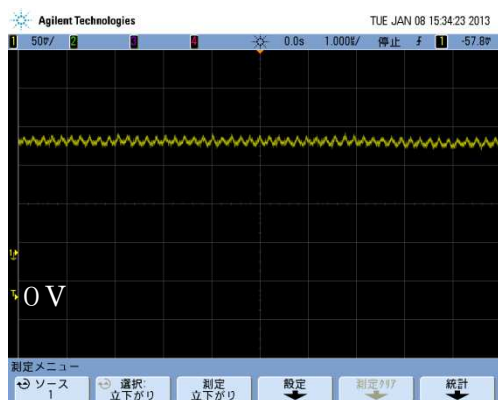


図 5 整流後の波形

・増幅部

オペアンプを使用して非反転増幅回路を構成し、信号を電圧計で扱える電圧まで増幅する。

オペアンプには単電源動作し、最大出力信号振幅が広い NJU7032（図 6）というものを使用した。これを電源電圧 9V で動作させ、増幅率 23 と 11 の二段階の回路を通して約 250 倍の増幅を行った。



図 6 単電源オペアンプ
NJU7032

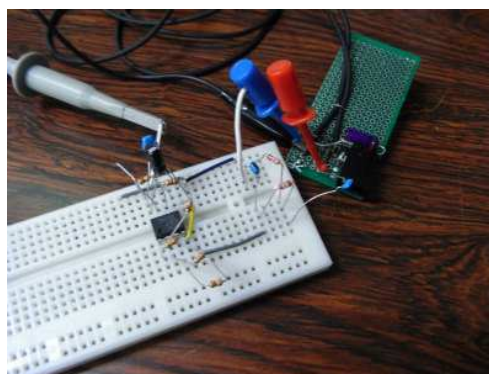


図 7 実験風景

これにより、信号の電圧を電圧計で測ることのできる電圧まで上げることができた。

4. 今後の課題

実験③において、増幅回路の抵抗器を頻繁に付け替えるため、回路をブレッドボード上に組んで実験を行った（図 7）。これでは実験装置を使用する際に非常に不便であるため、ユニバーサル基板あるいはプリント基板を製作する必要がある。

5. 参考文献

- [1] 「電子回路入門講座」, 見城尚志、高橋久、電波新聞社

6. 謝辞

今回の研究において、顧問の米田先生をはじめとして多くの方々にアドバイスをいただきました。また、サイエンス研究会物理班のメンバーにも実験を手伝ってもらうことができました。この場をお借りして、深くお礼申し上げます。