

# 携帯型・周波数可変ロックインアンプの製作

金野茂男、飯島洋祐

## 1. はじめに

周期性微弱信号の検出装置として、ロックインアンプは極めて有効な装置である。多くの分析装置などでは、その名を潜めて働いている優れたものである。当然単体としてもメーカーから提供されているが、多機能性を持たせていることもあり、高価であり、ケースも大きく、AC100V仕様である。そういうわけで、著者は独自に、携帯型・周波数固定ロックインアンプ製作し、その結果については既報である<sup>(1)</sup>、<sup>(2)</sup>、<sup>(3)</sup>。メーカー品のように自在に周波数を変えることができないが、それはそれなりに応用性に富んでいると著者は考えている。が、携帯型で周波数が可変ならば、非常に利便性が良いのは明らかである。著者の製作したロックインアンプ中には、BPF（バンド・パス・フィルタ）回路が入っている。この回路で、通過周波数（＝ロック周波数）を可変とするためには、複数の抵抗、或いは、複数のコンデンサの値を、同時に同値で変更させる必要がある。例えば、図1の回路図を参照。そのためには、複数連可変抵抗器と多段ロータリスイッチを必要とする。BPFの性能を良くするためには、BPFを多段とすれば良いのであるが、そうすると、更なる多段の可変抵抗器と、多段のロータリスイッチが必要となる。そのような方法も良いのであろうが、そうすると、機械的部分で、ロックインアンプの体積の大部分が、それらの部品で占められるようになり、携帯性とは名ばかりになってしまう。更なる問題は、そのような多段の可変抵抗器は、特別に組み合わせるなどをしなければ実現できそうもないところにもある。

少し発想を変えて考えてみる。著者の既報の自作ロックインアンプの基板上にあるBPFのロック周波数を決めている、同値の抵抗値を持っている抵抗群を、希望するロック周波数を与える別の抵抗値の抵抗群に差し替える方法としてみよう。この方法ならば、多段の可変抵抗器や多段のロータリスイッチは全く必要としない。回路基板の大きさも、既報のロックインアンプ基板の大きさのままで済むことになる。しかし、ロック周波数を切り替える毎に、抵抗群の差し替えが必要となる。大変なような気がするかもしれない。が、通常、メーカー製のロックインアンプの使用において、一人の利用者においては、ロック周波数は、普通は特定で一定の周波数に固定して使用しているものである。つまり、ロックインアンプの初期設定が済めば、その後は、特定のロック周波数で、使用を続けているものである。従って、今提案している、ロック周波数を抵抗群の差し替えで変更するという方法における手間は、ロックインアンプの初期設定の段階だけでのことである。従って、メーカー品の場合と同じく、ロック周波数を固定すれば、後は手間がかからない。

本論文では、BPFの抵抗群を差し替える方法による、「周波数可変」のロックインアンプの製作について紹介をする。メーカー品と比較すると、初期設定に少し手間暇がかかるかもしれないが、50万円の購入費用が、1万円以下の制作費で済む点にも、装置としてはそれなりの価値があると思う。装置は手の平サイズ以下である。

完成したロックインアンプの、対応できるロック周波数は10Hz以下から90kHzである。交換用を使用する抵抗群は(1/4)Wのものである。市販では、1袋100本が約300円で販売されている。1本当たり3円である。抵抗値が飛び飛びであるが、コンデンサより、より細かい値の抵抗が提供されているので、任意の周波数領域に使用するべき抵抗値の抵抗は容易に見つけられよう。或いは、抵抗群で設定したロック周波数に、入力信号のモジュレーション周波数を一致させるようにしても良いであろう。

完成し、動作試験も終了した本装置の上面の様子を写真1で示している。参考文献で紹介している装置と、ほぼ同じである。なを、現時点では、電源は+9V出力のAC/DCアダプターを使用しているが、このアダプターを乾電池や蓄電池にすれば、携帯型となる。

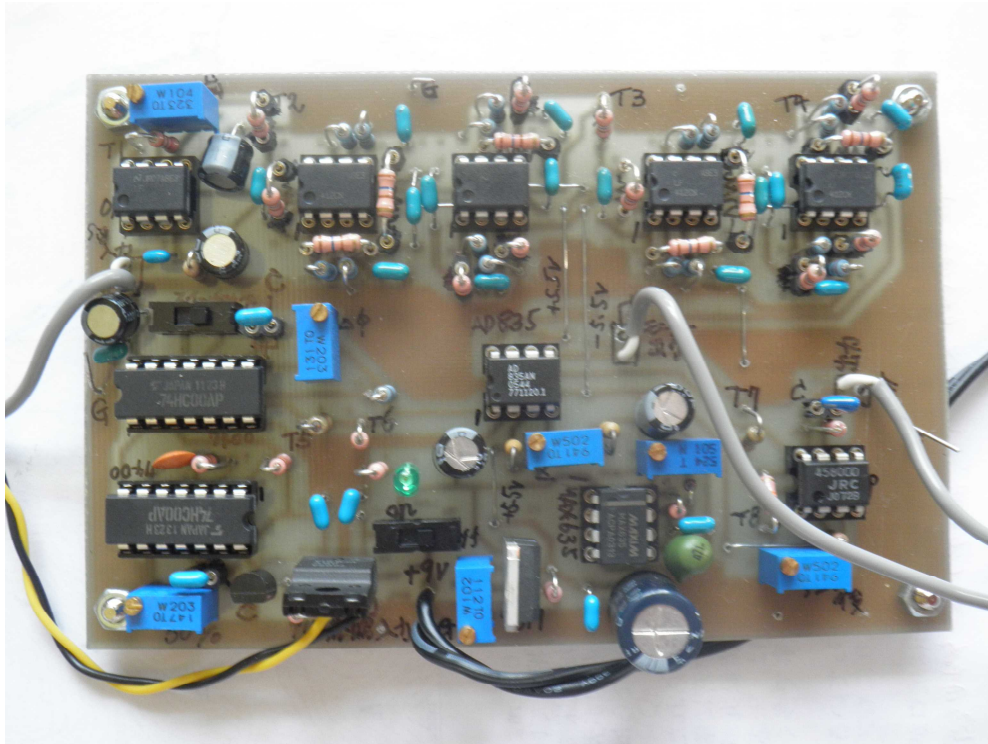


写真1 装置基板の上面写真。BPFに関する抵抗群、及び参照信号系のコンデンサ群がシングルソケットに差し込まれている状態を見てとれる。左端の灰色同軸線は信号入力線。その下の、黄・黒線は参照信号入力線。その右隣の黒2線はAC/DCアダプタからの電源線。中央右の灰色同軸線は乗算器からの出力のモニタ線。右端の灰色同軸線は最終直流出力線。電源線の上のスイッチは電源スイッチ。左端少し上のスイッチは参照パルスの位相反転スイッチ。

## 2. 製作

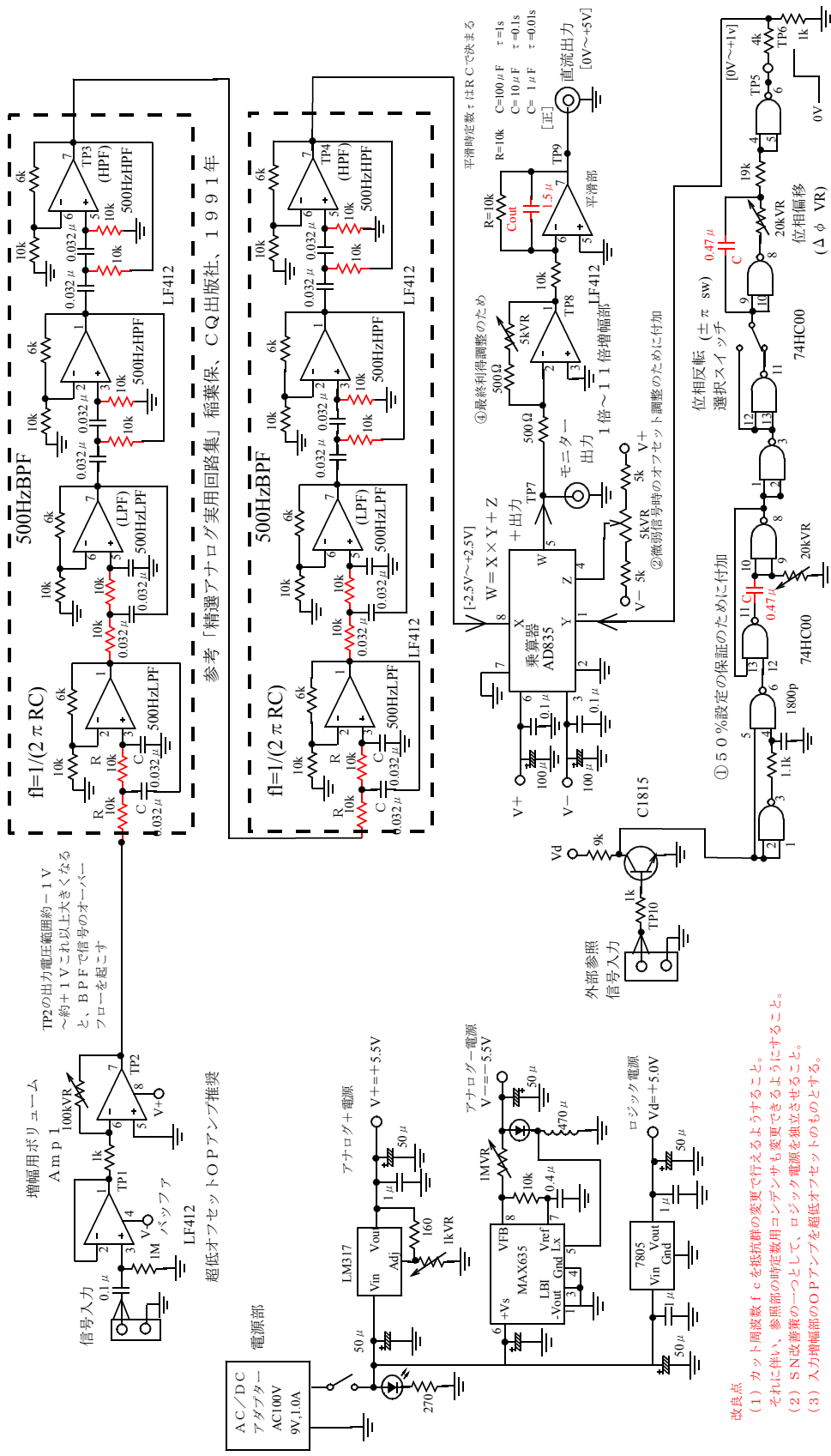
紹介する本回路は、参考文献の回路とほぼ同じである。従って、ロックインアンプ及び本回路の詳細な説明については、参考文献に譲る。

図1の回路図中のBPFのロック周波数は、BPF部の抵抗Rとコンデンサの値RとCから

$$f_1 = 1 / (2\pi RC) \quad (1)$$

で決まる。この式に従って、本ロックインアンプの動作時のロック周波数は、BPFのロック周波数を決めている同一抵抗値の抵抗群で選択をすることとする。この場合、ロック周波数の選択は、同一容量値のコンデンサー群の変更で決める方法もある。が、市販されているコンデンサ値は結構飛び飛びの値のものである。それに比較すると、市販されている抵抗値は、結構小刻み幅で提供されている。本ロックインアンプの性能からすると、結果論であるが、それで結構十分である。著者が製作した既報のロックインアンプでは、BPFのロック周波数に関する抵抗群は、全て基盤に半田付けをしていた。が、今回紹介するロックインアンプでは、それらの抵抗取り付け位置に、基板用シングルソケットを半田付けをし、そのソケットに抵抗を差し込み、必要に応じて差し替える方法とした。テストボードにおいて、素子等の差し込み引き抜きをするように。

主たるこの変更に伴い、更なる装置の改良のため、既報のロックインアンプに、以下のような幾つかの変更を行った。



改良点  
 (1) カット周波数  $f_c$  を抵抗値の変更で行えるようにすること。  
 それに伴い、参照部の時定数用コンデンサも変更できるようにすること。  
 (2) S/N改善策の一つとして、ロジック電源を独立させること。  
 (3) 入力増幅部のOPアンプを超低オフセットのものとする。

図1 製作した携帯型・周波数可変ロックインアンプの回路図

| 周波数領域           | コンデンサ値        |
|-----------------|---------------|
| 10 Hz ~ 700 Hz  | 10 $\mu$ F    |
| 200 Hz ~ 10 kHz | 0.47 $\mu$ F  |
| 3 kHz ~ 90 kHz  | 0.033 $\mu$ F |

表2 ロック周波数と参照回路部のコンデンサの容量Cの対応表

(1) 今まで2段であったBPFを4段として、Q値の向上を図った。BPFの周波数特性は図2に示している。

(2) 今まで使用していたOPアンプは、安価な汎用OPアンプであった。ところで、入力信号が小さい電圧の場合、初段の増幅部で大きく増幅をしなければならない。大利得とすると、OPアンプのオフセット電圧が極めて大きくなっていった。無視できない。そのため、このオフセット電圧を除去するために、DCカット回路も付加した場合もあった。今回、超低オフセットOPアンプ(LF412)を使用することとした。数百倍の利得でも、全くオフセットが出てこない。また高い周波数での特性も格段に良い。優れたもののOPアンプである。が、少し高価。といっても1個当たり200円~300円位か。

(3) 少しでもノイズを低減し、装置のSN比の向上を図るため、ロジック回路部の電源+5.0Vを、アナログ電源から切り離し、独立させた。

製作した装置の回路図を図1に示している。基本的な部分及び大部分は参考文献の回路とほぼ同じである。従って回路図の詳細な説明は参考文献に譲る。

BPFのロック周波数は、同値の抵抗群(16本、図1の回路図の赤色の抵抗群)を差し替えることで、10Hz以下から90kHz以上まで、設定可能である。図2にBPF部におけるフィルター特性を示している。回路図の図1からわかるように、BPFは4段で形成されているので、2段までの特性と4段までの特性曲線を示している。予想通りである。

ロック周波数は10Hz~90kHzまで可変とすることができる。提示している回路図では、ロック周波数として500Hzを選択した場合である。ところで、選択する周波数に対応して、参照信号回路部における時定数の変更が必要である。参照信号からデュティ・サイクルが50%のパルスを形成する部分と、パルスの位相をシフトする部分である。回路図中では、赤色の文字Cと0.47 $\mu$ で示している2つのコンデンサである。これらの部分では、RCの時定数でパルスを形成しているので、設定予定のロック周波数の周波数領域に対応させて、Cの値を変更しなければならない。これらの2つのコンデンサは同値としておくと良い。交換を容易とするために、BPFでの抵抗群と同じように、基板用シングルソケットを基板に半田付けをしており、コンデンサの差し入れが自由に行えるようにしている。表1に、選択ロック周波数と、それに対応して使用するべきコンデンサ容量の対応表を与えている。が、これらは大凡の値である。その当たりの値のコンデンサで十分であろう。初期設定時に、オシロスコープで確認をすれば良い。

式(1)でロック周波数を決めることができる。抵抗の抵抗値を選択しても、正確なロック周波数を確認しなければならない。信号入力端子に、周波数可変の発信器からサイン波を入力させ、BPFからの出力電圧をモニターする。発信器からの出力周波数を変えながら、モニタ電圧を確認する。式(1)で決まる周波数当たりで、出力のピークが確認できよう。ピーク時の周波数が、装置の実際のロック周波数である。あまり誤差は無いと思うが、気になるならば、抵抗の抵抗値を変更する必要がある。誤差の程度を考慮し、より正確な抵抗値を算出する。基本抵抗に、直列に補正分の抵抗値の抵抗を接続し、正確な抵抗値となるようにする。それを16組分作る。そして差し替える。

なを、参照信号のモジュレーション周波数を変更し、ロック周波数に一致させることができる場合ならば、その方が極めて簡単に済む。

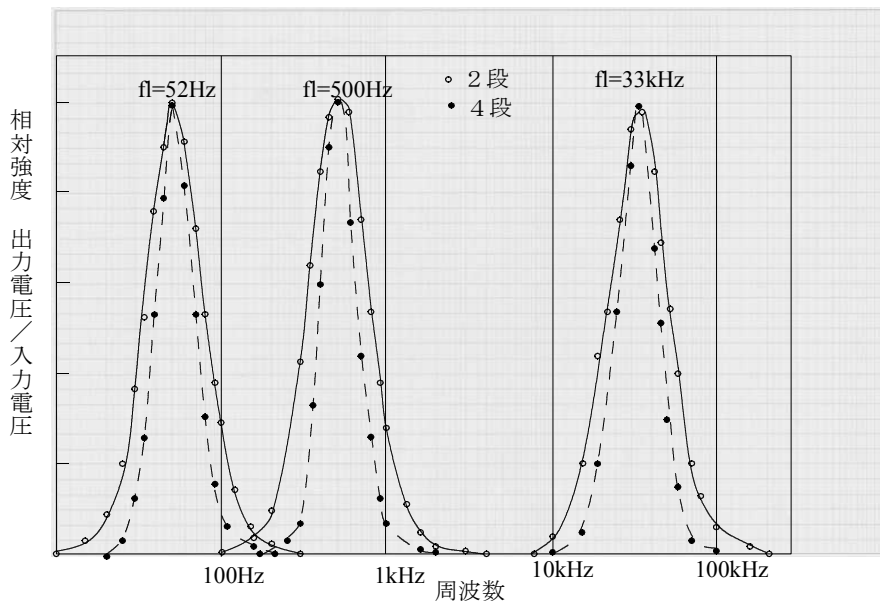


図2 BPFの周波数特性。片対数グラフである。横軸は周波数を対数で、縦軸は入力電圧と出力電圧の相対強度を線形で表示している。実線がBPFが2段の場合、点線がBPFが4段の場合である。

### 3. おわりに

思う所を列記する。

(1) 参照信号部で、ロジックICの7400を使用している。今まで、この部分に、74HC00を使用していたが、基板製造時に、生憎現有がなく、現有の74LS00を使用した。調整不調及び動作不良となった。HCに交換すると、定常に動作調整ができた。従って、本回路ではLSシリーズは薦められない。

(2) BPFの特性曲線から、2段より4段の方が当然フィルターのQ値が上がっている。更に段数を付加すれば、Q値も更に向上するであろう。例えば、8段としても、回路的には、同じ回路部分を直列に付け足すだけである。8段としても、基板の大きさが少し大きくなるだけであろう。希望するならばそうするのも良いであろうが、交換すべき抵抗群は16本×2=32本となる。が、抵抗の価格は100本で300円である。

(3) 本ロックインアンプシリーズでは、OP用マイナス電源の供給源として、DC/DCコンバータICであるMAX635を使用している。大分古い素子である。入手が容易な最新DC/DCコンバータに変更するのも良いであろう。そのようにするならば、前もってテストボードなどで動作試験を行うことを勧める。同様に、使用している乗算器AD835も古参素子である。最新のものに変更するのも良いであろう。この場合でも、前もってテストボードなどで動作試験を行うことを勧める。

### 参考文献

(1) 「携帯型・周波数固定ロックインアンプの製作」、金野茂男、小山工業高等専門学校電子制御子学科、2010年1月、著者のURLで公開。

(2) 「携帯型・周波数固定ロックインアンプの製作—その2」、金野茂男、小山工業高

等専門学校電子制御子学科、2011年2月、著者のURLで公開。

(3)「携帯型・周波数固定ロックインアンプの製作ーその3」、金野茂男、小山工業高等専門学校電子制御子学科、2012年3月、著者のURLで公開。

2013年9月