

簡易ロックインアンプの「作り方」

ロックインアンプ－5の解説

2023年5月

1. 概説

周期性の電氣的微弱信号を抽出できる測定器です。既にロックインアンプに知見がある方には特に説明することはないでしょう。知見のない方はロックインアンプとはどのようなものなのかを事前に理解しておく必要があります。

ロックインアンプの製作については、本ホームページで幾つか紹介していました。が、電子工作に自信のない読者が「自作」するには説明が不十分であったようです。また、ダウンロードできるファイルを圧縮ファイルで提供していました。圧縮ファイルはもう時代遅れですね。解凍の手間がかかる上に、そのためのソフトのダウンロードが必要であり、かつては無料であったのですが、現在は有料となっているのに気がつきました。

前回の紹介時から、大分時は経っていますが、ロックインアンプは現時点でも非常に応用性のある微弱信号測定器であることに変わりはないと思っています。本稿ではより詳細に解説を試みます。より容易に、確実に製作できるようになると思います。

既存メーカーから優秀なロックインアンプが販売されていますが、定価は数十万円もします。製作する本ロックインアンプはメーカー品と比較すると性能及び使用の至便性はかなり劣りますがロックインアンプとしての動作は確実です。大事な点です、本ロックインアンプの必要な部品などの購入費用は1万5千程度と、極めて低費用です。

なお、本ロックインアンプを製作するには、電子工作工具一式以外にオシロスコープと発振器等が必要です。必ず準備してください。メーカー製のロックインアンプの使用時には、やはり必ずオシロスコープと発振器は必須ですね。

2. 製作

写真1が出来上がったロックインアンプです。縦横8cm×12cmの片面基板です。

図1に回路図を掲載しています。2013年9月に紹介した回路⁽¹⁾とほぼ同じです。従って、この文献をダウンロードして読了しておくことを勧めます。多少繰り返しのなりますが、以下で回路の説明を行います。

基板への電源はAC/DCアダプター(AC100V→DC+9V)で供給しています。商業用AC100Vのない環境下では、乾電池などで容易に電源を供給できるようにしています。基板内で必要なリア用電源として±5.5V、ロジック用電源として+5.0Vを各々DC/DCコンバータを利用し供給しています。回路図の左端部がそれらの回路部分です。

被測定信号はバッファアンプで受け取り、適宜増幅し、フィルター特性を高めるために多段化したBPF(バンドパスフィルター)を通過させています。回路図の上半分がそれらの回路です。メーカー品のように、BPFの通過周波数は本回路使用時には自在には設定できません。使用に先立って、回路図中の一連の抵抗とコンデンサの値を変更することで設定することになります。モジュレーション周波数(バンドパス周波数でもある)に近い値にBPFの通過周波数を抵抗とコンデンサの値で決めることになります。コンデン

サの値で大まかに、抵抗の値で少し細かに設定できますが、最終的にはモジュレーション周波数が変更できる場合には、その周波数をBPFの通過周波数に合わせるのが簡単でしょう。それが出来ないならば、BPFの通過周波数がモジュレーション周波数にほぼ一致するように、抵抗を複数組み合わせる必要な抵抗値にすることとなります。BPFを通過した信号は乗算器（入力X×入力Y＝出力Z）の一つの入力となります。

モジュレーション周波数を有する参照信号が、外部参照信号として回路に入力されます。トランジスタのスイッチング動作で、矩形波が形成されます。従って、入力される参照信号は1周期で1回+1Vを程度を越えれば十分でしょう。その後、矩形波がデューティサイクル50%（1サイクルでHレベルが50%、Lレベルが50%）となるように20kVRで調整します。そしてその後、位相調整部でこの矩形波の位相を必要に応じて（最終的には最終直流出力値が最大値になるように）スイッチと20kVRで調整します。最終的出力はHレベルが1.0V、Lレベルが0.0Vの矩形波として乗算器に出力されます。これらの部分が回路図中の最下部分です。

乗算器では、図2で示している2つの入力の乗算が行われる。ここまでの調整が上手く進んでいれば、図2の右側のZ出力が得られる。ここでは交流の半波整流の形になっている。これを適宜増幅し、そして平滑することで直流の出力を得ている。回路図中の乗算器から右下の部分はその回路です。

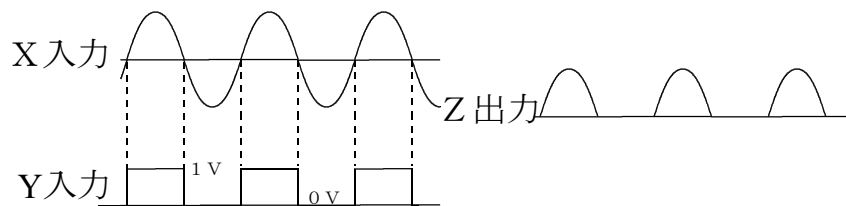


図2 乗算器での信号処理の概略図

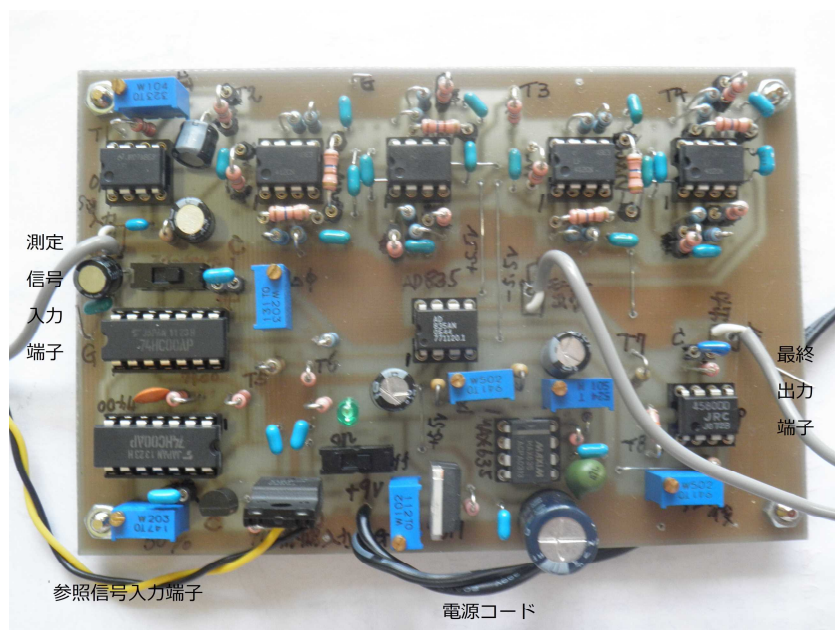


写真1 基板の概観

ロックインアンプ-5

母親はNMR用LIA
キット用の回路図

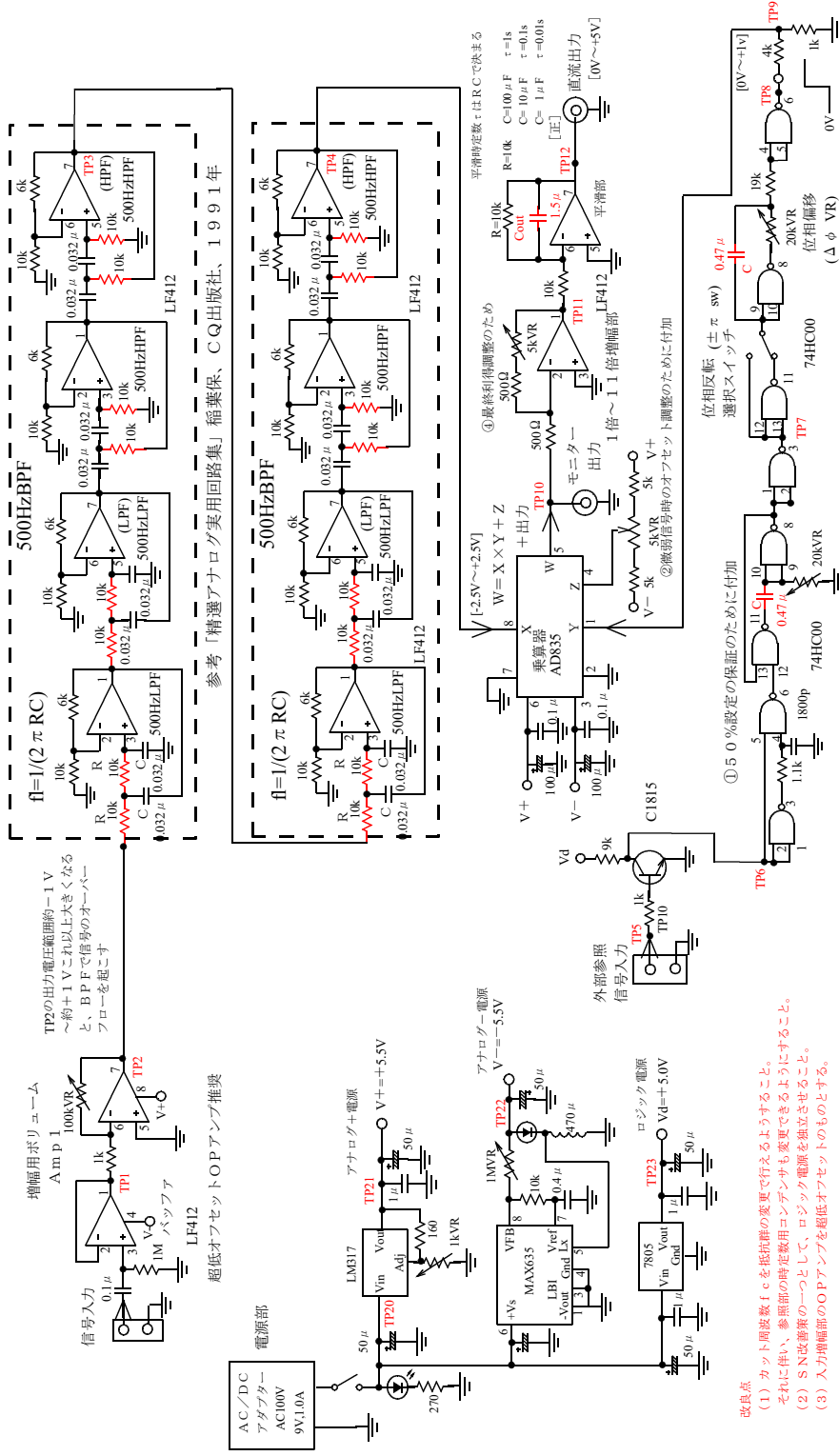


図1 ロックインアンプの回路図

3. 基板の作成

縦横12cm×8cmの片面感光基板を用意する。フリーソフトPCBE（注記：2023年6月初め時点でも、インターネット経由でこのソフトは無料でダウンロードできることを確認済み）で作成した感光基板用フォトマスク（ファイル名LIA-4）の確認印刷のコピーを図3に、版下印刷のコピーを図4に示している。別途、PCBEで作成したファイルをダウンロードできるように添付しているので、実物はそれをソフトPCBEで展開して利用する。従って、基盤を作成するためには、一連のフォトプロセス（マスクの作成、露光、現像、エッチング）をする必要がある。能力と用具が必要となる。

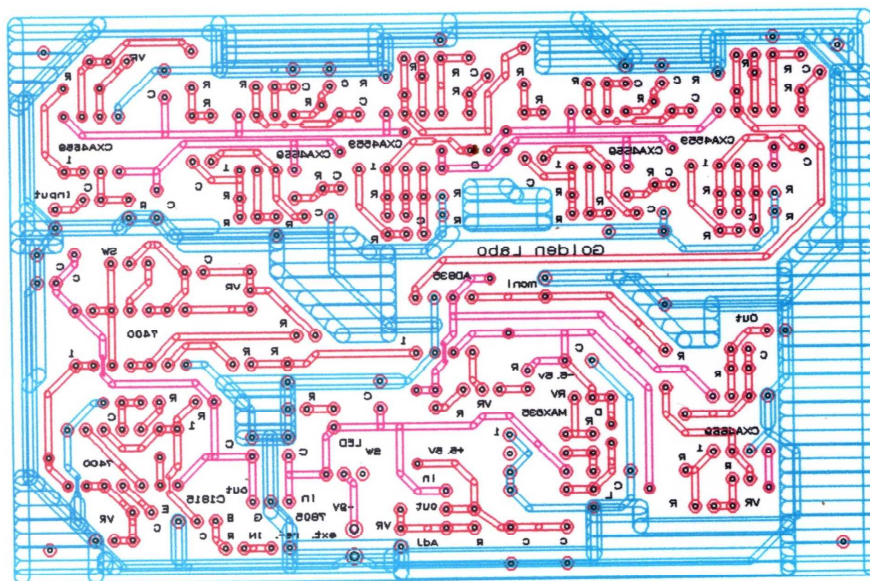


図3 PCBEで作図のフォトマスクの確認印刷版。ここでは、空色部分がアース、赤色部分が配線部、黒丸部分がピンホール部となっている。

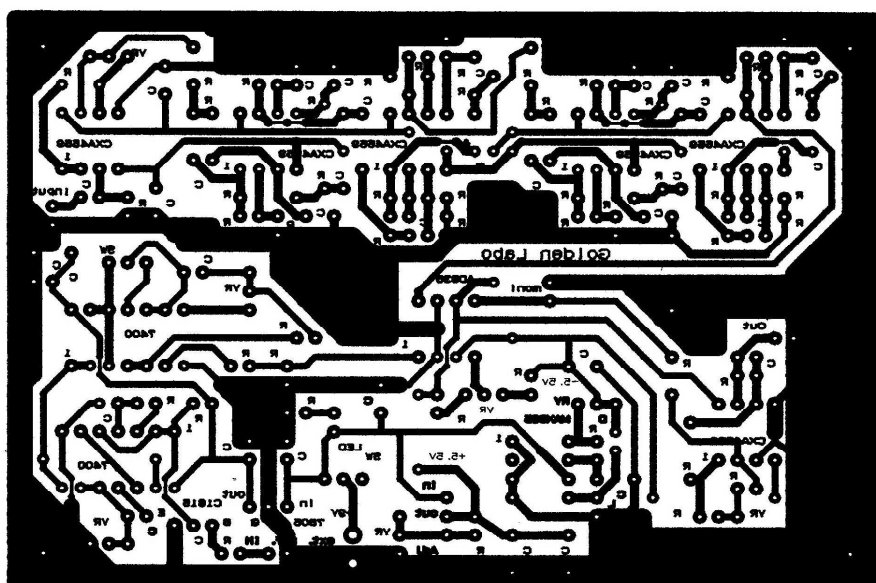


図4 PCBEで作図のフォトマスクの版下印刷版

(1) 基板には何か所かのジャンプ配線部分があるので、基板に素子を載せる前にそれを済ませておく。

(2) 多端子 IC は基板に直付けではなく、ソケットを使用することを勧める。

(3) 回路の動作確認のためには、図 1 中で示した TP (テストポイント) 位置でのチェックが必要となる。オシロスコープもフックを引っ掛けられるように、素子の取り付け方に少し工夫をするか、或いは基板中に別途 TP 端子を立てるのも良い。なを、後になって、多段のロータリースイッチを用いることにした。各テストポイントからロータリースイッチに配線をし、スイッチの切り替えで自在に出力をモニターできるようにした。これについては後述している。

(4) 組上げの最初は電源関係とし、順次動作の確認を行う。信号関係は入力段から順次くみ上げ、そして正常な動作を確認する。

4. 回路電源の調整の仕方

(1) 図 1 中の TP 20 をモニターし、電圧が約 9 V であることを確認すること。

(2) アナログ正電圧の調整

LM317 の 1kVR を回し、TP 21 を約 +5.5 V とする。

(3) アナログ負電圧の調整

MAX635 の 1MVR を回し、TP 22 を約 -5.5 V とする。

(4) ロジック電圧の調整

7805 の所の TP 23 が約 +5.0 V となっていることを確認する。

5. ロック周波数の設定の仕方

回路図中の BPF 部で赤で記している $R = 10\text{ k}\Omega$ の抵抗群と $C = 0.032\ \mu\text{F}$ のコンデンサー群は、モジュレーション周波数 (抽出したい信号の周波数、ロック周波数) を約 500 Hz 前後としている場合である。当然ながら、必要に応じて、これらの値を変更し、モジュレーション周波数を変更することが出来る。そのため抵抗はソケットで差し替えできるようにしている。コンデンサはそうはしていない。

モジュレーション周波数が決まったならば、コンデンサの大凡の容量を決め、その後、抵抗で小刻みするのがベターとみた。図 1 中の外部参照信号処理回路部中の $0.47\ \mu\text{F}$ の 2 つのコンデンサーはモジュレーション周波数が 500 Hz 当たりの時のものである。モジュレーション周波数の大小に従って、このコンデンサの容量も変更する必要がある。トライ&エラーである。

BPF 部分の通過周波数 (つまりロック周波数或いはモジュレーション周波数) は、R と C の群の値を周波数公式

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

に代入することで設定できる。本回路は、一般市販のロックインアンプと違い動作中に自在にこのロック周波数を変更することは出来ない事に留意しなければならない。従って、本回路の使用に先立って、BPF の通過周波数を希望するロック周波数に設定することが必要となる。次のようにすると良い。

(1) ロック周波数 f_1 が限定されている場合

公式(1)に従って、大まかなRとCを決める。微調整は抵抗Rを変えて行うこととする。基板では、Rはソケットへの差し込み方式としているので、微調整に対応させている。

BPF部分まで組み上げが終了したならば、信号入力端子に、発振器からのサイン波を入力させる。TP3そしてTP4をオシロでモニターする。指定のロック周波数 f_1 付近でサイン波の出力が最大になるのかを、発振器の発振周波数を変化させて確認する。希望している f_1 とズレている場合には、R群の抵抗値を微調整する。これを繰り返し、最終的にBPFの通過周波数が f_1 にほぼ一致するまで繰り返す。

(2) ロック周波数 f_1 が限定されていない場合、つまり自分で決められる場合

公式(1)に従って、大まかなRとCを決める。

BPF部分まで組み上げが終了したならば、図5に示している略図のように、信号入力端子に、発振器からのサイン波を入力させる。TP3そしてTP4をオシロでモニターする。発振器の発振周波数を変える。サイン波の出力が最大になる発振器の発振周波数が本回路のBPFの通過周波数 f_1 となる。このBPFの通過周波数を、ロック周波数として選択決定をする。

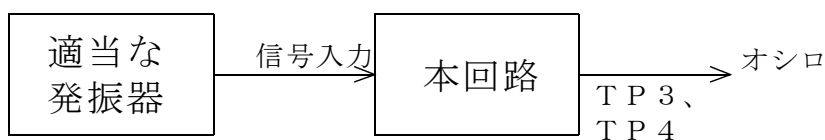


図5 ロック周波数の設定及び確認のためのブロック図

6. 参照信号処理回路の調整方法

以下の手順で行う。

(1) 発信器の出力を周波数が大凡500Hzで、±1V程度の正弦波とし、外部参照信号端子から入力させる。(この信号は1周期で一度だけ+約1Vを横切っていれば良い。) この信号はTP5でモニターできる。写真2中の上の波形を参照。

(2) TP6をモニターすると、1周期でHレベルが+5V、Lレベルが0Vのパルス波形が見られよう。写真2中の下の波形を参照。

(3) TP7をモニターし、デューティ比(Hレベルが50%、Lレベルが50%の矩形波)が50%になるように手前の20VRを回して調整する。写真3参照。

(4) TP8をモニターし、位相反転スイッチと、その後の20kVRを動かすと、矩形波が左右に移動したり反転することを確認すること。これで位相をずらすことが出来る。この部分は実測において再調整するので、当面はそのままにしておいて良い。写真4参照。

(5) TP9をモニターし、Hレベルが約1Vであることを確認する。写真5参照。

オシロ画面 横軸 0.5ms/div

縦軸 1V/div

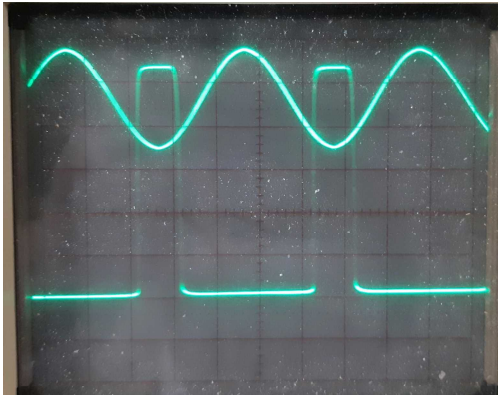


写真2 1. と 2. の様子

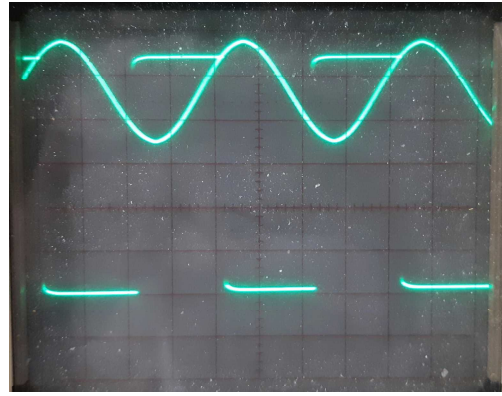


写真3 3. の様子

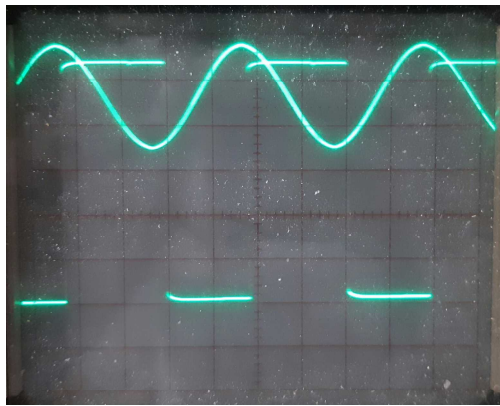


写真4 4. の様子

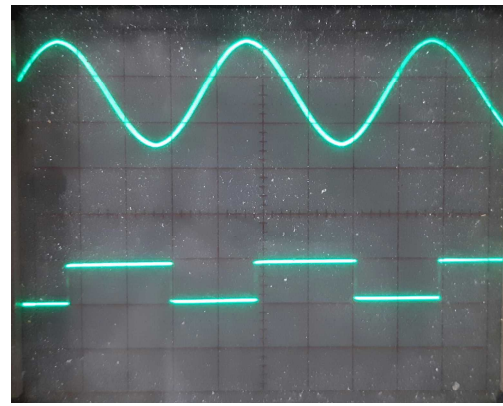


写真5 5. の様子

5. 実際に測定抽出したい信号と同じ周波数の正弦波(が簡単)を利用しての回路の調整

発信器から正弦波出力を被測定信号及び参照信号として利用する。図のように測定ブロックをくみ上げる。

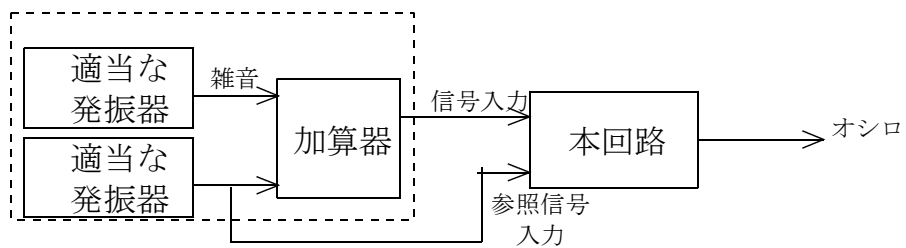


図6 測定ブロック図

なを、オシロスコープのプロープのクリップを各テストポイントに付け替える手間が煩

わしくなった。写真6に示しているように、基板の右端に1回路12接点のロータリースイッチを取り付けた。図7中のTPの番号は、図1中に記入している各TP番号に対応している。モニター端子に、オシロスコープのプロブを接続しておくだけで、スイッチの切り替えで各テストポイントをモニターできるようにした。

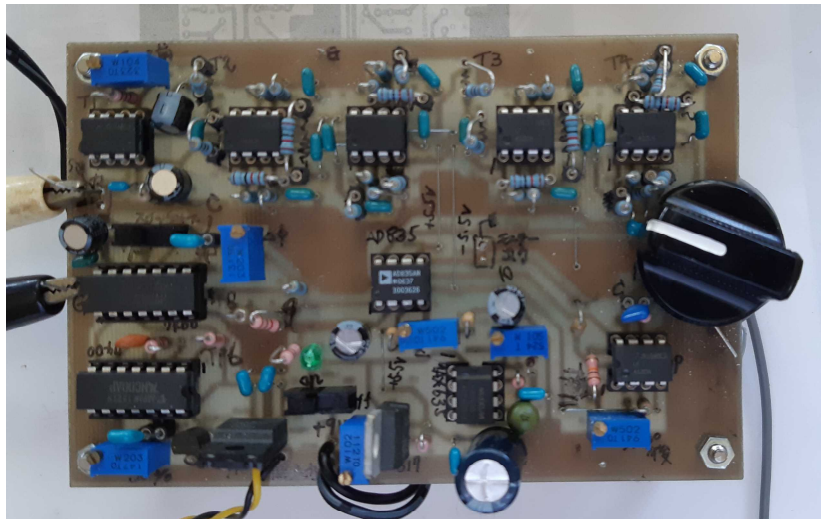


写真6 基板にロータリースイッチを付加し、回路の動作チェックを容易にした

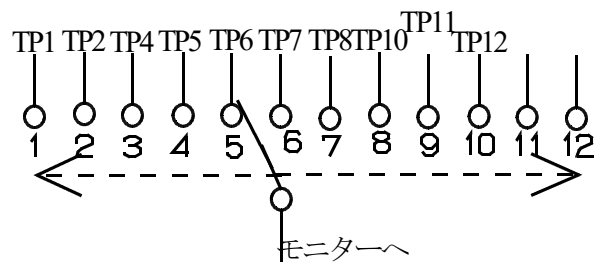


図7 ロータリースイッチの配線図。TP1～12は図1中のテストポイントの番号

調整その1. 雑音の小さい状況下で、まず初期調整を行う。加算器で雑音成分を適当に小さくし、測定したい信号成分のみにして、基板の信号入力に入れる。

(1) TP1で入力信号をモニターする。TP2で信号をモニターし100kVRを回して、増幅度を調整する。オーバーフローしないようにする。

(2) TP4をモニターする。現在は約500Hzのバンドパスフィルターとなっているが、正確に500Hzとは限らない。発信器の発信周波数を上げたり下げたりして、TP4のモニター信号がピークを示す周波数が、真のバンドパス周波数である。その所に発信器の発信周波数を固定する。

(3) TP5をモニターする。参照信号の源波形が見える。

(4) TP6をモニターする。確実な矩形波を確認する。

(5) TP7をモニターする。矩形波がデューティ比50%でなければ、なるように近傍

の20kVRを回す。

(6) TP8をモニターする。位相を希望する位置にする。

(7) TP10をモニターする。半波整流波形を確認する。ズレていれば、位相を調整。オフセットが大きければ、演算器の近傍のオフセット用VRを回して調整する。

(8) TP11をモニターする。半波整流波形を増幅したければ、近傍の増幅用VRを回す。

(9) TP12をモニターする。信号の平滑した出力が得られる。入力信号の大小と比例することを確認する。

調整その2. 加算器で雑音成分を大きくするか、抽出したい信号成分を小さくして、測定に取りかかる。例えば、信号成分：雑音成分=1：10としてみる。TP1でのモニターでは雑音に僅かながら信号成分が視認できよう。後は調整その1での手順を繰り返す。信号成分が最終直流成分として得られることを確認する。

調整その3. 信号成分：雑音成分=1：100としてみる。TP1でのモニターでは全く信号成分は視認できない、雑音成分にかき消されている。が、回路が正常に調整されていれば、最終直流成分が確認できよう。

製作後の感想

(1) BPF部のコンデンサーも抵抗と同じくソケットへの差し込み型とすれば、本回路は極めて広範囲な周波数での使用に耐えるものとなる。

(2) 後半に記したように、ロータリースイッチを使用すれば、基板の各テストポイントのモニターは、スイッチの切り替えだけとなり非常に容易となる。

(3) 基板上に取り付けている動作調整用の可変抵抗も、この基板をやーシーなどのケースに収めるならば、シャーシに取り付けられる用にする方法も考えられる。

(4) 現用している乗算器AD835ANZ（若松 5400円）は相対的に高価格であった。同様の乗算器にはAD633ANZが秋月で2400円で販売されている。足ピン配置も同じようである。2種ともアナログデバイズのものであり、使えるかもしれない。

6. ロックインアンプ-5の部品について

2023年2月28日

一般名称	素子名など	個数	購入先	価格
OPアンプ (2回路入り)	LF412	6個	秋月	234円×6
乗算器	AD835ANZ	1個	若松	5400円
3端子レギュレーター	LM317P	1個	秋月	205円
	7805CV	1個	秋月	96円
DC/DCコンバーター	MAX635ACPA+	1個	若松	880円
トランジスタ	2SC1815	1個	秋月	65円
ロジックIC	74HC00	2個	秋月	65円×2
基板取り付け用VR	1k	1個		
	5k	2個		
	20k	2個	秋月	345円×7
	100k	1個		
	1M	1個		
μコイル	470μ	1個	秋月	150円
感光基板 (片面)	12cm×8cm	1枚	千国	730円
AC/DCアダプター	入力100V、 出力9V, 1A	1個	秋月	700円
			合計	12175円
その他				
ICソケット	デュアル8ピン	8個	秋月	37円×8
	デュアル14ピン	2個	秋月	57円×2
ロータリースイッチ	1回路12接点	1個	秋月	150円
抵抗				
セラミックコンデンサ	回路図と基板写真を参考にして適宜に選び出すこと			
電解コンデンサ				

参考文献

(1)「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、2013年9月、著者のURLで公開。」