

第1章



確実に動作して永く使える電子機器を作るために

電子回路の製作テクニック

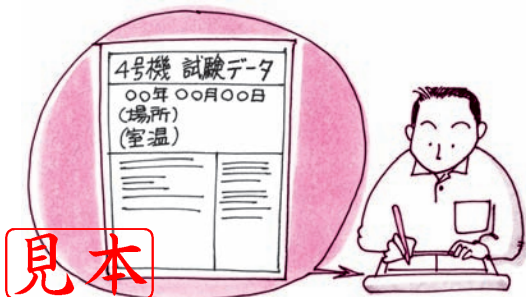
はじめに

本書ではこれから電子回路の実験や電子機器の試作に必要な計測器を製作して、自分一人のためのワークベンチを完成させます。

計測器を製作するといっても、オシロスコープやスペクトラム・アナライザを製作するのはとても大変なので、信号発生器、増幅器、電圧計それに電源など比較的少ない部品で製作できる範囲での計測器の製作とします。

計測器を製作するためにも計測器が必要になります。ニワトリが先か卵が先かといった悩みがつきませんが、本書では100 MHz程度のアナログ・オシロスコープをもっていることを前提に解説していきます。幸いなことに、最近はオシロスコープの価格が劇的に低下し、新品の1 Gサンプル・デジタル・オシロスコープがなんと十数万円で手に入ります。それに比べ、リースバックなど中古のオシロスコープの価格も下がりました。現在では比較的程度のよい100 MHz帯域程度の中古アナログ・オシロスコープが数万円で手に入るようになっています。

〈図1-1〉試験データ書をとっておく



オシロスコープさえ手に入れば、あとは工夫と根気で計測器を製作することができます。

本書のスタイル

本書では、次のこと念頭に製作と解説を進めていきます。

● 実用になる計測器を製作する

せっかく苦勞して作り上げた計測器が実用にならないのでは興味は半減します。製作した計測器が次の計測器の製作・試験・データ取りに役に立つことを目標に製作を進めます。永い間使用するためには、内部回路はもちろん使用するケースやデザインも重要です。

● 製作した計測器の試験データを記載する

計測器は、製作しただけでは完成度は半分です。製作した計測器の試験データ、つまり試験成績書が命となります(図1-1)。

● 製作した計測器の応用例を紹介する

計測器をどのように使いこなすか、これは重要な技術です。製作した計測器を組み合わせでの計測事例をたくさん紹介したいと考えています。

● 回路シミュレータを使用して回路動作を説明する

現在では、回路設計にシミュレータを使用することがあたりまえになっています。本書では、効果的なシミュレータの使用方を紹介したいと思います(図1-2)。

〈図1-2〉シミュレータを効果的に使う方法を紹介



● 機能を欲張らず小型に製作する

自作の際、機能の取捨選択はとても大切で難しいところ です。

製作をはじめた最初のころは、機能を欲張りすぎて完成にまで至らなかったものがたくさんあります。機器の製作は、最後まで仕上げてはじめて設計のバランスの勘所が習得できるものです。私の周りには、秋葉原通いは熱心なのに、まだ1台も完成に至らない人がいます。趣味なので害が及ぶわけではありませんが、あまりいただけません。

● 再現性のよい安定な回路を使用する

高性能でも周囲温度変化に弱くては実用になりません。あまりトリッキーな回路は避け、なるべく定番となる回路構成を目標にしたいと思っています。

● 特殊な部品の使用を避けて、できるだけ安価な部品を使用する

誰にも真似できないものを完成させるのが、趣味としての機器製作の醍醐味です。

また、地球環境が問題になっている今、中古機器の再利用もとても意味のあることです。しかし本書は、ビギナに電子回路の面白さを発見してもらうことが第一の目標なので、入手性のよい安価な部品を使用することを心がけます。

*

あまり目標をたくさん挙げると計画だおれになって、目標にそぐわなくなります。

見本

組み立て/配線のための ワンポイント・アドバイス

実際の製作に入る前に、これからの製作に役に立ちそうなテクニックをランダムに紹介します。これらは日頃、筆者が行っているものです。

● 製作は計画的に

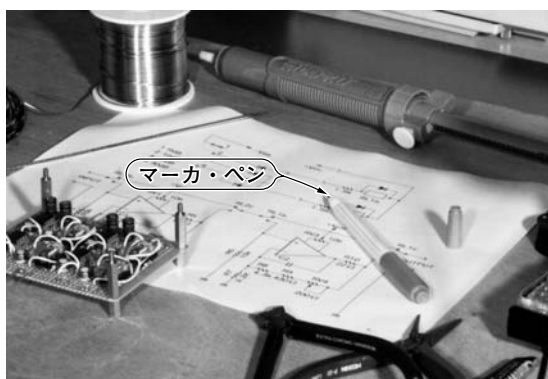
いきなりはんだごてを握って作業を開始しても、製作は成功しません。

ソフトウェア設計においては、いきなりキーボードを叩いてコーディングを始めず、構造設計から詳細設計へと順々に仕事を進めていきます。ハードウェアの製作においても、まず仕様を明確にして、回路図そして配置図を書き、十分検討してから開始します。ハードウェアもソフトウェアと同じなのです。

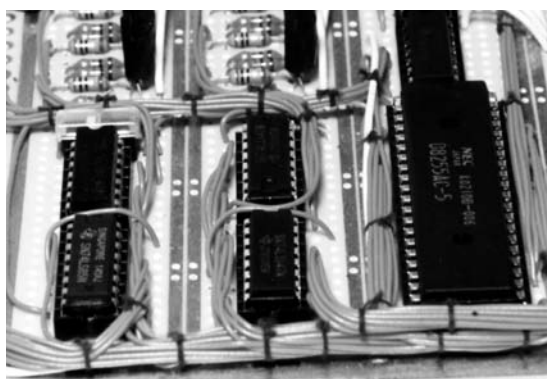
● 配線は確実に、そして正確に

そしてなにより大切なのは、確実にそして正確に配線を行うことです。今まで、趣味で数多くのセットを組み立てましたが、一発で動作するということはまれでした。必ず1、2箇所の誤配線や未配線がありました。誤配線や未配線があまりにも多いと、ついには完成しないで終了ということになってしまいます。

この誤配線や未配線を防ぐにはまず、必ず自分で回路図を書いて動作を理解します。そして、写真1-1のようにマーカー・ペンを使って回路図に色を塗りつつ、配線済みの箇所をチェックしながら作業を行います。



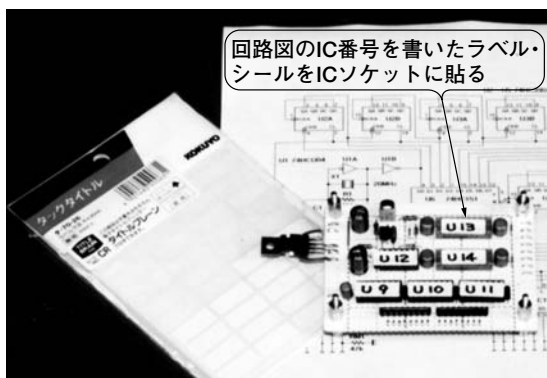
〈写真1-1〉 マーカ・ペンで回路図に色を塗りながら配線作業をする



〈写真1-2〉 ロジック回路は部品面で配線すると良い



〈写真1-3〉 すっきりとしたロジック回路のはんだ面の様子



〈写真1-4〉 ICソケットにはラベル・シールを貼る

● ロジック回路の配線は部品面で

ユニバーサル基板でロジック回路を配線するとき、線が多くなるので、慣れないときれいにまとめるのが大変です。

私は、写真1-2のようにロジックの配線を部品面で処理しています。調整時に誤配線を発見したり、配線変更が生じたときに、部品面で配線してあれば、はんだ面の空間が多くなり、はんだ吸い取り器で配線を外すのが楽で、きれいに変更できます。写真1-3に示すように、はんだ面はすっきりしています。

● ICソケットにラベル・シールを貼る

製作では誤配線は禁物ですが、なかなか皆無とはいきません。いろいろ工夫して誤配線を防ぐことになります。

写真1-4のように、ICソケットを取り付けたあと、ラベル・シールに回路図のIC番号を書いて、ICソケットに貼ると、配線がわかりやすく誤配線が少なくなります。

見本

● ユニバーサル基板の四隅にスタッドを

ユニバーサル基板に部品を取り付け、はんだ付けするとき、写真1-5のように部品の高さよりも少し長いスタッドを四隅に取り付けます。すると基板を安定して置くことができ、はんだ面でのはんだ付けが楽になります。

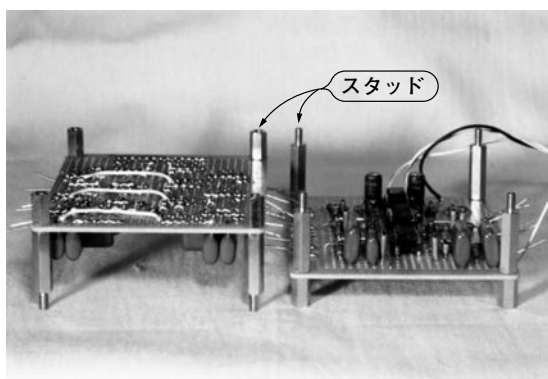
● メンディング・テープで識別する

プリント基板とロータリ・スイッチなどの間に多数の配線が必要になる場合があります。このようなときは、はんだ付けしにくいほうを先にはんだ付けします。そして写真1-6のように、線材に鉛筆や油性マーカで識別番号を記入したメンディング・テープを貼り付け、きれいに束ねてからもう片方のはんだ付けを行うと誤配線することなくきれいに仕上がります。

● ビニール電線の処理

プリント基板から、パネルに取り付けたスイッチなどへ盤間配線するときは、単線よりも撚り線のほうが柔かいので振動で切れにくく、多く使われます。

撚り線は、外皮のビニールを切り取ってしまうと、



〈写真1-5〉ユニバーサル基板の四隅にスタッドを取り付ける

中の線がばらばらになってしまうので、線を手で撚ってはんだ付けして使います。このとき図1-3に示すようにビニールを半分取り外し、摘んで線を撚ると簡単できれいに仕上がります。そして予備はんだしてから必要な長さに切ります。

● 蛇の目基板の配線材

一般にアナログ回路をユニバーサル基板で製作する場合、はんだ面ではすずめっき線を使って接続します。このようなとき私は、φ0.8のはんだめっき線を使用しています。

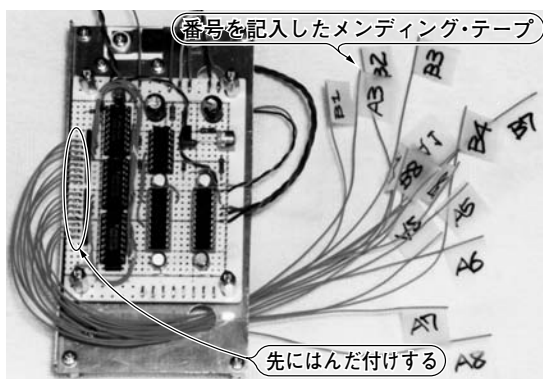
はんだめっき線は、入手に少し難がありますが、当然すずめっき線よりのはんだのりがよく、気持ちよくはんだ付けできます。ただ、線材の太さには好みがあるかもしれません。

はんだめっき線をきれいに使用するには、図1-4に示すようにはんだめっき線を3m程度に切り、片側をドアの取っ手などに絡めて固定し、もう一方をペンチなどで挟んで1～2cm程度引き延ばします。きれいにまっすぐになったら、この状態のまま曲がらないようにして30cm程度に切り揃えておきます。そして必要に応じてラジオ・ペンチで曲げて使用すると、きれいな配線に仕上がります。

はんだめっき線があれば、すずめっき線は不要に思えますが、線材屋さんいかがでしょうか？

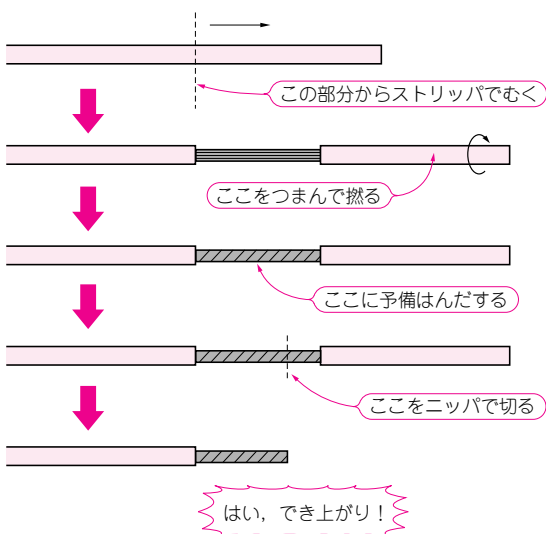
● プリント基板から配線の引き出し

プリント基板から配線を引き出す際に、プロは必ずコネクタを使います。しかし、専用の圧着工具が必要なコネクタが多く、また専用の圧着工具はとても高価です。

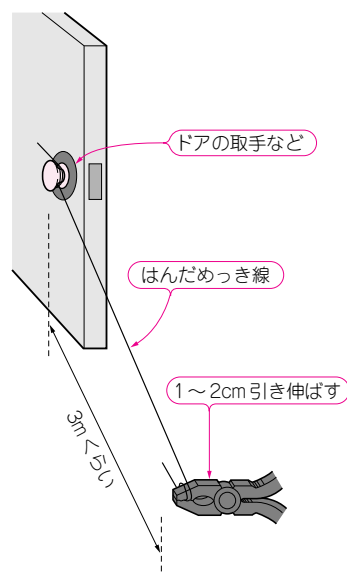


〈写真1-6〉線材にメンディング・テープを貼って識別する

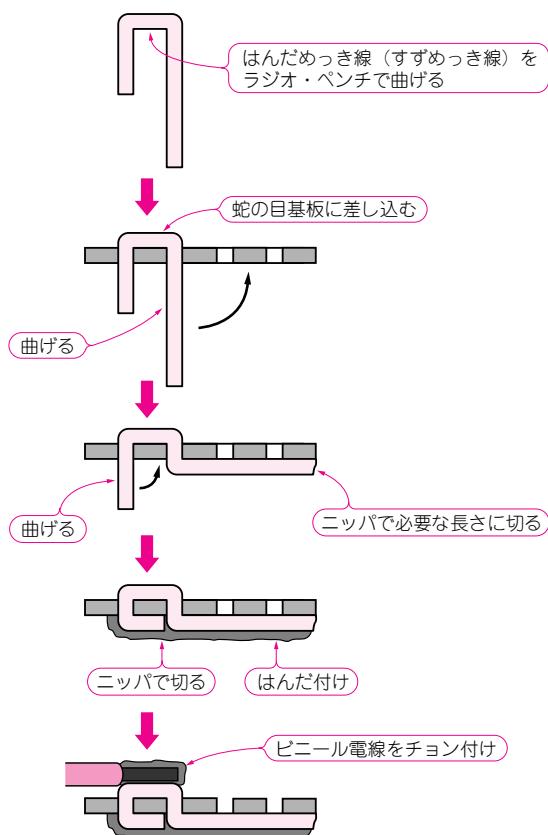
〈図1-3〉ビニール電線の処理法



〈図1-4〉
はんだめっき線を
まっすぐ伸ばす方法



＜図1-5＞ 自作端子の作り方



私はこのようなとき、はんだめっき線を曲げて蛇の目基板に取り付けて端子を作り、その上から線材をはんだでチョン付けしています(写真1-7)。図1-5に端子の作り方の詳細を示します。

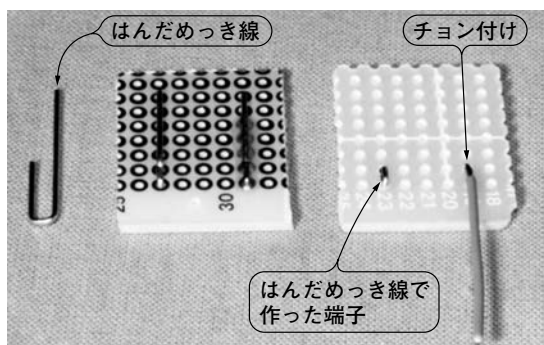
このように端子を自作すればコネクタのコストもかからず、はとめよりも処理が簡単で、また外すのも簡単です。

● チョン付け

プロがチョン付けすることは禁物です。必ず絡げてからはんだ付けするようです。しかし私は写真1-8のようにチョン付けを多用しています。

プロと違ってアマチュアは、製作したセットを自分で解体することが多く、解体したセットの部品は当然また再利用します。このようなときチョン付けしてあれば、簡単にきれいに解体できます。

今まで、チョン付けしたはんだが外れた、という経験はありません。一般に民生などの電気製品では、輸送などをシミュレーションする振動試験や落下試験を



＜写真1-7＞ はんだめっき線で端子を自作して、基板から配線を引き出す

行っていますが、アマチュアの製作ではこれらの試験を行う必要がありません。

また部品再利用が簡単なチョン付けは環境に優しいかもしれません。

● ラジオ・ペンチ(プライヤ)とニッパ

製作するために、ラジオ・ペンチとニッパは欠かせません。私は写真1-9に示すホーザン(株)のP-51とN-35を愛用しています。

P-51は先が細くテーパー状になっており、はんだめっき線を直角に曲げるのに便利です。ただし無理な力を与えると先が折れやすいので注意が必要です。私はもう2本も折ってしまいました。

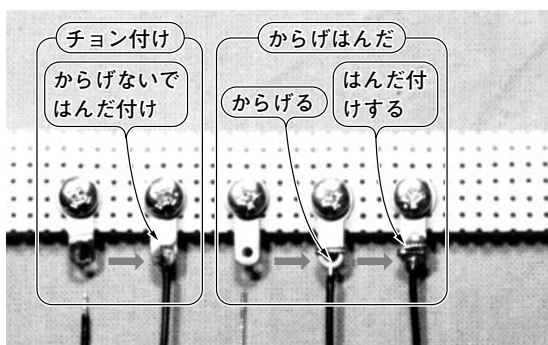
N-35は刃先と握りの大きさがちょうどよく、はんだめっき線などが気持ちよく切れます。刃先はニッパの命です。

● 束線の方法

盤間配線において配線の本数が増えてきたら、束線して線材を固定します。このとき図1-6のように束線すると、緩みなく束線できて、きれいに仕上がります。また束線にはモノフィラ(透明)とかオパリアン(注)と呼ばれる束線用のビニール線が使用されます。

細線材を束線する場合、私は写真1-10に示すレース編み用の糸を使用しています。細くて強く、1巻購入すれば一生使えるほどの量があります。手芸品売場で5巻ほどまとめて販売されています。手芸好きなパートナーをもつ幸せな人は、彼女から余り品を調達しましょう。

注：中心に木綿糸が通っていて、ちょっと真珠のような色をしている束線用ビニール線



〈写真1-8〉 チョン付けと絡げ付け



〈写真1-9〉 精密ラジオ・ペンチと精密ニッパ

● バリ取りには刃先の厚い切り出しナイフを使う

テーパー・リーマなどで穴を開けると、必ずバリが生じます。このようなとき私は写真1-11のように、刃先の厚い切り出しナイフでバリを切り取っています。刃先の薄いカット・ナイフは刃がこぼれてしまうのでバリ取りには適しません。

また、φ5以下の小さな穴は、φ10以上のドリルの刃をピン・バイスに取り付けてバリ取りに使います(写真1-12)。

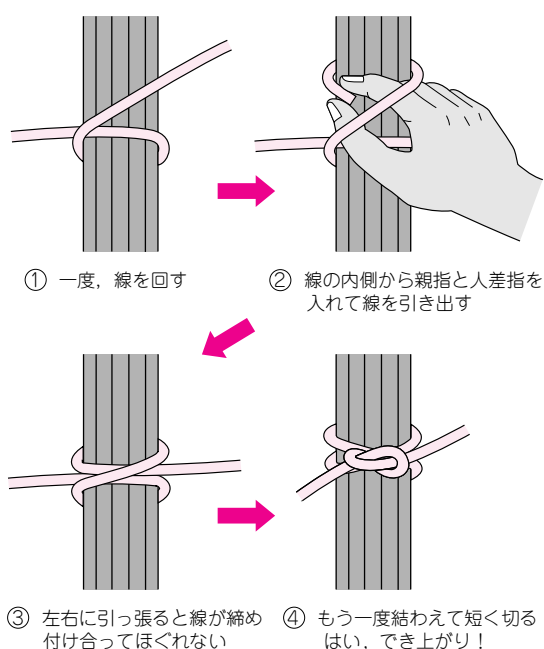
● トグル・スイッチの取り付けナットは内側で締める

トグル・スイッチには必ず2本のナットが付属しています。パネルに取り付けたとき、スイッチのネジの部分が出すぎないようにビスで位置を調整します(図1-7)。

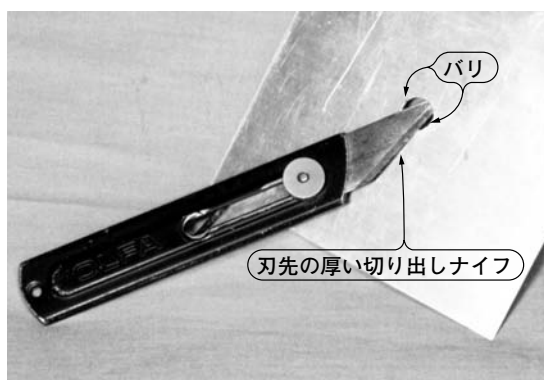
最後は写真1-13のように、内側でナットを強く締め付けて取り付けます。するとパネル面に傷がつかずきれいに仕上げることができます。

また、このような目的のとき一般的なスパナは厚み

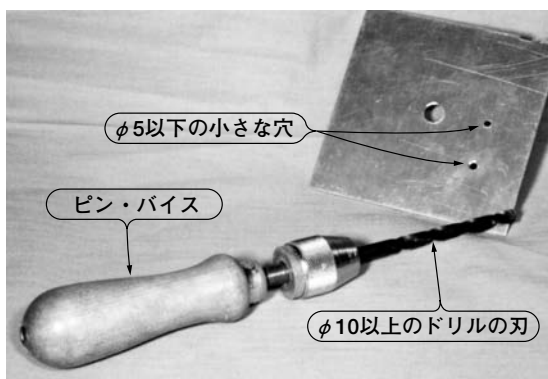
〈図1-6〉 束線の方法



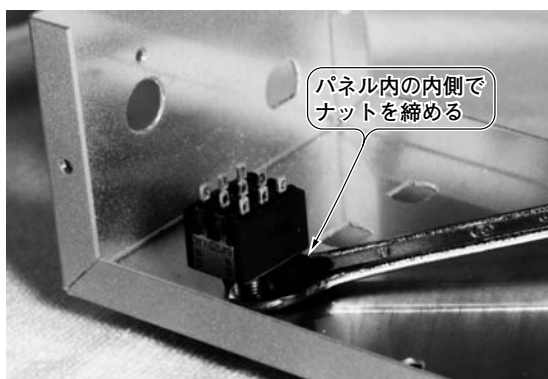
〈写真1-10〉 レース編み用の糸



〈写真1-11〉 切り出しナイフでバリを取る



〈写真1-12〉小さな穴のバリはピン・バイスを使って取る



〈写真1-13〉トグル・スイッチのナットはパネルの内側で締める

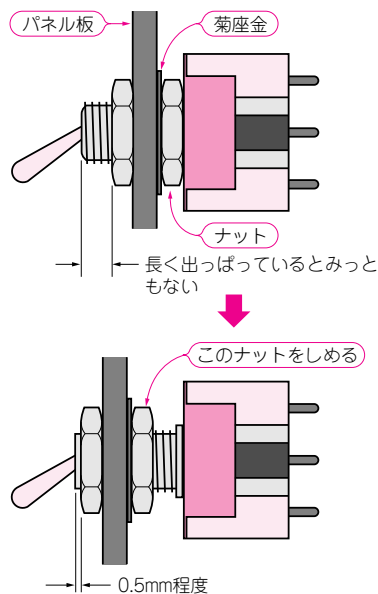


〈写真1-14〉先の薄いスパナ



〈写真1-15〉熱容量の違う3本のはんだごて

〈図1-7〉トグル・スイッチの取り付け



があって適しません、私はスパナをグラインダで薄く削って使用していますが、写真1-14のような先の薄い専用のスパナが市販されています。

● はんだごて

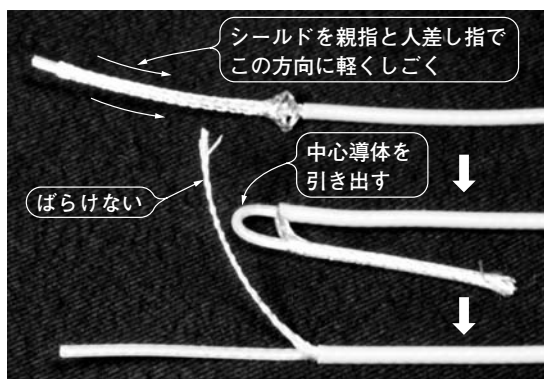
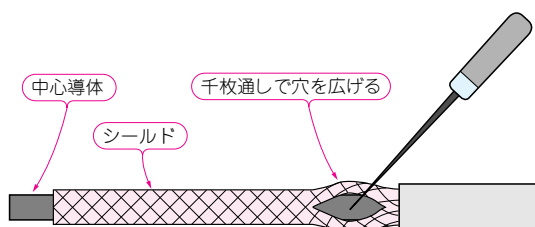
料理人は包丁が命ですが、我々のはんだごてが命です。写真1-15は、私が愛用している高千穂電気製の3本のはんだごてです。セラミック・ヒータを使用しているため絶縁がよく、小電力の割には大きな熱量が得られます。

はんだごては、最低2本は準備しましょう。ICの配線から盤間配線までを、1本のはんだごてで処理するのはとても無理です。また高周波回路を製作する場合、ケースにじかにはんだ付けする場合がありますから、ケースに負けない熱容量の大きなはんだごてが必要です。

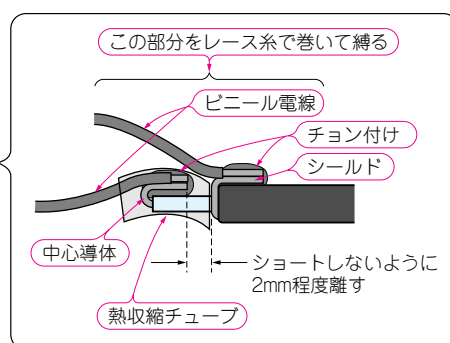
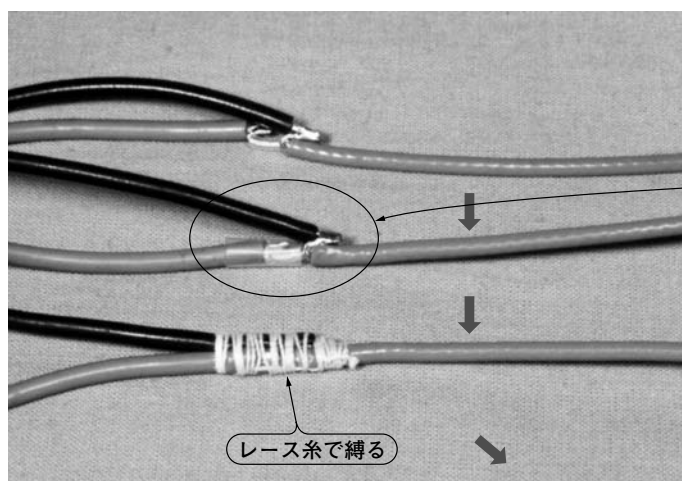
私が一番不満に思っているのは、はんだごての電源コードです。ICの足をはんだ付けするときに使う10 W程度のはんだごてに、まるで数百 Wのトースタ用ではないかと思われる電源コードが付属しているのは納得がいきません。細かい作業にはコードの重さで

見本

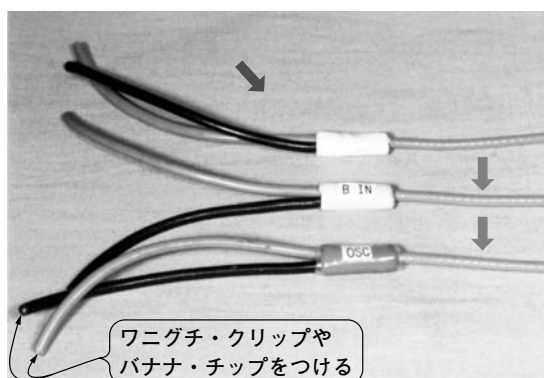
〈図 1-8〉 シールド線の中心導体を引き出す方法



〈写真 1-16〉 シールド線の処理



(a) 被覆を剥す～ビニール線のはんだ付け～熱収縮チューブをかぶせる～レース糸で縛る



(b) ビニール・テープを巻く～信号名を印刷した紙を貼る～熱収縮チューブをかぶせる

〈写真 1-17〉 実験用信号ケーブルの作り方

さえとても気になります。ステレオ・ウォークマンのヘッドホン・ケーブルの使用感が最高ですが、当然危険なのでお奨めできません。2芯シールドのなかに使用されているテフロン電線もよいようです。

見本

というわけで、はんだごての電源コードは、メーカ

さんに改善してもらいたい点です。

● シールド線の処理

静電結合で雑音が混入しないようにシールド線を使用します。シールド線の外皮の処理は写真 1-16 のよ



〈写真1-18〉ドライヤの熱風の温度を上げる方法

うに行います。

まず外皮をむき、シールドの部分の少し下げて膨らませます。次に、シールドの腹を千枚通しのような先の尖ったもので少し開いて中心導体を引き出します(図1-8)。シールドの部分を付け根から手でしごくと、シールドがばらばらにならずきれいに処理できます。

● 実験用信号ケーブルの作り方

実験の際、いろいろな種類のケーブルを使用します。そのなかでもBNC-ワニグチ・ケーブルは使用頻度の高いものです。専用のケーブルも市販されていますが結構高価です。そこで、私は次のようにしてこのケーブルを自作しています。

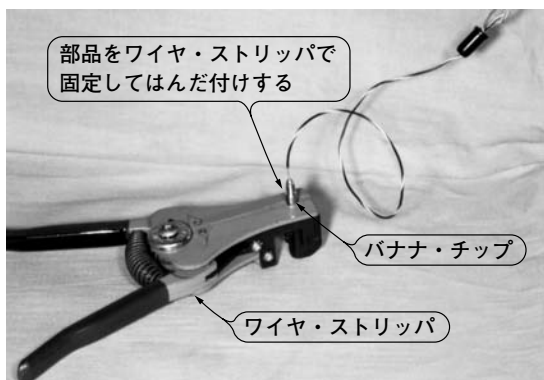
写真1-17(a)に示すように、被覆をはがした同軸ケーブルの導体を曲げて、ビニール電線をはんだ付けします。次にシールド部分と中心導体がショートしないように、中心導体に熱収縮チューブをかぶせます。引っ張ってもはんだ付けの部分にストレスがかからないように、レース糸で縛ります。

そして写真1-17(b)に示すように、糸で巻いた上にビニール・テープを巻きます。このときビニール・テープの色を変えておくと、あとで識別できるので便利です。

次にプリンタで紙に信号名を印刷して、両面テープを付けてビニール・テープの上に貼り付けます。最後に、その上を透明な熱収縮チューブで覆って固定します。

あとは用途に応じて、ワニグチ・クリップやバナナ・チップを取り付ければ完成です。

このように熱収縮チューブは線材の処理にとっても便利です。秋葉原に行くと透明なものだけではなく、カラフルな熱収縮チューブがセットで売られています。昔の放電機に使った細い乾電池の外装の熱収縮チュ



〈写真1-19〉ワイヤ・ストリッパを部品押さえに利用する

ーブを外して、大事に使用したりしました。

● ドライヤの給気口を手で覆う

熱収縮チューブを普通のドライヤで収縮させようとすると熱容量が不足します。かといって専用のヒート・ガンを買ってもそれほど使用頻度がありません。

このようなときは、写真1-18のように後ろの給気口を手で覆って作業します。普通のドライヤでも、風量が減って熱風の温度が上昇し、うまく収縮させることができます。

しかし、この方法で長い間続けて作業すると、ドライヤの中のサーモスタットが働き、電源が切れてしまいます。使用時間には注意が必要です。

● ワイヤ・ストリッパのもう一つの使い方

コネクタなどに線材をはんだ付けするとき、手が3本あったらいいのに、と思うことがしばしばあります。ときには、口を3本目の手の代わりにします。

このようなとき、写真1-19に示すようにワイヤ・ストリッパで部品を押さえをはんだ付け作業をします。ワイヤ・ストリッパの押さえ強度はとても具合が良く、はんだ付け作業が簡単になります。

万力は、バネ性がないため強度の調節が難しく、また手軽ではありません。工具メーカーさん、ぜひ専用の押さえ工具を開発してください。

私は写真1-19のワイヤ・ストリッパはこの用途以外には使わなくなっています。

次章から実際に製作をすすめていきます。製作についてのアドバイスもそのつど述べ、製作をよりいっそう楽しいものにしていきたいと思っています。

ぜひ自作計測器の世界を楽しんでください。

見本

第2章



フィルタの過渡応答やアンプの特性の評価に役立つ

パルス&パターン・ ジェネレータの設計と製作

オシロスコープだけあっても信号源がないと実験が始まりません。そこで、本章は比較的簡単で精度のよい水晶発振子を使ったパルス・ジェネレータを製作します(写真2-1)。また、8ビットのパターンを自由に設定できるパターン・ジェネレータを2チャンネル付加して、応用範囲を広げました。

本器はオシロスコープのキャリブレーションや、増幅器のパルス応答波形の実験などにも使えます。

メーカ製のパルス・ジェネレータ

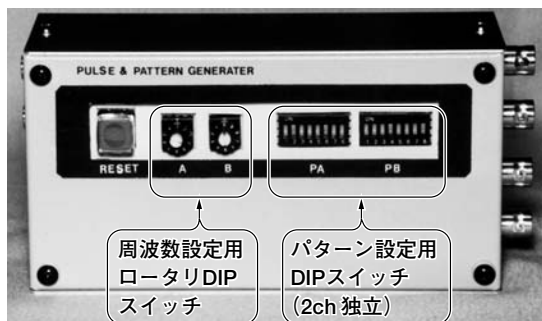
多くの計測器メーカからいろいろな機能をもったパ

ルス・ジェネレータが発売されています。ここで、その一部を紹介します。

各社それぞれ特徴のある機能を持ち、使用目的も異なるので、独自の商品名が存在します。

▶ 写真2-2は、岩崎通信機からオシロスコープの校正用として発売されているスコープ・キャリブレータ SC-340です。出力電圧を、確度0.5%で0.12mV～100Vまで可変でき、周期の可変範囲は0.1μs～2sです。

▶ 写真2-3は、GPIB制御可能なアジレント・テクノロジー社のパルス・ジェネレータ HP 81100 Aです。150MHzまでのパルスを2～4096ビットの任意のパターンで出力できます。



〈写真2-1〉製作するパルス&パターン・ジェネレータの外観



〈写真2-2〉スコープ・キャリブレータ SC-340 [岩崎通信(株)]

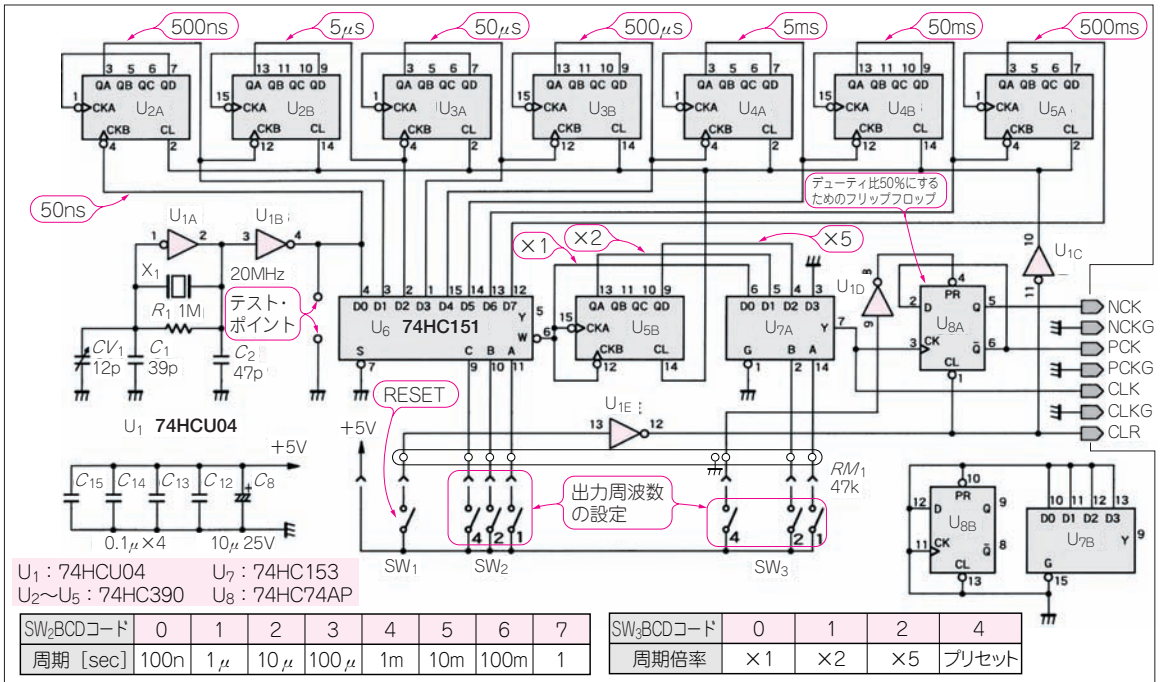


〈写真2-3〉HP81100Aシリーズ [アジレント・テクノロジー(株)]



〈写真2-4〉クロック・シンセサイザ1610
[株]エヌエフ回路設計ブロック]

〈図 2-1〉 パルス & パターン・ジェネレータの回路



(a) クロック発生部

▶ 写真 2-4 は、エスエフ回路設計ブロックの GPIB 制御可能なクロック・シンセサイザ 1610 です。出力周波数を 1 mHz ～ 100 MHz まで分解能 9 桁で設定でき、 ± 5 ppm^(注)と高精度のクロックが出力できます。

本器の仕様

写真 2-1 が、ここで製作するパルス&パターン・ジェネレータです。メーカ製のパルス・ジェネレータと比べると見劣りがしますが、十分実用になる基本機能と確度をもっています。表 2-1 に仕様を示します。

(注) 抵抗の温度係数などは「 ± 50 ppm / $^{\circ}\text{C}$ 以内」などと表し、「温度が 1°C 変動したとき抵抗値の変化が ± 50 ppm 以内」、つまり 0.05 % 以内であると一般的に規定される。

これに対し水晶発振器などは「 ± 50 ppm 以内」というように規定される。この場合は、水晶発振器の使用可能な温度範囲、たとえば「 $-20 \sim +60^{\circ}\text{C}$ のいずれの周囲温度でも発振周波数が表示周波数の ± 50 ppm 以内の偏差である」ことを示している。

したがって抵抗の ± 50 ppm / $^{\circ}\text{C}$ 以内と水晶発振器の ± 50 ppm 以内では安定度に大きな差があることになる。

▶ 最高周波数は 10 MHz です。手に入れやすく安価な 74HC シリーズの CMOS ロジック IC を使うことにしたためです。

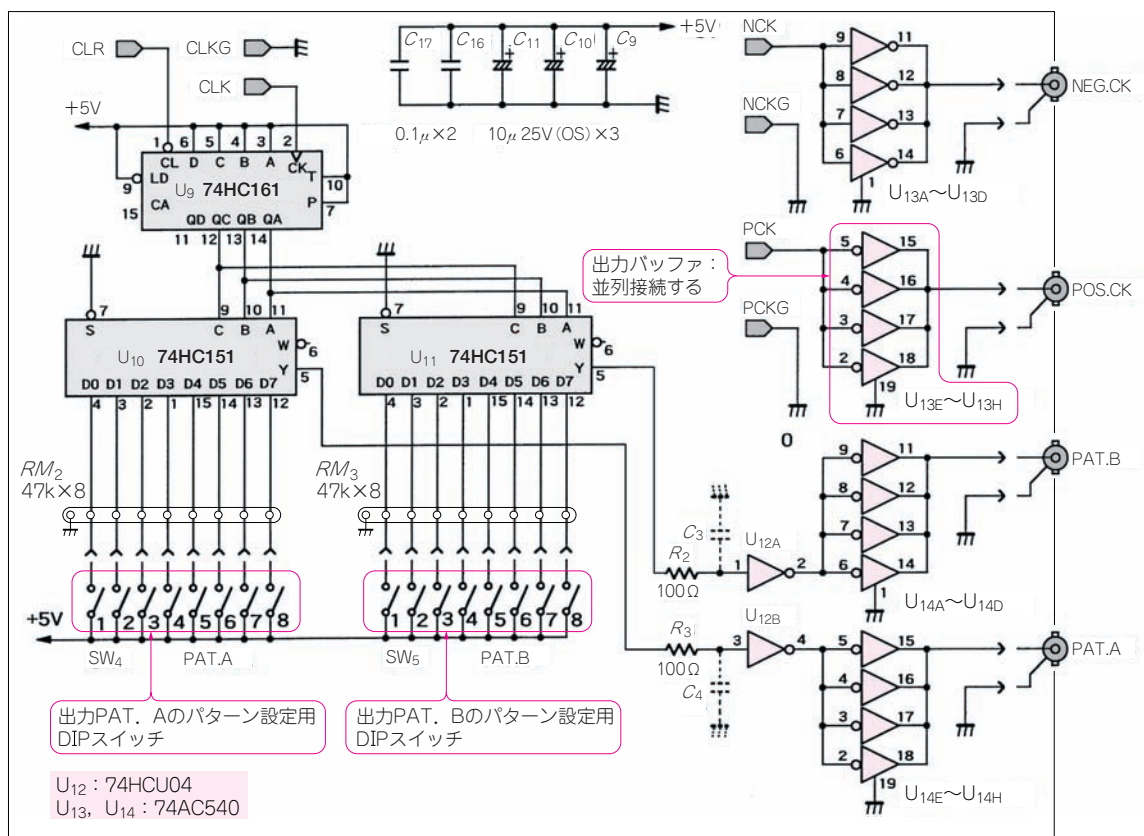
▶ 出力周波数は、自由に設定できるのが理想ですが、製作を簡単にするために、 $1 \cdot 2 \cdot 5$ 系列の設定としました。周波数の正確な水晶発振器を使ってカウンタで分周します。

▶ パターン・ジェネレータの分解能は、HCMOS のマルチプレクサを使用するので 8 ビットとしました。

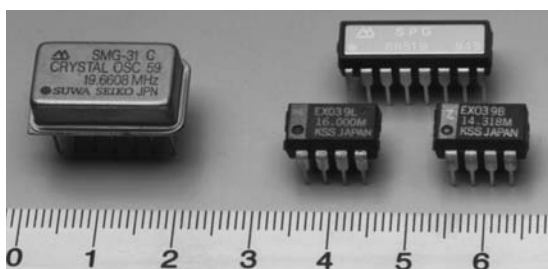
▶ 小型で電池動作が可能です。

〈表 2-1〉 製作するパルス & パターン・ジェネレータの仕様

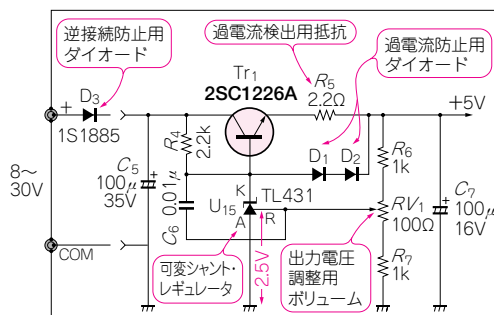
パルス・ジェネレータ部	
出力周期	100ns ～ 5s (0.2Hz ～ 10MHz) 1・2・5 系列で 24 段階
周期確認	設定周期の 10ppm (0.001%) 以内
出力立ち上がり	5ns 以内
立ち下がり時間	5ns 以内
出力電圧	0 ～ 5V
出力電圧確度	$\pm 0.5\%$ 以内
パルス出力	正・負の 2 チャンネル
パターン・ジェネレータ部	
パターン分解能	8 ビット DIP スイッチで設定
チャンネル数	2 チャンネル独立設定
電源入力	8 ～ 30V, 100mA 以内, 006P 乾電池で動作可能



(b) パターン発生部と出力部



〈写真2-5〉電源を供給するだけで動作する水晶発振器



(c) 電源部

回路の説明

全回路図を図2-1 (a)～(c) に示します。初めての方には少し素子数が多いように見えますが、同じ回路の繰り返しが多く、複雑な動作ではありません。表2-2に部品表を示します。

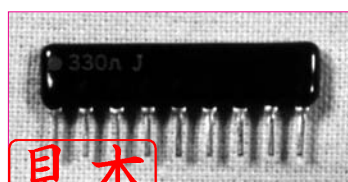
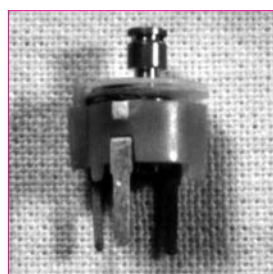
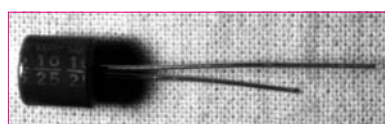
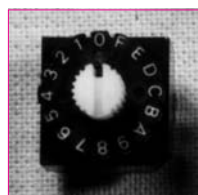
それでは、各ブロックを順を追って説明します。

パルス・ジェネレータ部

■ 水晶発振器

水晶発振器には、写真2-5のような電源さえ供給すれば動作する製品が市販されています。しかし、微調整してもぴったりの周波数に調整できないことと、できる

〈表 2-2〉 製作するパルス & パターン・ジェネレータの部品表



見本

品 名	部品番号	型名・仕様(メーカ)	数量	参考単価[円]
ケース	—	MB-11 (タカチ)	1	550
コネクタ	—	BNC(絶縁タイプ)	4	100
パナナ・ジャック	—	TJ-563(赤)	2	60
	—	TJ-563(黒)	2	60
タクト・スイッチ	—	SKHCAA (アルプス)	1	60
ロータリDIPスイッチ	—	A6A-10RW (オムロン)	2	320
DIPスイッチ	—	A6B-8101 (オムロン)	2	290
基板	—	AE-5 (秋月電子通商)	2	250
ICソケット	—	14ピン	2	40
	—	16ピン	10	50
	—	20ピン	2	50
水晶発振子	X ₁	HC-18/U, 20MHz (三田電波)	1	300
CMOS IC	U ₁ , U ₁₂	TC74HCU04AP (東芝)	2	60
	U ₂ ~ U ₅	TC74HC390AP (東芝)	4	120
	U ₆ , U ₁₀ , U ₁₁	TC74HC151AP (東芝)	3	90
	U ₇	TC74HC153AP (東芝)	1	90
	U ₈	TC74HC74AP (東芝)	1	70
	U ₉	TC74HC161AP (東芝)	1	100
	U ₁₃ , U ₁₄	TC74HC540P (東芝)	2	120
可変シャント・レギュレータ	U ₁₅	TL431(2.5V) (TI)	1	70
ダイオード	D ₁ , D ₂	1S1588 (東芝)	2	20
	D ₃	1S1885 (東芝)	1	20
セラミック・コンデンサ	C ₁	39pF, ±5%, CH特性	1	30
	C ₂	47pF, ±5%, CH特性	1	30
電解コンデンサ	C ₅	100 μ F, 50V	1	50
セラミック・コンデンサ	C ₆	0.01 μ F, 50V	1	20
電解コンデンサ	C ₇	100 μ F, 16V	1	30
	C ₈	10 μ F, 25V	1	20
OSコンデンサ	C ₉ ~ C ₁₁	25SC10K, 10 μ F, 25V (三洋)	4	160
セラミック・コンデンサ	C ₁₂ ~ C ₁₇	0.1 μ F, 25V	6	10
トリマ・コンデンサ	CV ₁	12pF	1	7
カーボン皮膜抵抗	R ₁ R ₃	1M Ω , ±5%, 1/4W	1	10
	R ₂ ,	100 Ω , ±5%, 1/4W	2	10
	R ₄	2.2k Ω , ±5%, 1/4W	1	10
	R ₅	2.2 Ω , ±5%, 1/4W	1	10
	R ₆ , R ₇	1k Ω , ±5%, 1/4W	2	10
集合抵抗	RM ₁ ~ RM ₃	47k Ω × 8	3	60
半固定抵抗	RV ₁	100 Ω	1	300

限り自作したいということで、水晶発振子とHCMOSのゲートを組み合わせて水晶発振器を製作します。

水晶発振子の詳細については、「トランジスタ技術」1982年10月号と1984年8月号に書かれた中島氏の解説記事^{(1),(2)}が大変参考になります。また、CMOSを使用した水晶発振回路については、稲葉氏の「定本 発振回路の設計と応用」⁽³⁾に詳しく説明されています。

● 発振周波数は20 MHz

本器の最高出力周波数は、HCMOSタイプのデジタルICで無理なく扱える10 MHzです。したがって正確なデューティ比50%の波形を得るために、水晶発振器の周波数はその2倍の20 MHzとします。

● 負荷容量を決めるときの注意

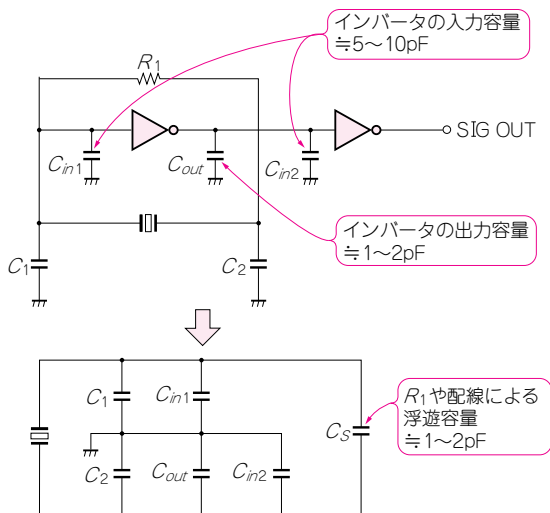
水晶発振器の発振周波数は水晶発振子だけでは決まりません。当然使用する回路から影響を受けます。

発振周波数に一番影響を与えるのは負荷容量です。しかし秋葉原などで購入する一般的な水晶発振子は、負荷容量が30 pF程度のとき、表示された周波数で発振するようです。

図2-2に、今回使った水晶発振回路の負荷容量が、どのように存在しているか示します。

負荷容量を大きくするほど、発振周波数は低くなりますが、可変範囲は最大±200 ppm (0.02 %) 程度です。この範囲以上に可変したいときは、水晶に直列にコイルを挿入するなど、特別の手法が必要です。

〈図2-2〉 CMOSを使った水晶発振回路の負荷容量



$$\text{全負荷容量 } C_L = \frac{(C_1 + C_{in1}) \times (C_2 + C_{out} + C_{in2})}{C_1 + C_{in1} + C_2 + C_{out} + C_{in2}} + C_S$$

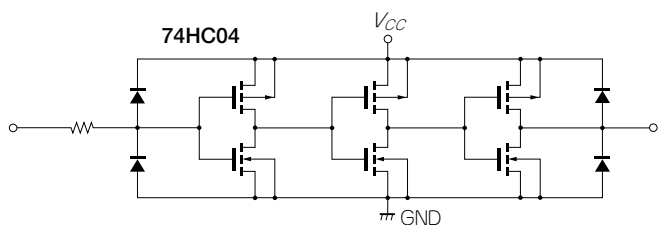
水晶発振子をはさんで、二つのコンデンサ ($CV_1 + C_1$ と C_2) は同程度の容量を使うと安定に動作します。また二つのコンデンサのうち入力側のコンデンサを可変したほうが周波数の変化が大きくなります。

● インバータの選択

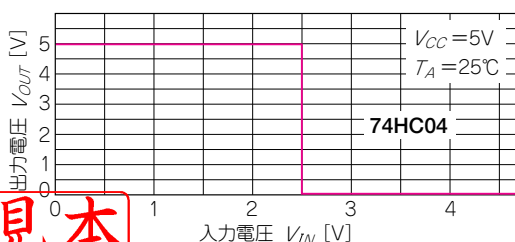
▶ 74HCU04を使う

インバータには、HCMOSの74HCU04を使いまし

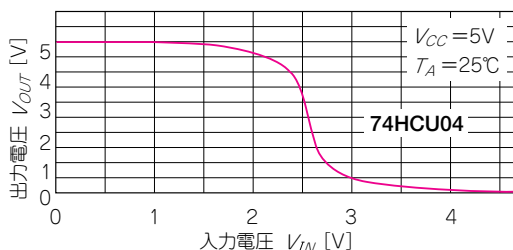
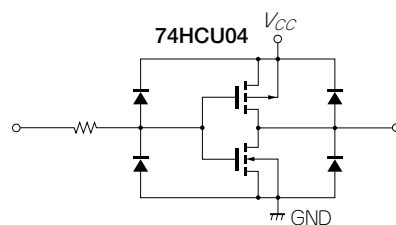
〈図2-3〉 バッファ・タイプとアンバッファ・タイプのインバータの内部等価回路と入出力特性



(a) 内部等価回路



(b) 入出力特性



たが、Uの付かない74HC04もあります。これらの二つのインバータは図2-3に示すように内部の増幅段数が違います。3段の増幅段をもつ74HC04のほうが利得が大きいのですが、アナログ的に使う水晶発振器などの場合は、利得の小さい74HCU04がより安定に動作します。

● 出力の取り出し方

配線容量の影響が出ないようにバッファリングします。水晶発振器の出力は、配線容量が水晶の負荷に影響しないようにU_{1B} (74HCU04)でバッファリングします。また74HCU04の利得が小さいため、U_{1A}の出力は方形波になりません。そこで74HCU04を1段通して、よりきれいな方形波にします。

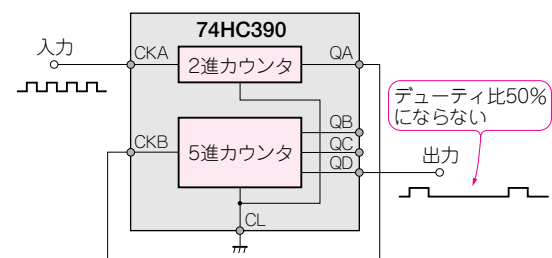
● 余った74HCU04のインバータを使うときの注意

▶ クロック用などに使うと水晶発振器に悪影響を出す可能性がある。

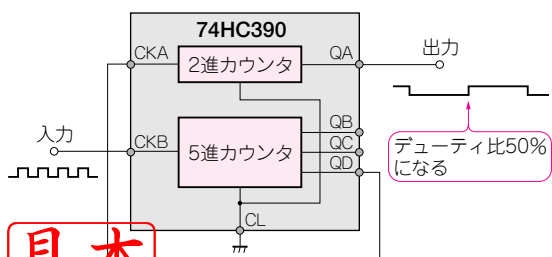
U₁ (74HCU04)の未使用のインバータを、クロックのようなダイナミックに動作する信号に使うと、U_{1A}の水晶発振器に悪影響を与える場合があります。

この回路では残りのインバータU_{1C}、U_{1D}、U_{1E}を使っています。いずれもスイッチの設定を変えたときだけ動作するスタティックな信号に使っています。

◀図2-4> 74HC390の2種類の結線方法 [今回は(b)の結線方法]



(a) 2進カウンタの出力を5進カウンタに入力 (通常の接続法)



(b) 5進カウンタの出力を2進カウンタに入力

● 発振安定性の確認

▶ 電源投入時などに高周波で発振していないか

電源投入時や遮断時に高調波で発振していないか、U₁の4ピンをオシロスコープで観測します。

不安定な発振回路は、電源投入時に高調波で発振します。しばらくすると正常な発振周波数に戻る場合がありますが、振動や、周囲温度や電源電圧の変化によって、異常な発振周波数になることがよくあるので注意が必要です。なお、U₁の1ピンや2ピンにプローブを接続すると発振条件が変化してしまう恐れがあります。

■ 分周器と発振周波数セレクト

● デューティ比50%の分周出力を得る方法

水晶発振器で得た信号を10進カウンタ74HC390で分周します。74HC390には10進カウンタが2個入っています。そして、それぞれの10進カウンタは、2進カウンタと5進カウンタから構成されています。

通常の接続方法 [図2-4(a)]では、出力波形はデューティ比50%になりませんが、図2-4(b)のように、5進カウンタの後に2進カウンタを接続するとデューティ比50%のきれいな方形波が得られます。

この1/10分周器を7段接続し、0.05 μ s (20 MHz) から0.5 s (2 Hz) までの8種類の信号をU₆に入力します。

● 発振周波数セレクト

▶ 可変周波数範囲は0.1 μ ~ 5 s, 周波数設定の数は24

U₆は、マルチプレクサIC (74HC151)です。D₀ ~ D₇の8チャネルの入力から1出力を選択します。

U_{5B}は、U₆の出力をさらに1/2または1/5分周しています。U_{7A} (74HC153)は、U₆の出力の1/1, 1/2, 1/5分周した3チャネルの信号を選択します。最後はU_{8A} (74HC74)で1/2分周し、正確なデューティ比50%の方形波にします。

結局、U_{8A}の出力に0.1 μ ~ 5 sのクロックを得ます。

▶ U₆ (74HC151)を使う理由

U₆を使用せず、直接ロータリ・スイッチでクロックを選択する方法も考えられます。しかしU₆を使えば、コード (この場合3ビット・コード)で、8チャネルの入力を選択できます。つまり、配線の本数を8本から3本に減らすことができます。また、クロック信号を最短で配線することができます。

クロック信号をロータリ・スイッチに配線するとケーブルが長くなりがちで、周囲に雑音を出したり、EMIの発生が多くなる危険があります。