

# 8チャンネルロジックアナライザの製作

Production of 8 Channel Logic Analyzer

金野茂男  
Kinno Shigeo

## 1. はじめに

論理回路の試験・調整をする時には、各論理素子端子の入出力電圧レベルを調べなければならない。そのための検出装置として、身近にある通常の2入力オシロスコープを用いるのもよい。とは言ってもチェック箇所が数少ない場合には、このオシロスコープでも十分に役目をこなし得るが、同時にかつ並列に数点以上の出力論理電圧を調べなければならないときには、多チャンネルの「ロジックアナライザ」にその席を譲らざるを得ない。

ロジックアナライザは、ロジック回路検査専用の「オシロスコープ」である。許容される入力電圧レベルはL、Hレベルの2電圧値であるが、入力チャンネルが多数有り、検査したい回路の端子電圧レベルを同時にいくつも調べることができるので、リアルタイムで回路のタイミングチャートをモニターすることができる。論理回路試験測定器としては優れものである。このようなわけで、電子回路、電子デバイス、論理回路等の開発現場、電子工学実験等の場には、ロジックアナライザは是非とも側に置いておきたい測定器の1つである。

が、オシロスコープと比較すると需要と汎用性が低い故か、比較的高価な装置である。サンプリング周波数が高く、多入力チャンネルを有するロジックアナライザが理想であるが、サンプリング周波数が高くなればなるほど、入力チャンネル数が多くなればなるほど高価になるのはしかたがないのかもしれない。

そうは言っても、ロジックアナライザはロジック回路の試験装置として結構重宝な装置なので、最近では、パソコンを制御及び表示装置として使用する形式の簡易なロジックアナライザが安価に提供されている。これはこれとして十分に役に立つものである。が、補助装置であるパソコンがなければ、全くのジャンクである。

そこで製作研究として、ワンチップマイコン、メモリ素子、若干の論理回路素子、小型LCD表示装置を組合せ、一体型でコンパクトな手の平サイズ大の8チャンネルロジックアナライザを2種製作した。使用方法はいたって簡単でもある。1台目の最大サンプリング周波数は10MHz。2台目は1台目の回路の若干の変更により40MHzの装置となっている。

元々、この課題は研究室所属の5年生の卒業研究の1課題であった。が、途中で時間切れとなってしまった。完成していれば、測定装置としては十分に役に立つのもであり、またそれなりに改良のアイデアのほどこされた装置でもあった。卒研生が中断したところから引き継いで作り上げることが真っ先に考えられることある。が、残念ながら回路構成、製作技術、製作手順などが不十分であったため、中断したところから作り上げるのは無駄であると判断し、著者自らほぼゼロから作り上げることにして1ヶ月強ほどで完成させた。

以下での設計・製作などの報告は主に10MHzの装置を対象として行う。その後で、10MHzの改良として40MHz装置について述べる。

## 2. 設計・製作

アナログ信号を扱うオシロスコープと違って、ロジックアナライザは2値の論理電圧、即ちLレベル、Hレベルを取り扱う。通常、TTL、C-MOS素子のLレベル電圧は0V、Hレベル電圧は+5Vである。従って、ロジックアナライザの内部では取り扱う信号電圧は0Vと+5Vの2種の離散電圧値だけを取り扱えばよい。回路をデジタル回路だけで組み上げることができるので、回路的には取り扱いが簡単となる。

1つのアナログ入力電圧を通常のデジタルメモリに記憶させるためには、1バイトとしてAD変換器の変換ビット数だけのビット数が必要となる。12ビットAD変換器ならば、1バイト12ビットが必要となる。これに対して、1つの入力論理電圧をメモリに記憶させるには、

メモリは1バイト1ビットで事足りることは簡単にわかる。1バイト8ビットのデジタルメモリを使用すれば、8つの入力論理電圧を1つのアドレス番地に記憶させることができることになる。

図1にワンチップマイコンを制御素子として用いた製作するロジックアナライザの概念ブロック図を示す。ところで、このブロック図のようにメモリを使用せず、ワンチップマイコン内に内蔵されているデータメモリを使用する方法も考えられる。そうすれば、外部メモリがないこと、更にはアドレスカウンタもワンチップ内に書き込むプログラムでソフト上で代用することができるので、回路的には極めて簡単になるはずである。が、ワンチップマイコン内のデータメモリ容量が少ないこと、データの計測中プログラムを実行させ続けなければならないので、サンプリング周波数がプログラムの実行速度に依存してしまい、それほど高くすることができない等の欠点が出てくる。

図1のように外部メモリを用いれば、ワンチップマイコンで、データ計測を開始させ、後はメモリのアドレスステップをワンチップマイコンから切り離して、アドレスカウンタデバイスを使用し、独自に進めさせるようにすれば、ワンチップマイコンの動作速度に無関係に、サンプリング周波数を高くすることができる。即ち、主にメモリの動作速度にのみ依存したサンプリング速度とすることができるので、サンプリング周波数の高速化を容易に行うことができることになる。

製作に当たっては、前もって設定しなければならない仕様、条件が各種ある。以下に項目別にそれらの設定内容を解説する。

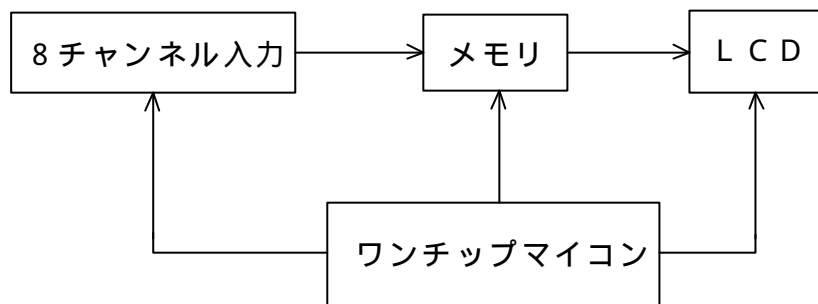


図1 製作するロジックアナライザの概念ブロック図

#### (1) 入力チャンネル数の設定

ロジックアナライザを設計する際の仕様としての第1は、測定可能入力チャンネル数をいくつにするかである。装置全体を制御するために使用予定のワンチップマイコン（マイクロチップ社製 PIC17C756）はデータビットが8ビットのマイコンである。使用予定のSRAMメモリは1バイトが1ビット、4ビット、8ビット、16ビットのものが多種ある。1ビットメモリは論外として、入力チャンネル数を4, 8, 16のどれかにする自由度がある。8ビットワンチップマイコンを使用するので、1バイト8ビットのメモリを採用することにした。少なそうに見えるであろうが、オシロスコープで論理電圧回路を試験するにはせいぜい2チャンネルしか使用できないので、格段の改良となる。16ビットでは多すぎて、蛇足の感もある。が、魅力も少しはある。

#### (2) 表示部の設計

測定し、メモリに記憶させた8チャンネルのデータをLCD表示装置に8チャンネル分全て一緒に並列表示する。LCD表示装置としてワンチップマイコンで制御しやすい5.5インチパッシブカラー液晶モジュールLM32C041（以下でLCDと記す）を使用することにした。表示装置としてこのLCDを選択したのに深い意味はない。ワンチップマイコンで制御し易いこと、コンパクトであることなどであるが、理由の第1は秋葉原の秋月電子通商で簡単に入手できたからである。

L C Dの外形は150 mm ( W ) × 116 mm ( H ) × 25 mm ( D )。画像ドットは320ドット ( 横 ) × R G B × 240ドット ( 縦 )。間引き方式階調コントロール回路を内蔵しており、垂直同期信号、水平同期信号、ドットクロック、R、G、B各ビットの表示データを入力する方式を採用している。L C D付属のデータシートのタイミングチャートが理解できれば、表示画面制御のためのパルスデータのL C Dへの送信方法を理解することができる。ワンチップマイコンでの制御の仕方、及び具体的な使用方法の1例については参考文献(1)が解説している。

このL C Dは通常の配置状態として画面を見たとき、通常のテレビと同じく画面の左上隅が掃引開始位置であり、右に1行分掃引した後、左に復帰し1段下がる。これを繰り返して、画面の右下隅で1画面分の掃引を完了する。このような配置で8チャンネル分のデータグラフを水平方向に掃引させるのは、考えると実に非効率的である。メモリアドレスから1チャンネル分だけのデータを読み出し(メモリを1度アクセスすると、1度に8チャンネル分のデータが得られるのであるが)て描写した後、次のチャンネル分のデータをまたメモリから読み出して描写させることを、8回繰り返さなければならないことになるからである。

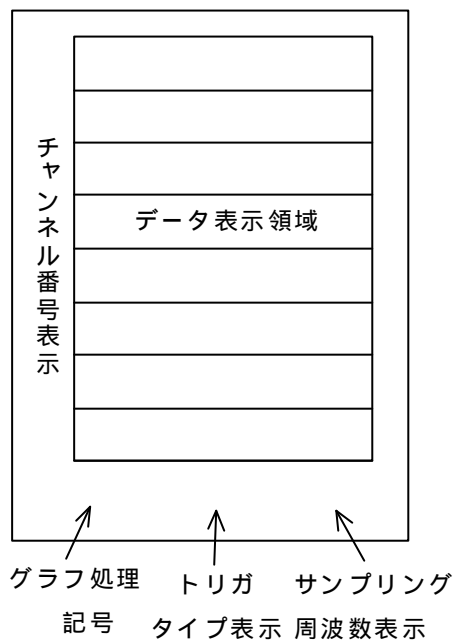


図2 測定開始前のL C D画面

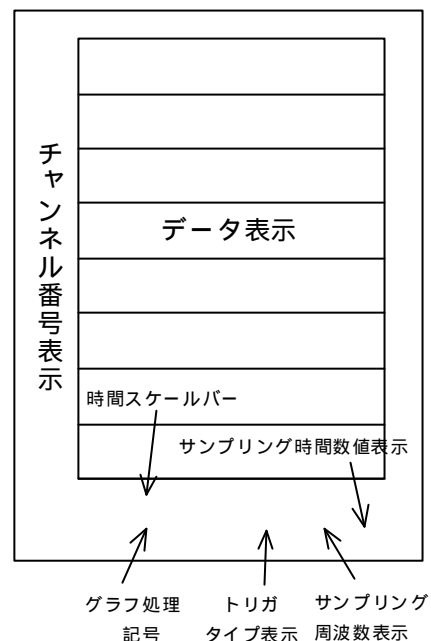


図3 解析時のL C D画面

L C Dを90°反時計回りに回転した配置とし、8チャンネル分を同時に水平(横)方向に表示する方法とした。即ち、掃引開始位置は画面の左下隅、掃引終了位置は画面の右上隅とするのである。このような使い方をすると、メモリから1バイト8ビットのデータを1回読み出す毎に、8チャンネル分のデータを同時に描写することができるからである。

図2に、測定開始前の予定L C D画面を示している。測定開始に当たって、サンプリング周波数の設定、トリガソースチャンネルの設定、トリガ形式の設定をしなければならない。これらは画面を見ながらメニュー選択形式で設定できるようにする。これらの設定が完了した後、測定を開始させる。

測定が終了した後、L C D画面を図3のように切り替え、測定データグラフの分析処理ができるようにする。グラフの拡大、縮小、左右移動、復帰等が自在にできるようにする。画面中にサンプリング時間数値とその時間スケールバーも表示させる。

( 3 ) サンプリング周波数の設定

高速のサンプリング周波数が設定できればできるほど、ロジックアナライザの有効性が増す。使用するメモリ及び論理回路素子の動作速度で最高サンプリング周波数が決まる。廉価でかつ簡単に入手できるメモリ及び74シリーズのスタンダード版の論理回路素子を使用することとして、ここでは当面、最高サンプリング周波数として10MHzを目指すことにする。サンプリング周波数の設定も変更可能とする。

( 4 ) トリガソースの設定

オシロスコープと同じように、ロジックアナライザでもトリガソースの選択ができる方が使用が至便となる。8チャンネルの入力からトリガソースとして一つのチャンネルを選び出し、かつ、その入力レベル信号が立ち上がる時(Up)、立ち下がる時(Do)、Hレベルの時(Hi)、Lレベルの時(Lo)のどれかでトリガがかかるように設定できるようにする。

( 5 ) 測定データの描写

メモリに取り込んだデータを、ワンチップマイコンの制御のもと、メモリから順次読み出し、LCDに描写させる。データの拡大、縮小、左右移動ができるようにし、詳細にデータ分析ができるようにもする。

図4に、以上の考察をもとにしてできたロジックアナライザの詳細なブロック図を示しておく。ブロック図からわかるように、ワンチップマイコンは多数の制御線を持っている必要がある。そのため、I/Oポートが多数あるPICシリーズの最新素子であるPIC17C756(以降ではPICと略称する)を使用する。詳細なデータシート(全207頁)はインターネットを経由してMicrochip社のURLからダウンロードすることができる。

メモリには8ビット×2048バイトを使用する。必要なアドレスビットは11ビットとなる。PICのI/Oポートは沢山あるが、必要な箇所結構使い切っている。そのため、メモリアドレスに配当するI/Oポートの本数を多くすることができない。11本を配当することにした。これからメモリ容量は2048バイトとなる。なを、I/Oポートの重複利用を図れば、メモリ用にもっとたくさんのI/Oポートを配当することもできる。今のところはやらない。

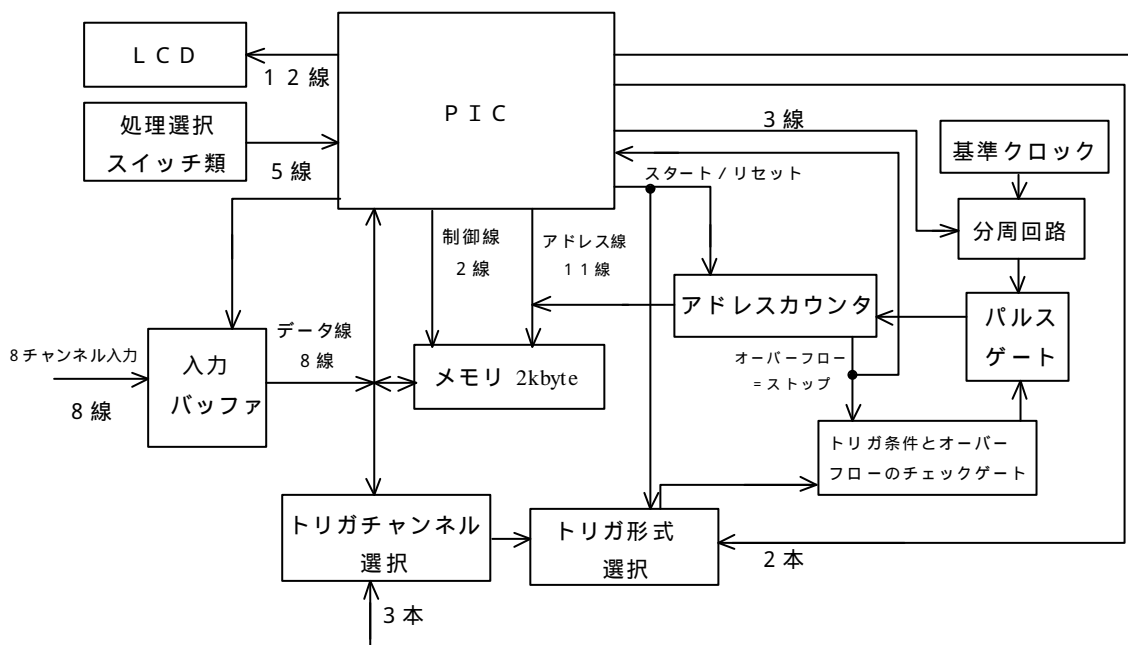


図4 製作したロジックアナライザのブロック図



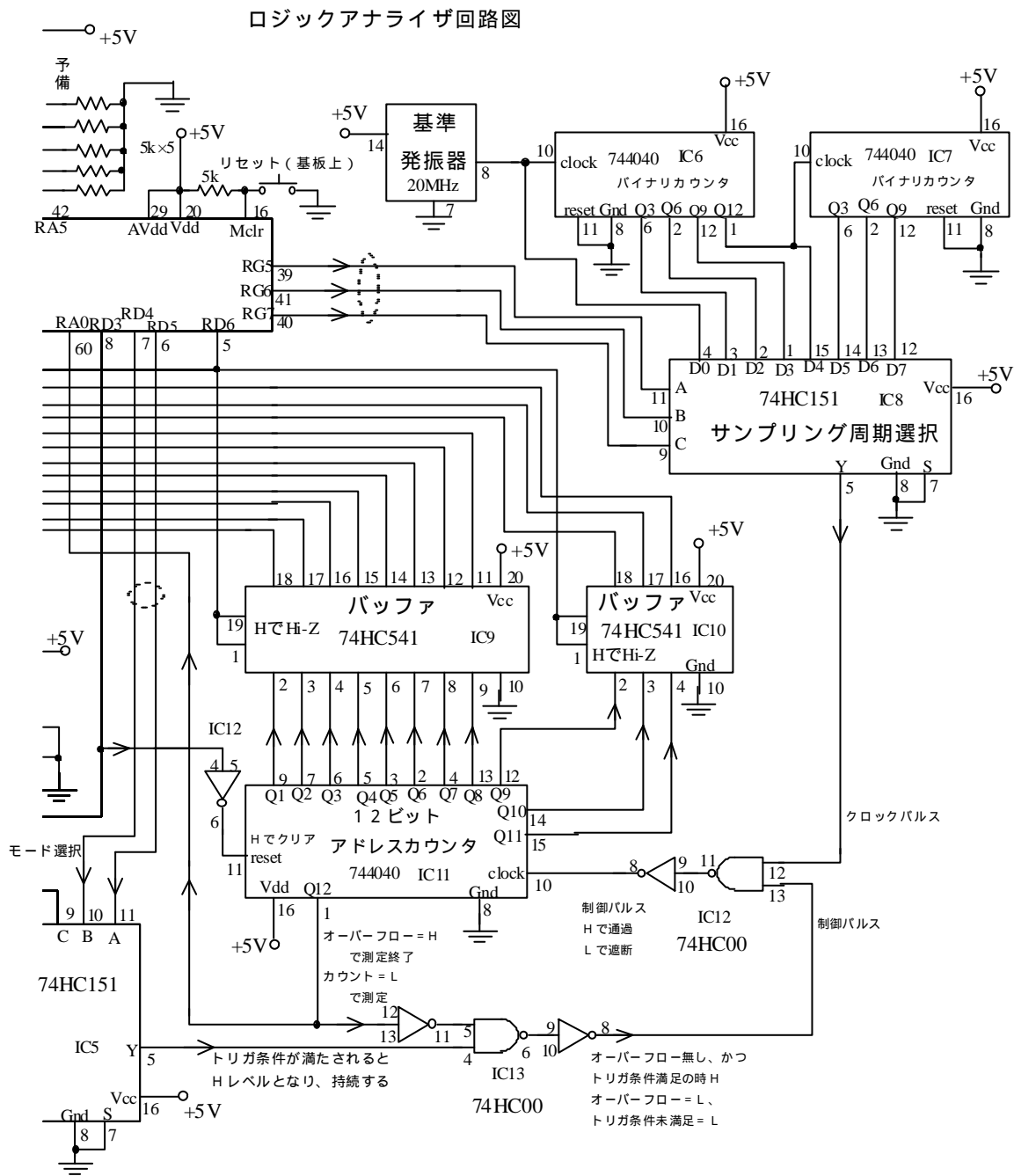


図 5 - 2 10 MHz ロジックアナライザの回路図 (右半分)

初期条件の設定後、測定が開始されると、アドレスカウンタがステップアップする。このアドレスカウンタのオーバーフローをP I C 側でモニターしておき、オーバーフローが発生した時点でメモリへのデータの書き込みを終了させ、測定を終了させる。その後P I C で直接メモリのデータをアクセスし、L C D 画面上にデータを描写させる。

ブロック図中で、入力バッファ、メモリ、トリガチャンネル選択、P I C の4つの間に共有されている8本のデータバスラインがある。メモリ、アドレスカウンタ、P I C の3つの間には11本の共用アドレスラインがある。動作中にこれらの入出力状態が衝突し、動作不良を起こさないように、必要に応じて素子をH i - インピーダンス状態等にする必要がある。

図5が回路図で、図6が回路の主要箇所でのタイミングチャートである。図6のタイミングチャート図中には注釈を書き込んでいるので理解が行くと思う。回路図中の 囲み数値がタイミングチャートのそれに対応している。このタイミングチャートを理解すれば、測定前の測定条件初期設定、測定中、測定終了、そしてデータ描写の各処理において、各主要ポイントでの論理レベルの状態がわかり、回路図の理解をし易くするであろう。

回路図について若干説明をする。I C 2 の74151で、3本の制御線により、8つの入力から1つをトリガソースとするために選択している。ここで選択された信号はI C 3 の7474, 又はI C 4 の7400に入力させてから、I C 5 の74151に入力させる。このI C の2本の制御線によりトリガ形式(アップ、ダウン、ハイ、ローのどれか一つ)を選択することができる。信号が入力し、設定したトリガ条件が満たされた瞬間、I C 5 のY出力はH レベ

## 測定時

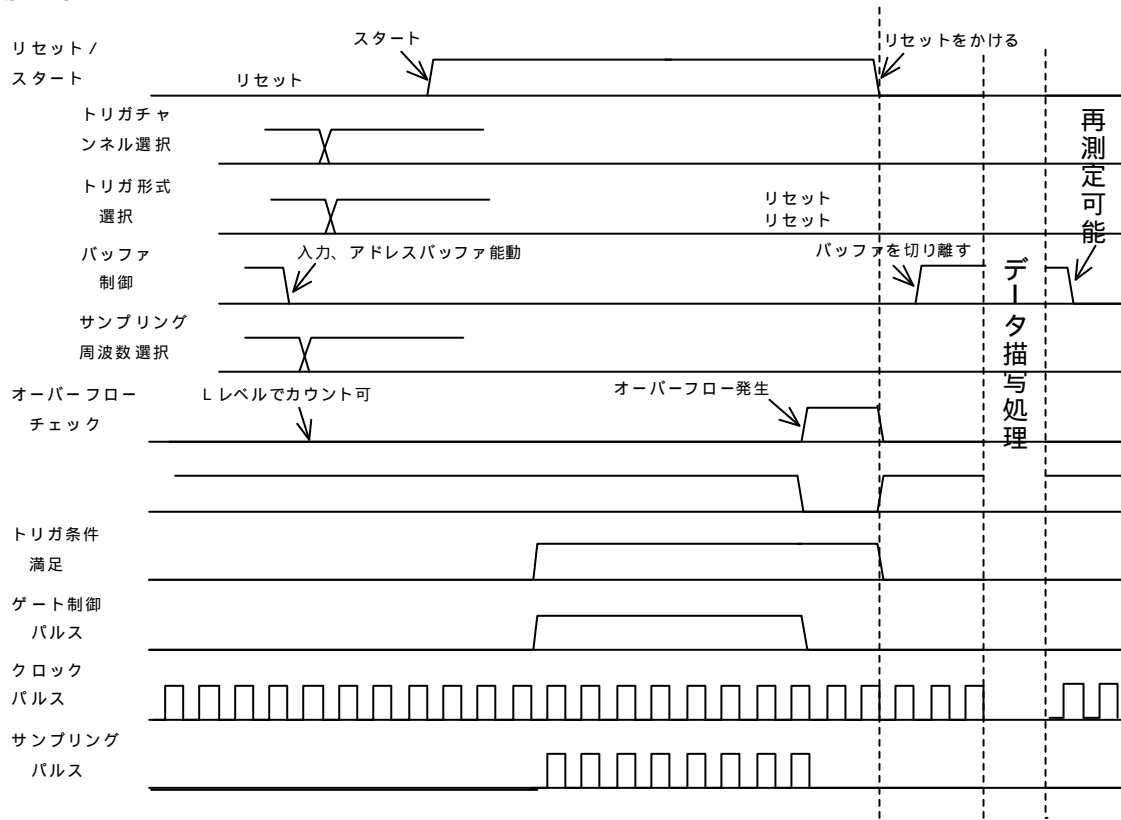


図6 タイミングチャート

ルとなる。アドレスカウンタI C 1 1の前段にあるゲート機能を持たせたI C 1 2の7400のゲートが開き、クロックパルスがアドレスカウンタのアップを開始する。メモリアドレスが進み、データのメモリへの書き込みが進行する。

IC11のアドレスカウンタ744040のQ12がHレベルになった瞬間が、11ビットアドレスがオーバーフローした瞬間である。その信号でアドレスカウンタの入力ゲートを閉じると共に、PICにそれを認識させ、測定を終了させている。

装置の処理動作モードの選択はPICのポートRA1～RA5に接続しているプッシュスイッチで行う。

2つのポートRA1とRA5は最終的に未使用としたので、完成した装置にはこれらにスイッチを接続してはいない。両方とも予備としている。これらの端子は機能拡張用を使用することができよう。特に、RA1ポートには割り込み機能が備わっているの、それなりの目的に対しては役に立つのではないかと思う。

10MHz基準発振器(水晶)は14ピンDIPソケットに差し込んでいる。他の値の水晶発振器に交換し、サンプリング周波数を変更することは容易である。

図7が電源部の回路図である。PIC、論理ICの電源は+5Vのみであるが、LCDには、LCD内の論理回路用電圧+5Vの他に、液晶駆動用電圧+30V(20mA)、液晶用バックライト電圧+12V(500mA)が必要である。これら3種類の電圧を12V(2A)DCアダプター1個から供給する。+5Vは3端子レギュレータ7805を用いて定電圧化を行っている。

LCDのバックライトとして同型の蛍光灯が2本LCD本体に装着されているが、電源は付属していない。そのため、この2本のバックライト蛍光灯を駆動するために、別売りのインバータ電源キットを用いる必要がある。このインバータキットに必要な入力直流電圧が+12Vなのである。

電源回路製作において、特に液晶駆動電圧の+30Vを供給するのに手間がかかった。最終的には回路に示しているように、発振専用IC555を用い、8段のコッククロフト昇圧回路を使用することで、+30V、20mA以上の電源を供給することができた。出力電圧は、555に外付けしている可変抵抗を調整し、発振パルスのデューティサイクルを変更することで行える。昇圧回路中のダイオードはありふれた小信号用ダイオードであり、コンデンサもありふれたもので事足りる。

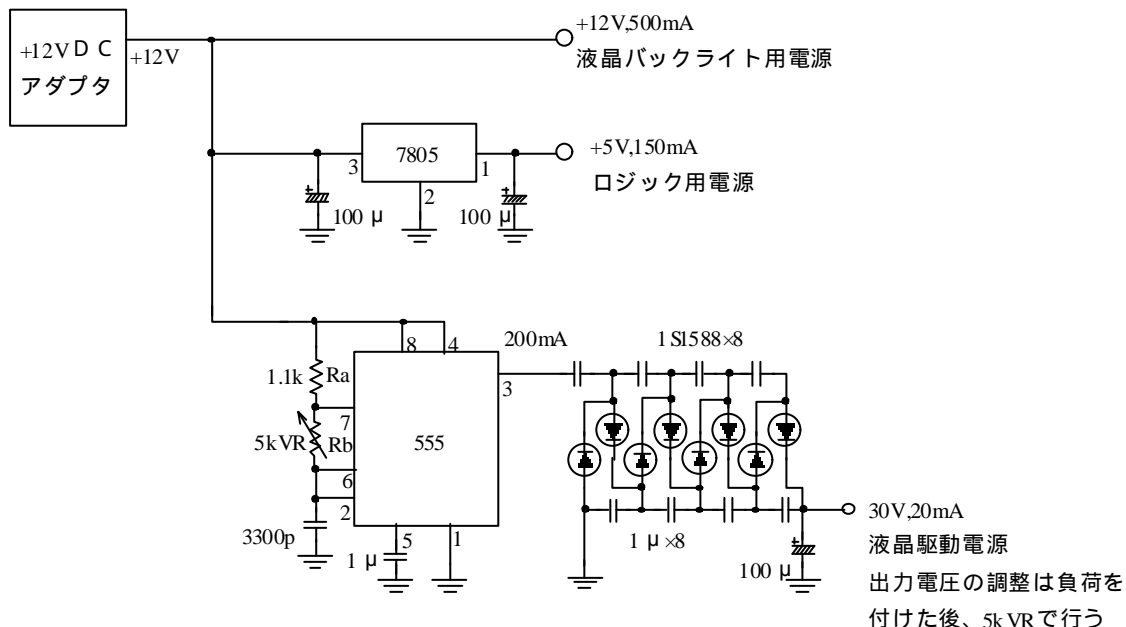


図7 電源回路





写真1 外観

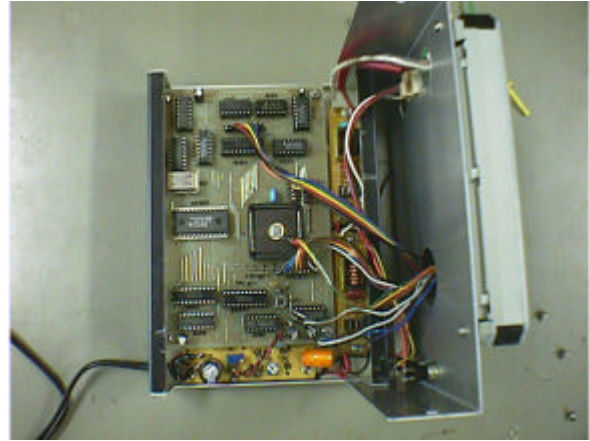


写真2 内部の様子

この発振IC555を7400などにはいけない。7400は規定電圧は+5Vでしかなく、かつそれほど出力電流も得られないので、多段の昇圧回路からは、殆ど出力電流が得られないからである。

出来上がった装置の外観と内部の様子を写真1, 2に示しておく。写真1が外観である。左側に+12V(2A)のDCアダプタ、右側にアース端子プローブも含んだ9本のプローブが見える。中央が本体である。LCDは既製品のシャーシケースの上面に取り付けている。電源スイッチはなく、DCアダプタをコンセントに差し込んだ時点で電源がオンとなる。操作スイッチ類は3個のプッシュスイッチのみである。このスイッチを適当に組み合わせて押すことにより、予定の処理を行わせることができる。

写真2はシャーシケースの上蓋を取り外して内部の様子を見えるようにしたものである。ケース中央の正方形のICがPIC17C756である。ケースの右端の狭い幅の上下にLCDのバックライト点灯用の長方形のインバータ基板キットが2個納まっている。PICの乗っているメイン基板の下に電源基板が配置され、その下半分がケースの下部に見えている。LCDの輝度調整用、液晶駆動電圧調整用の両可変抵抗をここに配置し、調整を容易に行えるようにしている。

主基板のプリントパターン図はフリーソフトPcb eで作成した。主基板は片面感光基板を用いて作成した。が、電源基板は回路図自体が簡単なので、パターン図を参照しながら、片面基板に手書きでペイントして作成した。

### 3. 使用方法及び性能

図8に製作したロジックアナライザの外観図を、図9, 10にLCDに表示される画面を示しながら、本装置の使い方を説明する。

#### (1) メモリ容量とLCD表示ビット数との兼ね合い

留意しておかなければならないのは、メモリ容量と画面描写ビット数の関係である。メモリは2048バイトあるが、画面表示は横に231ビット列しかない。単純に考えて、2048バイトに記憶させておいても、画面上には231バイト分の8チャンネルデータしか描写することができないのである。

データの描写方法は次のようにしている。測定が終了すると、2048バイトのうち、先頭の231バイト分を画面に描写させる。その後、縮小モードが1回処理されると、462バイト分を1バイトずつ飛ばして描写する、2回押されると、924バイト分を3バイトずつ飛ばして描写させる。云々。左右移動モードが1回処理される毎に、現表示画面のおよそ半分を左右に移動する。0番地のデータが左端に表示されている場合には、左移動モードは意味がない。画面中にメモリ最後のデータである2048番目のデータが表示されている状態では、それより右側のデータはないので、その領域は赤色で描写させている。

## (2) 各スイッチの機能

図8に装置の正面外観図を示している。操作に関係した箇所はプッシュスイッチ3個だけである。

- M a i n**スイッチ 主メニューを切り替える  
初期画面モードでは、このスイッチを押す毎に、チャンネル番号群 トリガ形式群 サンプル周波数群の順で白色表示が順次切り替わる。  
データ分析画面では、このスイッチを押すと、測定画面に戻る。
- S u b**スイッチ 副メニューを切り替える  
初期画面モードでは、白色表示されている文字群内で、赤色表示文字が順次切り替わる。  
データ分析画面では、赤色表示部分が、左移動、縮小、拡大、右移動、I n i t i a l (グラフを初期に戻す)とスクロールする。
- D e c i d e**スイッチ 処理を決定し実行する  
初期画面モードでは、画面上、赤色で表示された条件で測定を実行する。  
データ分析モードでは、画面上、赤色で表示された処理を実行する。

## (3) 使用方法

D Cアダプタをコンセントに差し込む。電源がオンとなり、L C D画面は図9の画面となる。

M a i nスイッチ、S u bスイッチを押して、測定条件を決め、D e c i d eスイッチを押す。

測定が実行される。(トリガ形式条件が満足されないと、測定が実行されないことに留意すること。その様な時には、画面は全く変化しない。)

測定が終了すると、画面は図10のようになり、データ表示領域内に得られたパルス波形が表示される。

後は必要に応じて、グラフ処理を行えばよい。

再測定をしたければ、M a i nスイッチを押す。測定条件設定画面となる。

測定を終了したければ、D Cアダプタをコンセントから抜く。

全体をリセットしたければ、コンセントからD Cアダプタを抜いて、再度差し込む。

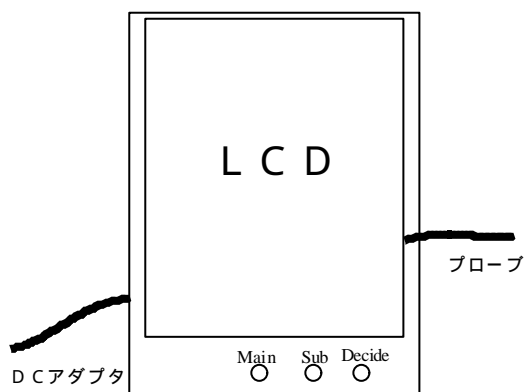


図8 正面外観図

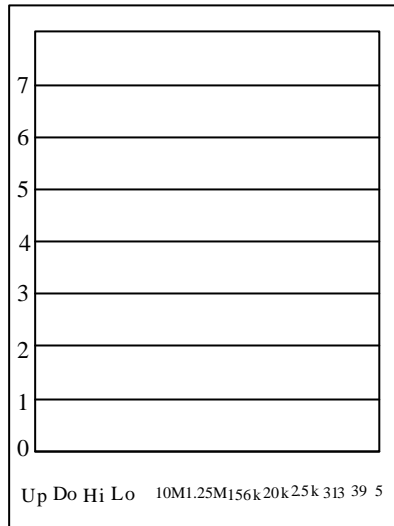


図9 LCDの初期画面

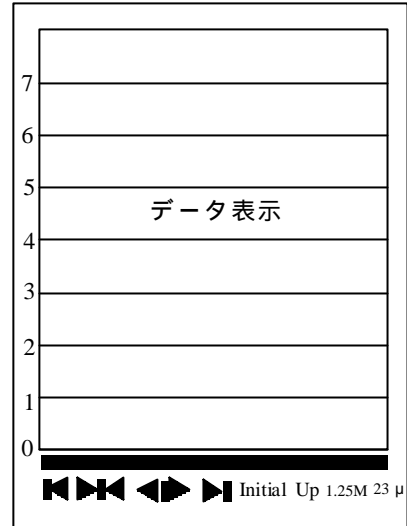


図10 データ分析時のLCD画面

(4) 性能

入力信号レベル	Lレベル 0V、Hレベル +5V
入力チャンネル数	8つ
メモリ容量	各チャンネル2048点
サンプリング周波数	10M、1.25M、156k、20k、2.5k、313、 34、5 (8分の1スケールダウン)
グラフ処理機能	左右移動、拡大、縮小、復元

4. 10MHzの製作について

(1) サンプリング周波数10MHzについて

図5中の基準発振器10MHzを20MHzのものに交換して動かすと、若干のデータエラーが見られた。14MHzでは正常であった。切りの良い最高サンプリング周波数数値としておいた方がよいこと、より安定した動作を保证しておくために、最終的に本装置では基準発振器を14MHzではなく10MHzとしている。

(2) PIC17C756とライター、アセンブラ

製作において特に難しいところはない。PICワンチップマイコンの使用者は多いと見受けられているが、最新素子であるPIC17C756の使用例は著者の知るところ殆どいない。PICのライター、及びそれに付随したアセンブラがMicrochip社だけではなく、幾つかの会社・企業から、或いは個人からも提供されている。これは悪いことではないのであるが、問題がある。毎年の如くMicrochip社から新規のワンチップマイコンが提供されているのであるが、この新規素子にそれらのライターやアセンブラが適応していない、つまり使えないのである。特に新規機能を組み入れたPICでは全く使い物にならないことに注意しておく必要がある。ここで使用したPIC17C756はその冴え足るものである。

継続し或いは将来的にPICを充分に使いこなしていくような場合には、Microchip社が提供している純正ライター及び純正アセンブラの使用を著者としては勧める。著者自身PICの最初の使用に当たって、Parallax社のライターとアセンブラを使用してしまった。この会社のアセンブラは、定義、ラベル、分岐命令などがしっかりしており、解り易く使い易いものであったが、新規のPICを使用することは完全にできなかった。そのうちに、この会社がなくなってしまった。

### (3) サンプリング速度の高速化

パソコンをベースにし、メモリと論理回路素子で構成された50MHzの「ロジックアナライザボード」は製作論文<sup>(2)</sup>をまねて作ったことはあった。やはり、最高サンプリング速度が10MHzでは物足りない。著者としては過去にロジックアナライザを自作していれば、10MHzでは満足してはいなかった。

今回は初めてである。使用する論理素子をスタンダードとした。この種の素子の動作可能最高周波数は20M~25Mである。従って、10MHzとなった。製作した回路は予定通りの動作及び性能を示した。7400シリーズの論理回路素子として、動作周波数100MHz~125MHzのFシリーズ、ACシリーズ、がスタンダード版ほど品種は豊富ではないが提供されている。他の種類の高速シリーズもある。が種類が少なかったり、購入が困難である。足ピンがDIPではなく、ハーフピッチで基板表面実装型のSOPとなっている場合が多い。SOPでは自作しにくいこと著しい。

以上のことから、サンプリング周波数の向上にはF, ACシリーズが良さそうである。回路図中の12ビットバイナリカウンタである744040以外なら簡単に入手することができる。F, ACシリーズの744040はない。どうすべきか。回路図からわかるように、使用している3個の744040はバイナリカウンタそのものとして使用している。従って、F, ACシリーズには4ビットバイナリカウンタ、或いは4ビットバイナリカウンタを2個内蔵したバイナリカウンタがあるので、それを直列接続することで上手い具合に代用できる。素子数が増え、若干の回路図の手直しは必要となるが。

これにより少なくとも、メモリの最高動作周波数特性近くまで、サンプリング周波数を上昇させることが確実にできるはずである。

メモリの動作周波数も問題となってくる。現在使用しているメモリHM6116LP-3の書き込みに要する最小時間を示す $T_{wp}$ は90nsである。この値からすると、10MHzを越える当たりがこのメモリの動作限界と思われる。なを、このメモリは14MHzまでは大丈夫であることは本文中での述べており、試験済みである。メモリの動作周波数が高い互換品はメモリ規格表を一覧すれば多種あることがわかる。それらのメモリが購入容易かどうかはまだ確かめてはいないが、 $T_{wp}$ が20ns以下のものも少なくない。

以上から、図5の回路の74シリーズICをスタンダード版から、FまたはACシリーズに変更すること。744040バイナリカウンタをF, ACシリーズの他のバイナリカウンタの直列接続で代用すること。メモリをより高速のものとする。これら3つの対応方法により、サンプリング周波数の高速化がはかれると考える。

### (4) チャンネル数の増加

測定チャンネル数を増加することも、ロジックアナライザとしての性能向上の1案である。図5の回路を手本として多チャンネル化を図ることはできるが、回路的に複雑になる。8チャンネル以上を「どうしても」測定する必要がある場合でない限り、辞めた方が得策である。

### (5) サンプリング周波数が、数百kHz以下でも良い場合

目標がこのようなならば、回路はPIC1個と、LCD1個で済みそうである。メモリはPIC内のRAMでまかない、サンプリング周波数設定、アドレスステップ、トリガ選択、その他を全てプログラムでまかなえるであろうからである。必要なI/Oポート数も激減するので、PIC17C756でなくても良いであろう。

## 5. 40MHzの製作

やはり10MHzではもの足りない。出来上がった回路図から、それほど変更を加えなくてもサンプリング速度の高速化が図れることがわかってきた。最高サンプリング周波数は10MHzではあるが、予定通り正常に動作するロジックアナライザを完成させることができたので、この自信のもとで、すぐに改良版ロジックアナライザの製作に取りかかった。最高サンプリング速度が40MHzのロジックアナライザを作り上げた。

40MHzロジックアナライザの回路は10MHzロジックアナライザのそれとほぼ同じで

ある。40MHzロジックアナライザの回路図を図11に示しながら相違点について述べる。以降では10MHzロジックアナライザを10Mと、40MHzロジックアナライザを40Mと略称する。

サンプリング速度の高速化のために、次の点の変更を行った。

#### (1) 論理素子の変更

74HCシリーズを74ACシリーズに変更。HCとACは完全にピン互換性がある。HCシリーズの動作周波数は20MHz前後、ACシリーズは125MHz前後である。性能を大幅に向上させた高速素子であるACの値段は、それでもHCの値段とほぼ変わらない。

ところで74シリーズの標準論理素子であるHCシリーズは各種素子が提供されているが、ACシリーズはHCシリーズほど素子の種類は提供されていないことに注意する必要がある。HCシリーズの素子を全てACシリーズで置き換えることはできないのである。10Mで使用している、74HC4040に対応する「74AC4040」は生産されていない。40Mでは他の素子で代用するしかない。40Mではこれを4ビットバイナリカウンタが2つ内蔵されている74AC393で代用することにした。若干素子が増えることになった。

他のHCシリーズは全てACシリーズで交換することができた。

#### (2) メモリの変更

メモリの書き込み速度の目安は書き込みパルス幅 $T_{wp}$ の値で推し量れる。10Mで使用したメモリHM6116LP-3のそれは90ns、周波数で見ると約11MHzである。40Mでは $T_{wp}$ が10nsのHM62832UHL P-2を使用することにした。書き込み速度は約100MHzである。このメモリは32kバイト×8ビットのものである。メモリは2kバイト×8ビットで充分であるのに、何故、32kバイトのものにしたか？理由は単純である。2Kバイトの高速メモリが手に入らず、32kバイトの高速メモリが簡単に手に入ったからである。低メモリ容量の素子は規格表には記載されているが、メモリの最近のニーズ及び店での在庫は高容量かつ高速化された素子である。低容量・高速素子は規格表に掲載されていても入手困難である。

当然の如くこれら2つのメモリのピン端子に互換性がないので、回路図及びプリントパターンに若干の変更が必要となった。

10Mのロジックアナライザ回路に以上の変更を加えることで、サンプリング周波数100MHz以上で動作するロジックアナライザになるように思われる。が、このような変更を加えても図11の回路では決して100MHzでは動作してくれない。その原因は、書き込み時にメモリのアドレスをアップさせるのに使用している多段バイナリカウンタの応答遅延にある。2kバイトメモリのアドレス指定のために、11ビットが必要である。回路図からわかるように、バイナリカウンタを11ビット分直列に連結し、11ビットアドレスカウンタとして使用している。バイナリカウンタの動作においては、低位ビットから高位ビットにかけて順々に動作タイミングのずれが生ずる。この遅延時間は使用するビット数だけ積算されるのである。例えば、バイナリカウンタ1ビット当たりの遅延時間を1ns（周波数で1000MHz）としても、11ビット使用するならば、11nsの遅延時間となる。動作周波数100MHzのメモリを使用している、メモリアドレスのアップで取りこぼしが発生することになる。

アドレスカウンタのこの時間遅延問題の解決方法はメモリバンク方式を採用することで解決できる。メモリバンク方式を用いたロジックアナライザボードの解説は参考文献(2)が詳しい。例えば、2個のメモリを用い、入力データをラッチ回路で取り込み、メモリに交互に書き込む方法である。両メモリのアドレスはアドレスカウンタで同時にアップさせるが、交互に書き込みをするので許容される時間遅延は2倍となる。メモリを更に多数用いれば、メモリの書き込み動作周波数までサンプリング時間を上げることができる。容易に100MHzのロジックアナライザとすることができる。

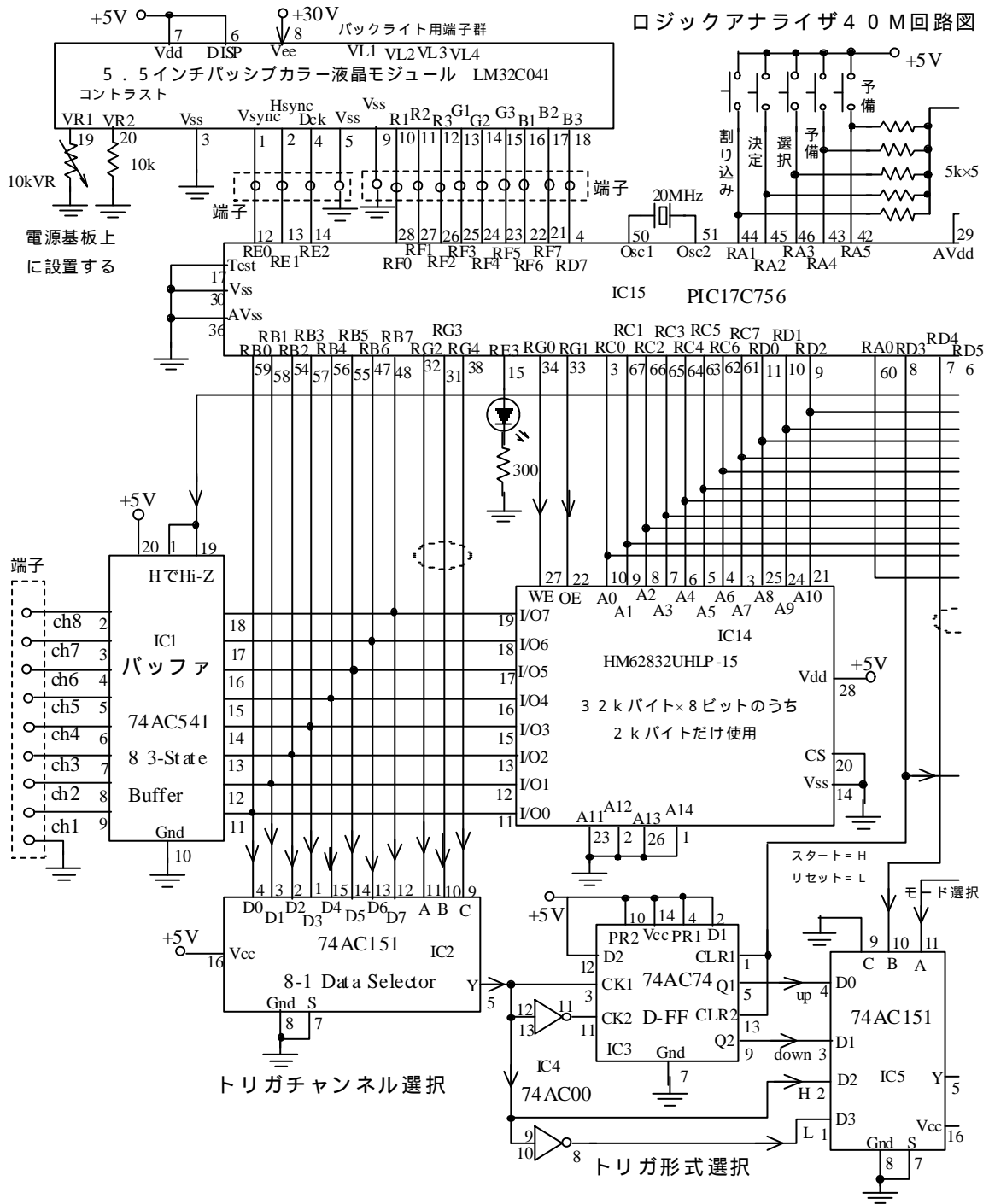


図 11 - 1 製作した 40MHz ロジックアナライザの回路図 (左半分)

ロジックアナライザ 40 M 回路図

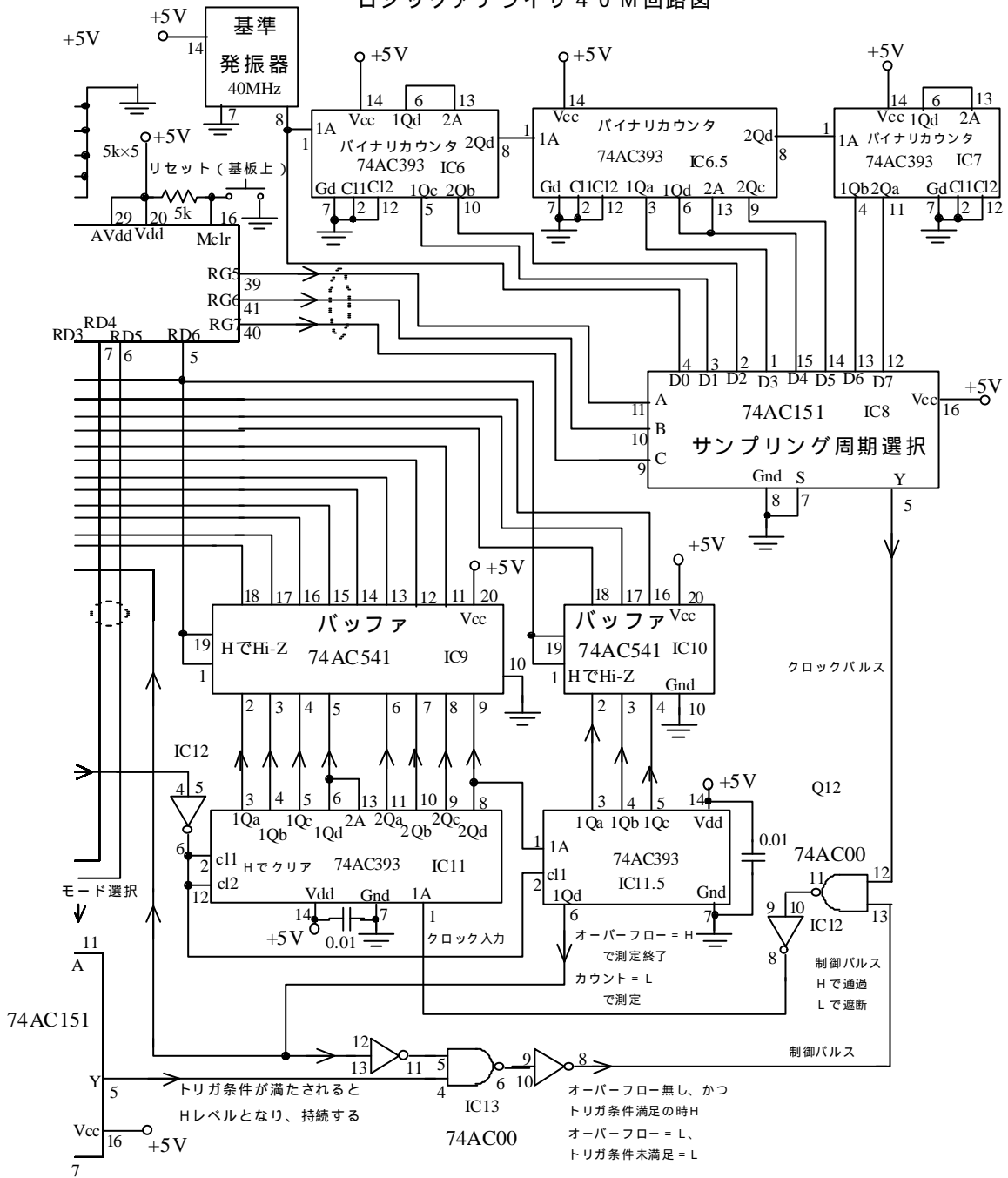


図 1 1 - 2 製作した 40 MHz ロジックアナライザの回路図 (右半分)

ここではメモリバンク方式を採用すると、回路の大幅な変更をしなければならないこと理由から、この方式は採用しないことにした。

### (3) 使用方法

装置の外見は全く10Mと同じである。使用方法も10Mと同じである。

### (4) 40Mの性能

性能もサンプリング周波数以外は同じである。

入力信号レベル	Lレベル 0V、Hレベル +5V
入力チャンネル数	8つ
メモリ容量	各チャンネル2048点
サンプリング周波数	40M、5.0M、625k、78k、9.8k、1.2k、152、19 (8分の1スケールダウン)
グラフ処理機能	左右移動、拡大、縮小、復元

#### サンプリング周波数40MHzでの動作における留意事項

サンプリング周波数を40MHzとしたとき、メモリアドレスの10番目ビット当たりで、上述したアドレスの指定取りこぼし現象が見られる。LCD画面では周期的な髭パルスとして見てとれる。LCD画面に表示するデータのアドレス値が10ビット指定アドレス以下ならば何らの問題もなく、正常に測定できる。それ以上の場合でも、この周期的な髭ノイズ現象が画面に現れる点を頭に入れておけば、さほど問題はないと思う。

### 6. 終わりに

PIC17C756に書き込んだアセンブラプログラムはMicrochip社のMPASMで作成し、ライターは同社の「PICSTART Plus」に756専用アダプタを取り付けて使用した。

更なるサンプリング速度の高速化は、メモリバンク方式を用いれば容易に実現できよう。入力データのラッチ回路、複数個のメモリを使用することになる。

今後、それをやるかどうかは今のところ考えてはいない。

### 参考文献

- (1)「ワンチップマイコンを用いたロジックアナライザの製作」 小幡 純一、電子制御工学科2000年度卒業研究生
- (2)「ロジックスコープの製作」石川克樹、トランジスタ技術 Special、N0.19、p82~88、CQ出版社

E-mail kinno@oyama-ct.ac.jp

URL <http://www.oyama-ct.ac.jp/D/kinnoken>