

## ポケットコンピュータをインターフェイスに用いた 簡易任意波形ジェネレーターの開発

### Development of the Simple Arbitrary Waveform Generator which used the Pocket Computer for the Interface

渡辺達男、石川恭久<sup>1)</sup>

Tatsuo WATANABE, Yasuhisa ISHIKAWA<sup>1)</sup>

#### 1. 緒言

現在、様々な実験用計測器が市販されていて、教育機関では様々な実験、教育に用いられている。しかしそれらの多くは価格が高く、特に一部の測定器、実験装置は非常に価格が高い。学生実験用にはそれほど精度等を要求しないことがほとんどであり、性能面で高機能を求めず、安価な装置は教育分野で必要とされる。

以前から、任意波形ジェネレーターは、様々なものが市販されているが、多くは高機能であり、価格も機能に見合い、高価格である。中には数百万円もするものも多くみかける。

学生の実験の多くの場合は比較的安価な市販のファンクションジェネレーターでも間に合うが、最近ではよりバリエーションに富む波形に対する要求も増えてきている。

そこで我々は、精度、機能的には低いですが、安価なそして初心者にも使いやすい任意波形ジェネレーターを開発した。その際、学生実験等において十分な機能を持つこととした。

任意波形ジェネレーターは、様々な回路の検査や、新しい回路の開発等に用いられ、実験等で用いるには有用である。

開発するにあたり、波形を入力する方法を簡略化するために、入力をポケットコンピュータを用いて行った。ポケットコンピュータは、情報教育機関では初期教育として多用されており、学生は使い方にほぼ習熟している。ポケットコンピュータ

で波形データを形成し、そのデータを電圧波形に変換し出力する簡単な装置を開発した。

学生実験に使用することを念頭においているため、できるだけ大きさ等も小さくすることを目標にした。そのためにもポケットコンピュータを入力に利用した。

2章では、開発した任意波形ジェネレーターの構造、回路に関して、3章では、実際の製作に関して、4章では、製作したジェネレーターの評価を、そして5章はまとめにあてられる。

#### 2. 回路の構成

##### 2. 1 回路の構成と素子

回路を設計するにあたり、できるだけ簡易な回路を用いることを念頭においた。

製作した任意波形発生機のブロックダイアグラムを図1に示す。回路の基本的アイデアは逆瀬川<sup>1)</sup>を参考にさせていただいた。回路の動作原理は以下の通りである。

(1) 波形データを数値の形でポケットコンピュータで作成する。それをポケットコンピュータのインターフェースを通してメモリに書き込む。

(2) すべてのデータをメモリに書き込んだ後に、メモリに書き込まれた波形データはクロックでアドレスカウンタをインクリメントしながら、アドレスで指定したメモリ内のデータを順次読み出される。読み出されたデータはD/Aコンバーターに出力され、D/Aコンバーターにより、波形データが電圧に変換され、任意電圧波形が出力される。

1) 小山工業高等専門学校電子制御工学科平成13年度卒業生

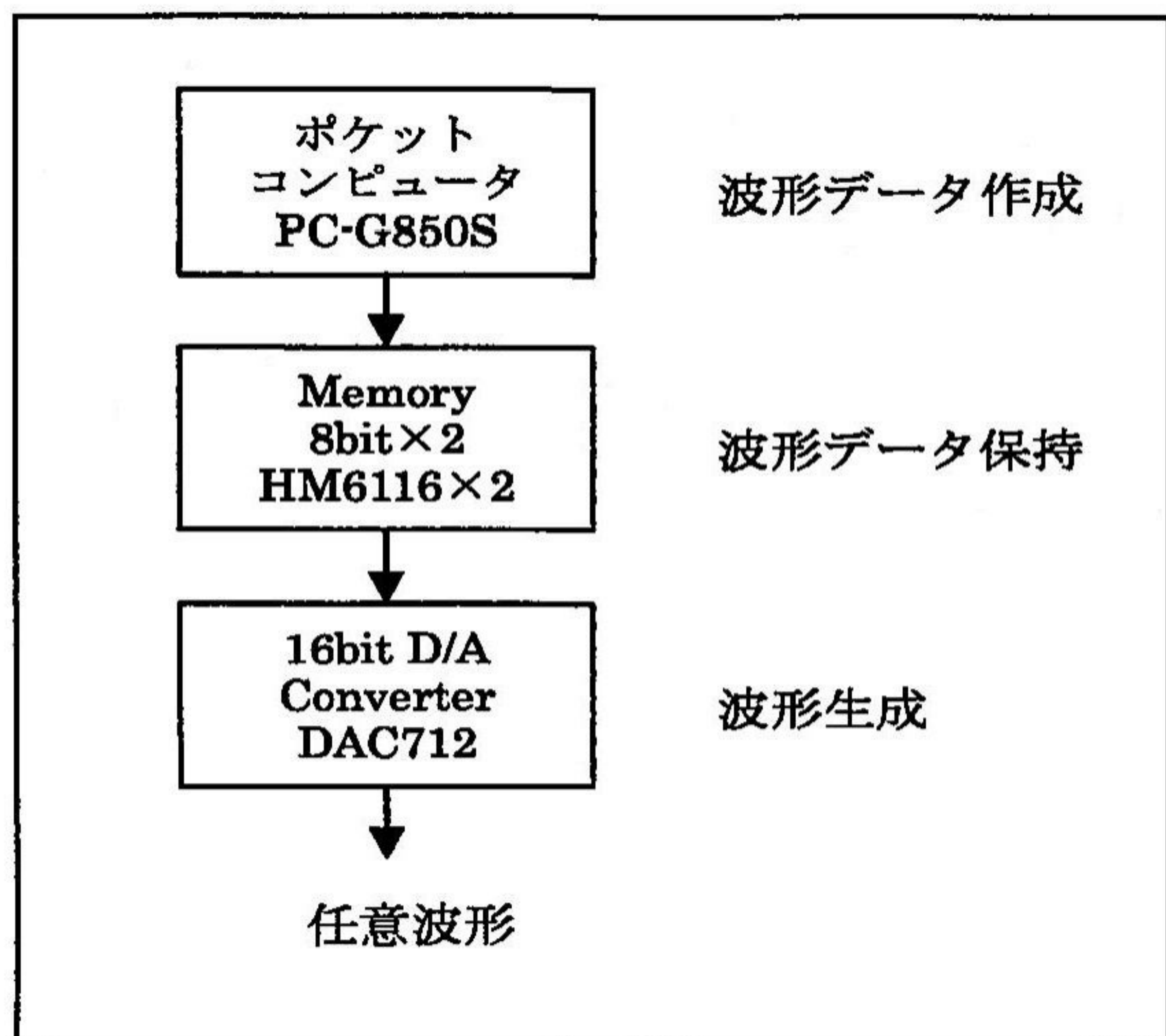


図1 ブロックダイアグラム

メモリのアドレスカウンタが最大になると、次のクロックでゼロに戻るので、同じ形の波形がくり返し出力される。

学生実験といえども、できれば高精度の波形が出力されることが望ましいので、波形データは16ビットとした。

使用したポケットコンピュータは学生の初期情報教育に用いられているシャープのPC-G850Sを用いることにした。学生はこのポケットコンピュータを主に関数電卓、Cのプログラミング演習に用いており、使いやすく、馴染み深いものである。

ポケットコンピュータのインターフェースはサンハヤトのCT-8255を用いることにした<sup>2)</sup>。このインターフェースは82C55を使用したもので、ポケットコンピュータの3つのポートの入出力を行うことができる。ポートはA、B、Cの3つの8ビットポートであり、3つとも入出力に用いることができる。今回の製作では出力専用ポートを用いている。

メモリには8ビットメモリHM6116を用いた。ポピュラーで使いやすく、安価である。ポケットコンピュータのポートはそれぞれ8ビットであるので、ポート1つに1つのメモリを対応させた。2つで16ビットになる。HM6116はアドレスが2048あるので、発生させる任意波形の1周期は最大2048の16ビットデータで構成される。

ポケットコンピュータの残る一つのポートはデータ制御に当てられる。ポートの各ビットの役割を表1に示す。またCポートのビット割り当てを表

2に示す。

表1 ポートの割り当て

Aポート	下位8ビット出力
Bポート	上位8ビット出力
Cポート	コントロール用

表2 Cポートの各ビットの割り当て

C1	カウンタのリセット用
C2	メモリのW/R制御用
C3	メモリ書き込み時のタイミングパルス
C4	バッファ制御 (入)
C5	バッファ制御 (切)
C6	空き
C7	空き
C8	空き

16ビットデータはD/Aコンバータで、電圧波形に変換される。今回は少々値段が高かったが、簡単に使える、バーブラウンのDAC712を用いた。2つのラッチと16ビットD/Aコンバータが内蔵されている。DAC712の規格の抜粋を表3に示す。

表3 DAC712(BURR-BROWN規格表<sup>3)</sup>から抜粋)

RESOLUTION	16BITS
ANALOG OUTPUT	±10V
OUTPUT CURRENT	±5mA
POWER SUPPLY	±15V
TEMPERATURE	-40~+85°C

波形形成時のメモリからのデータ読み出しのために、アドレスカウンタ74HC4040を用いている。またアドレスカウンタのクロックは可変として、CR発信回路で行っている。後で説明をするが、グリッジ発生を少しでも押さえるために、1/2に分周して1/4周期ずらしたクロック波形も同時に発生させ、D/AコンバータのWR端子に入力している。CR発信回路は安定度が悪いが、安価であり簡単に発信周波数を変化させることができるので、今回採用した。このクロックの安定度で任意波形ジェネレーター性能が左右される。製作に当たり、クロックは別回路とした。必要に応じてクロックの部分を取り替えることにより、必要な性

ポケットコンピュータをインターフェイスに用いた簡易任意波形ジェネレーターの開発

能を持たせることができるようにした。今回のクロック周波数は～1 [MHz] までの可変とした。

2. 2 ポケットコンピュータのデータとプログラム

DAC712 は通常の16ビットデータに対する電圧波形を出力するので、慣れ親しんだ符号付き16ビットデータをポケットコンピュータで作成すればよい。すなわち、0 [V] は0000H、10 [V] は7FFFH、-10 [V] は8000Hである。

矩形波を出力するためのプログラム例を図2に示す。①の部分は初期設定とポートA、Bを出力にセットする部分である。②の部分で波形データを作成する。dataという配列要素にデータを作成する。③の部分でデータを書き込む。制御も同時に行っている。16ビットデータはポケットコンピュータのAポートに下位8ビット、Bポートに上位8ビットを出力する。ポートA、Bを出力にセットし、またメモリを書き込み可能状態にする。その後、クロックを切り替え、メモリから順次D/Aコンバータにデータを出力し、波形を得る。

能率の良いプログラムをうまく作れば、メモリへのデータ転送時間が短縮される。

```

unsigned short data[2049], a, b;
int i, j;
output(0x23, 0x80);
output(0x22, 0x16);
/* ② データ計算 */
for(i=0; i<=1023; i++) data[i]=0x7FFF;
for(i=1024; i<=2047; i++) data[i]=0x8000;
/* ③ 書き込み及び制御 */
for(i=0; i<=1023; i++) {
    a=data[i]%256; b=data[i]/256;
    output(0x20, a);
    output(0x21, b);
    output(0x22, 0x16);
    output(0x22, 0x12);
    output(0x22, 0x16);
};
output(0x22, 0x17);
output(0x22, 0x09);
printf("start for push key");
scanf("%d", &j);
output(0x22, 0x08);
}
    
```

図2 プログラム例 (矩形波)

```

main()
{ /* ① 初期設定 */
    
```

2. 3 回路図

製作する任意波形ジェネレーターの全回路図を図3に示す。図では電源等は省いてある。

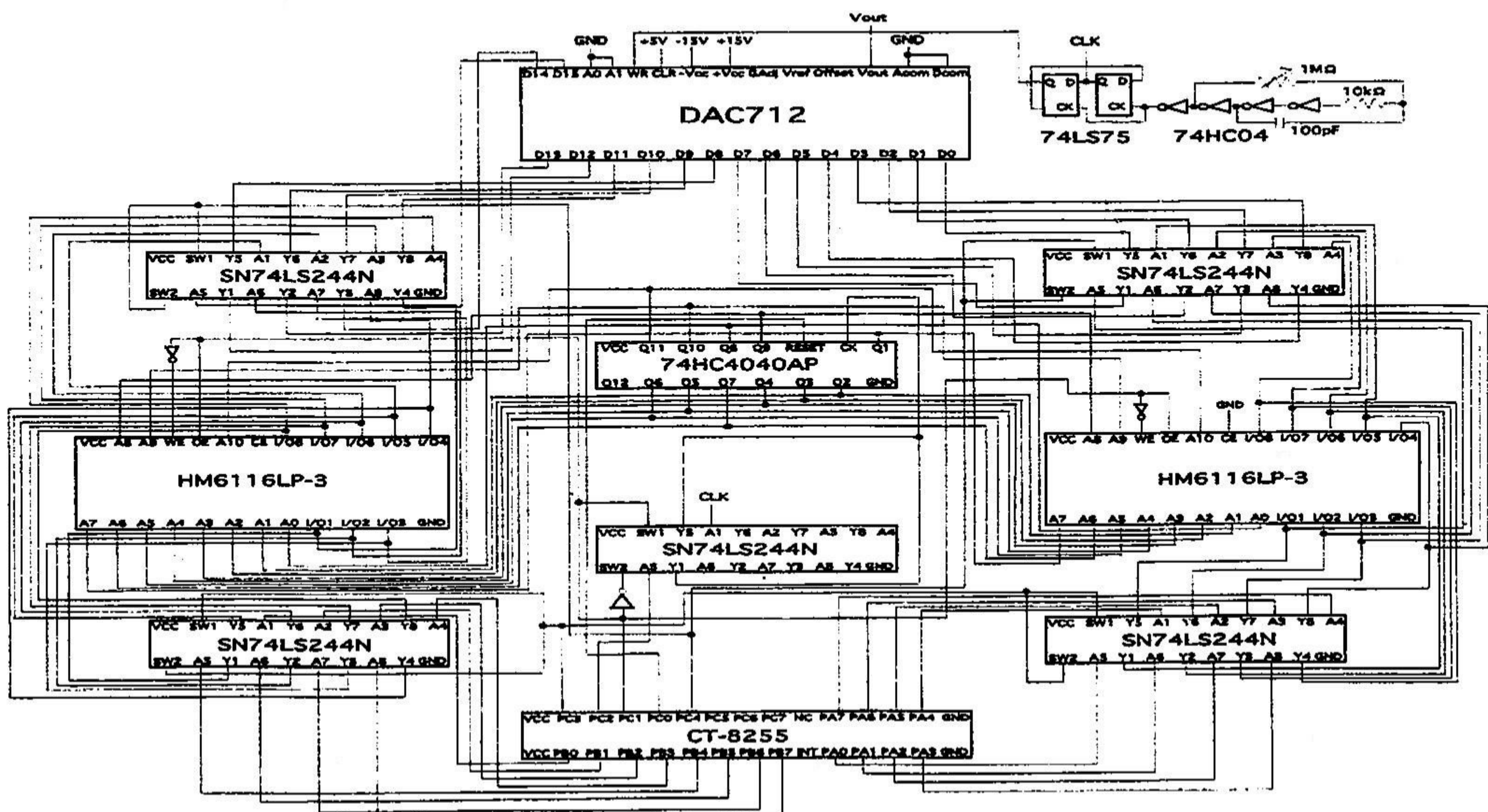


図3 回路図

### 3. 製作

実際に製作をし、完成した任意波形ジェネレーターの外観を図4に示す。

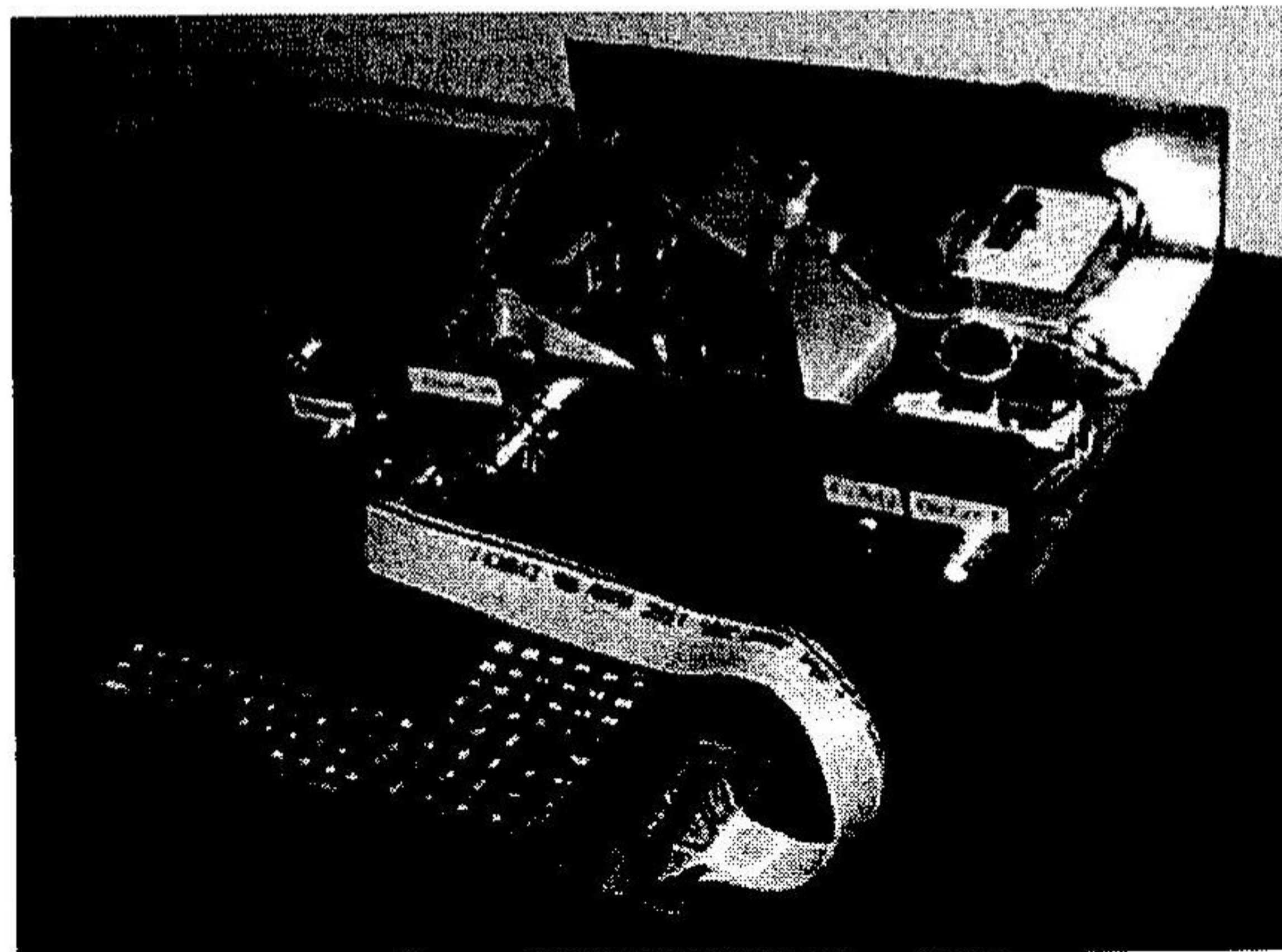


図4 外観

内部の向かって左側が電源部。右奥がメモリとD/Aコンバータ。中心部前がサンハヤトのインターフェース。右前がクロックである。

正面パネルは左が電源SW。中心部のコネクタがポケットコンピュータのバスと繋ぐコネクタ。今回はアンフェール50Pを用いた。ポケットコンピュータのバスのピンは40Pなので10P余分になるが、拡張用として残してある。パネル右の摘みはクロック周波数可変用ボリューム。右端のBNCコネクタが出力コネクタである。

実際に実装してみると、いくつかのブロックに回路を別けたことが災いして、結果的に少々大きめの筐体になってしまった。しかし、メンテナンスはしやすく、拡張も容易であると思われる。

電源が比較的大きな部分をしめているが、これは価格を低く押さえるために、5[V]電源用ACアダプターとD/Aコンバータ用の±15[V]の電源を2つ独立して用意したためである。

既製品を用いれば、5[V]、±15[V]のもっとコンパクトな電源があると思うが、今回はポケットコンピュータのインターフェースの電源として用いているACアダプターをそのまま用いた。

ケースも、今回は安価であることを目的としているので、既製品ではなく、アルミ版で自作した。

また、ポケットコンピュータのバスへのコネクタは特殊で、専用のコネクタを利用した。

### 4. 評価

実際に製作した任意波形ジェネレーターの出力波形を図5に示す。図5(a)は矩形波、(b)は正弦波である。どちらも、周波数は約350[Hz]である。

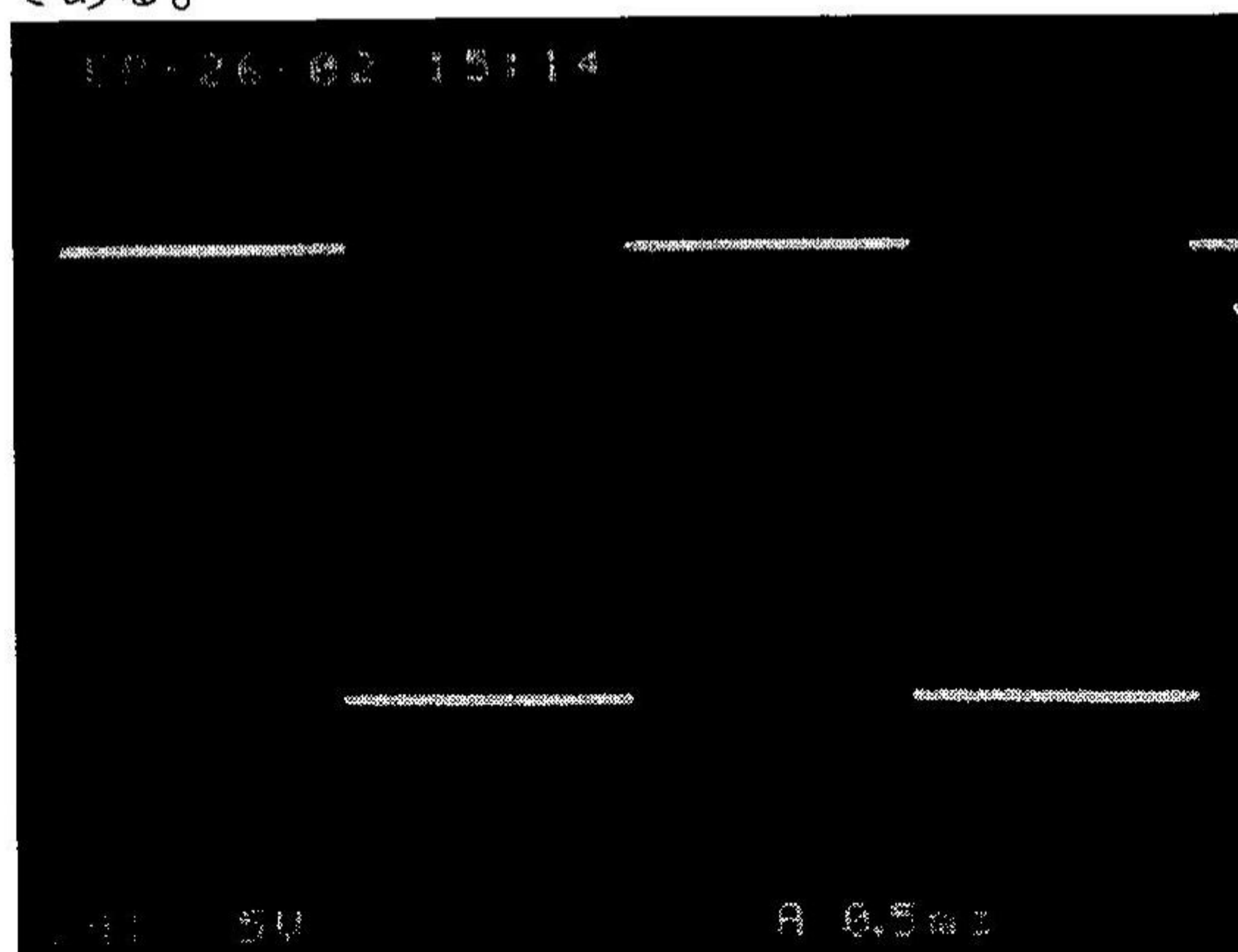


図5 (a) 矩形波

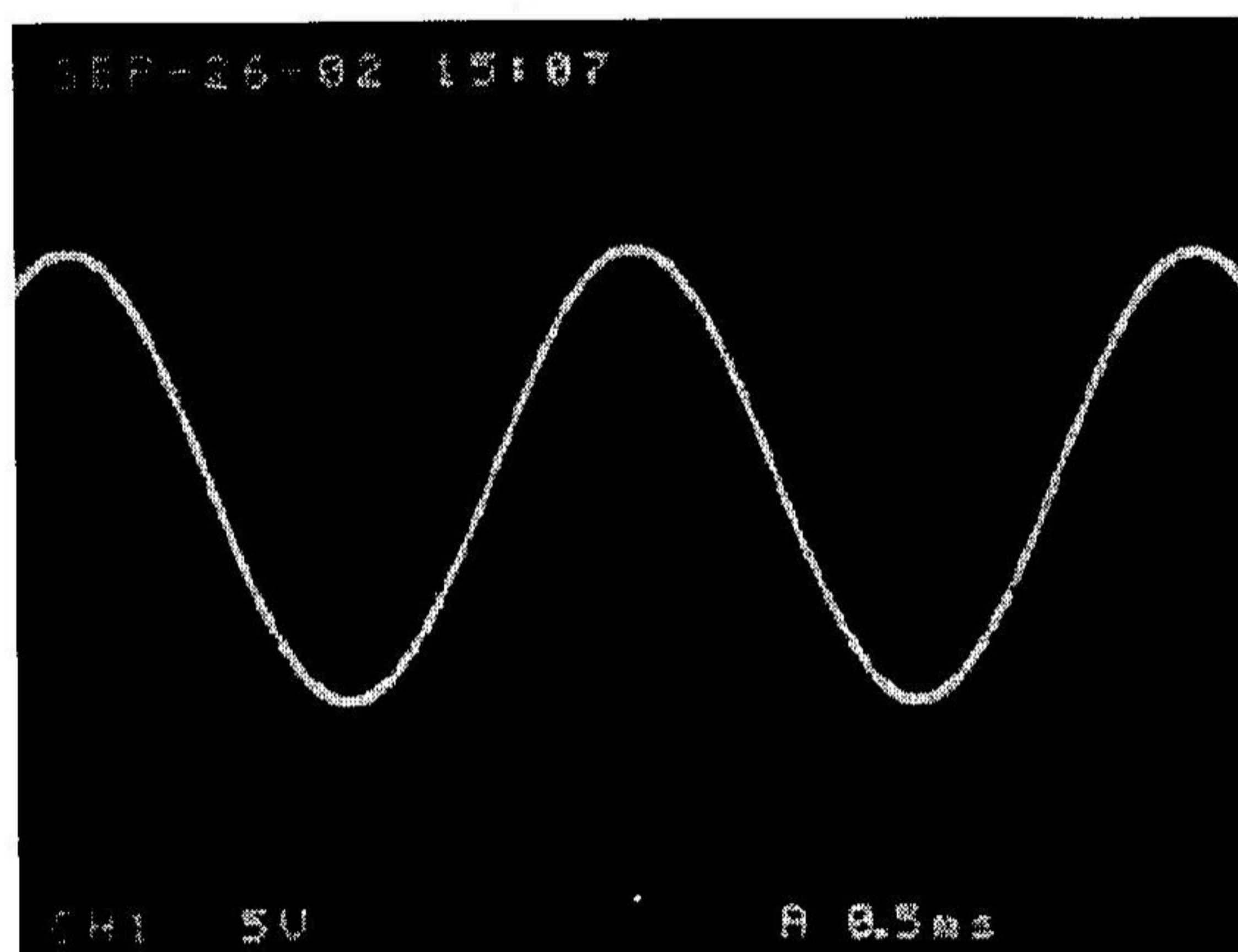


図5 (b) 正弦波

波形はきれいな形をしている。学生の実験用ということが目的だったので、歪みもなく、十分な性能が得られている。

任意波形ジェネレーターということであるので、図6に変わった波形を示す。正弦波と矩形波に近い波の連続した波である。このような波形がポケットコンピュータの簡単なプログラミングで簡単に発生させることができる。

発生させる波形の周波数は入力クロック周波数とプログラムにより変化させることができる。入力クロック周波数はCR発振器を用いているので、付加抵抗の値をかえることにより出力波形の周波数は変化する。今回の装置ではクロック周波数は

～1 [MHz] まで安定に発振する。さらにクロック周波数をあげるには、付加抵抗及びコンデンサーを変化させればよい。また、高速で動作すゲートICを用いればよい。

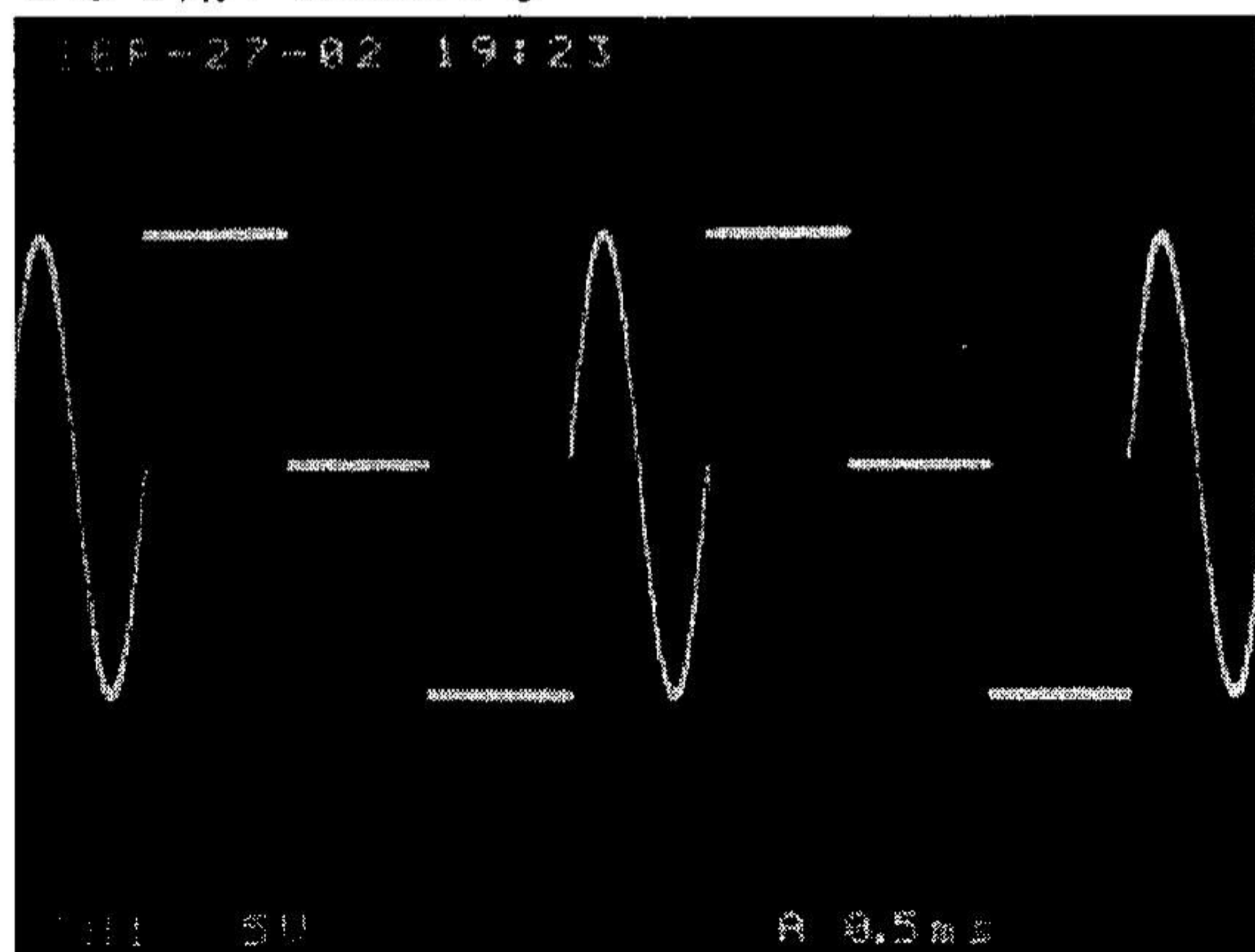


図6 発生させた任意波形

問題は、クロック周波数より実際は1/2000程度の周波数の波形になってしまうことである。時間軸の解像度を高めるにはそれだけ多くのデータが必要である。そしてそのデータを1周期走査するのに時間がかかり、結果として出力された波形の周波数は低くなる。

高い周波数の出力を得るための方法は、プログラムを変えることである。

2048個のデータで1つの波形を作るのではなく、2048個のデータの中に同じ波形を複数作る方法である。例えば512個のデータで1波長分作り、残りのデータは同じデータのくり返しにすればよい。これにより2048個のデータ中に4波長分のデータがあるが、周波数は4倍になる。

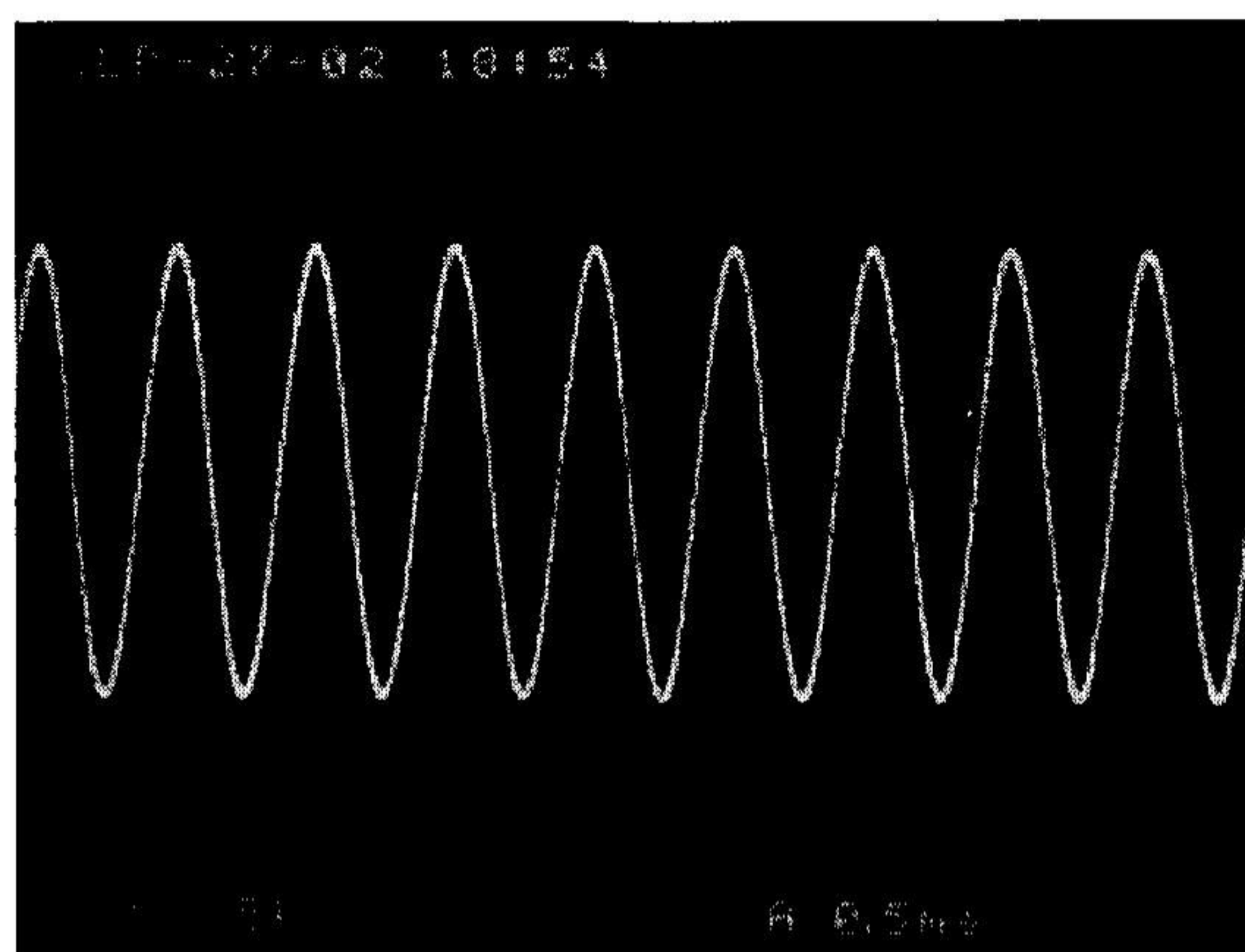


図7 4倍の周波数の正弦波

この方法により、発生させた正弦波を図7に示す。

この方法では時間軸方向の解像度が悪くなる。しかし、時間的に変化の激しい波形は問題になるが、変化の少ない波形では、十分実用になる。目的にあった方法で用いればよい。図の波形では解像度の低下はまったく気にならない。

なお、本装置での最高周波数はクロック周波数の1/2の周波数になる。

今回の波形の発生方法ではメモリからの読み出しのタイミングがずれることにより、データが時間的にずれてD/Aコンバーターに入力されることがある。ずれて入力されると、波形の一部にヒゲのようなものが発生する。これをグリッジというが、今回用いたDAC712にはラッチ機能があり、この問題を防いでいる。クロックを1/4周期遅らせたもう一つのクロックをDAC712のW/Rピンに入力し、1つめのクロックで読み出したデータが出そろそろころに、1/4周期遅れたもう一つのクロックでDAC712に同時に書き出し、アナログ出力を得ている。

しかし、クロックが高くなると時によりグリッジがおこることがある。これは、クロック周波数が高くなるためだけでなく、メモリの書き込みの問題もあるのではないかと思う。

今回の回路では、出力電圧はプログラムでのみ変化させることができる。安価な回路ということで、D/Aコンバーターの出力をそのまま、装置の出力にしている。

## 5. まとめ

安価で簡易な任意波形発生機を製作した。その結果、低い周波数では満足な性能を得ることができた。すなわち、ポケットコンピュータで作成した任意の波形データの波形を忠実に電圧波形として出力することができた。

しかし、高い周波数では波形の時間軸方向の解像度が低くなる、クロック周波数を高める、またグリッジの発生等まだまだ満足のいかない部分がある。

今回は、安価、簡易を目的にしているので、CR発信回路を用い、クロックを作成している。しかし、これ以上周波数をあげると、多少安定度が落ちてくる。また高い周波数になると、波形の変形等

の問題が顕著になる。より高価な部品や回路を用いればある程度の解決にはなるが、現在の方法で、安価に安定をよくするにはどうするかは今後の課題である。

安価といっても、結構費用がかかってしまったことも問題である。しかし製品を購入するよりはるかに安価である。

また、当初の目的である学生実験にはある程度使用できる性能であるが、なにぶん使用してみると、多少使い勝手が悪い。一つはプログラム入力である。

ポケットコンピュータのプログラム入力をより簡単にすることも必要である。現在の方法ではポケットコンピュータのプログラムを直接書き込むことで波形データを作成しており、一度ポケットコンピュータを使用した経験のある学生等にとっては使用は簡単だが、まったくの初心者には使えない。装置の使用に多少の学習が必要である。

また出力電圧も手動で任意に変化させることは、今回は行わなかった。出力電流の低下と回路の複雑化等も考えられたため、今後は安価で簡単な回路を付加して使いやすくしたい。

以上、性能的、使い勝手等で不満足感はあるが、ある程度の当初の目的は果たせたと思われる。

#### 参考文献

- 1) 逆瀬川浩一郎：デジタル回路の基礎と応用、日本放送出版協会（1995）
- 2) サンハヤト：CT-8255 組立・取扱説明書
- 3) BURR-BROWN: DAC712 規格表（1994）
- 4) SHARP : PC-G850S 取扱説明書

「受理年月日 2002年9月30日」