

## 教材用デジタルオシロスコープと低周波発振器キットの開発

葉山 清輝\*

## Design of the digital oscilloscope and low frequency oscillator kit

Kiyoteru Hayama\*

Abstract: To correct the unbridgeable gulf of the lecture and the experiment for the study of low frequency electronic circuit, kits of digital oscilloscope and low frequency oscillator are designed. The price of both kits are less than 3000 yen, so it is reasonable to use independence study for students.

キーワード：デジタルオシロスコープ，低周波発振器，教材キット，Arduino，AVR

Keywords：digital oscilloscope, oscillator, kit, Arduino, AVR

## 1. はじめに

高専は実践的技術者育成を目的としているため，独立した科目として工学実験が行われている．本来なら講義（座学）の進捗状況と合わせた実験が行われるべきであるが，実験カリキュラムが独立して生まれ，講義と実験とが乖離していることも多い．講義と実験の乖離を是正する試みとして，電子工学科3年の電子回路学の講義において実体験を通して電子回路学について学んでもらうために，座学のみで行われていた授業の代わりに，授業中に各自で簡単な実験をできるように工夫した事例を昨年の紀要で紹介した．このような授業形態においても，交流理論や低周波増幅回路の実験のために，学生が個別に購入・製作できる教材として低周波発振器キットと低周波用オシロスコープキットを開発した．

## 2. 低周波発振器キット

## 2.1 概要

AVR マイコン(ATmega328P)を使った8bitのD/A変換による低周波発振器を開発した．低周波発振器の概観を図1に示す．仕様概要を以下に示す．

- ・マイコンに内蔵されている8MHzの内部発振器をもとに，256階調の波形データを64ステップで出力
- ・発振周波数は約10Hzから約6kHz，出力振幅は最大5V<sub>p-p</sub>でボリュームにより可変
- ・出力波形：正弦波，三角波，のこぎり波，矩形波，パルス波（デューティ比可変）
- ・波形モード設定ボタン，周波数レンジボタンにより設定を切替
- ・3種類のボリュームにより，デューティ比設定，周波数

\* 情報通信エレクトロニクス工学科  
〒861-1102 熊本県合志市須屋 2659-2  
Department of Information, Communication and Electronics,  
2659-2 Suya, Koshi-shi, Kumamoto, Japan 861-1102

設定，出力電圧設定が可能

- ・出力はAC,DC切り替え，ACはコンデンサで直流カット，内部抵抗600Ω
- ・設定状態は16文字2行のキャラクタLCDで表示
- ・電源はDC6V，単三電池を4本使用

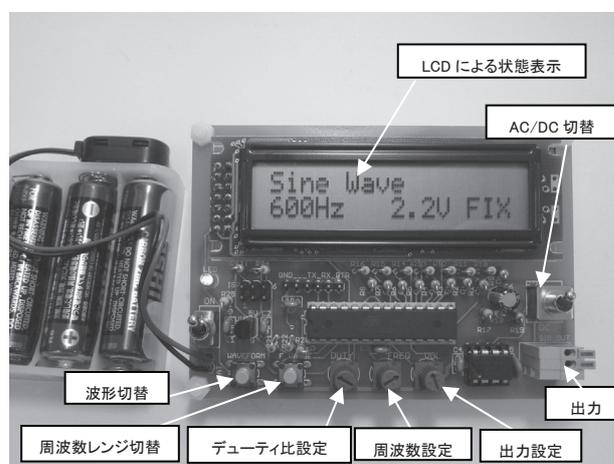


図1 低周波発振器の概観

## 2.2 動作説明

左側の電源スイッチをONするとLCD画面に波形の種類，発振周波数，出力電圧のピーク値が表示される．

波形切替ボタンを押すと，正弦波，三角波，ノコギリ波，矩形波，パルス波の順に波形が切り替わる．周波数レンジボタンを押すと，周波数レンジが3段階（10-300Hz，300-3kHz，1k-3kHz）に切り替わる．周波数はボリュームにより調整することができるが，デジタル処理で波形を生成しているために，周波数は連続的には調整できない．また，1k-3kHzの周波数レンジでは速度優先の処理をしているた

めに信号の歪が大きくなってしまふ。出力調整ボリュームは連続的に出力電圧を可変できる。パルス波の場合は、ボリュームでデューティ比設定を行うことができる。正弦波とパルス波の出力波形のオシロスコープによる観測例を図2と図3に示す。

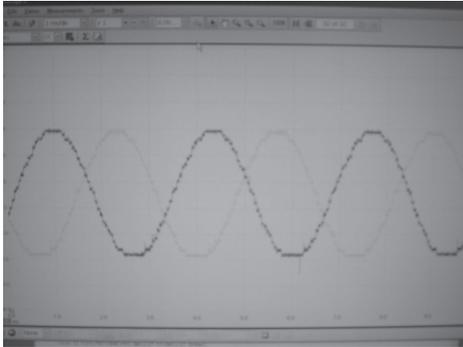


図2 正弦波

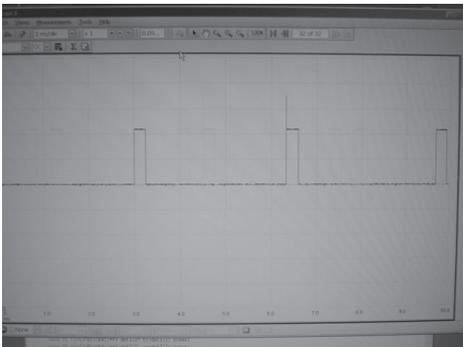


図3 パルス波

信号は右側の2端子ターミナルブロックから出力される。上側が出力端子、下側がGNDである。出力端子の上にあるAC/DC切替スイッチにより、出力にコンデンサを通して直流分をカットしたAC信号を得ることができる。

使用しているマイコンは特に高速ではないので、信号生成と各種設定を同時に行うには負荷が大きい。出力と同時に0.1秒毎に設定状態の確認を行っているが、この確認に時間がかかるために信号に雑音が入ってしまう。これを抑えるために、設定を変更しない状態が5秒間継続したら設定完了とみなしてLCD画面に“FIX”と表示し、スイッチやボリュームの監視を最低限にしている。再設定を行う場合には、波形設定ボタンを押せばよい。

### 2.3 低周波発振器キットの構成と製作について

開発した低周波発振器を容易に製作可能にするために、専用基板を設計した。使用部品の配置と部品名、部品番号等がシルク印刷されており、部品表(表1)と対比しながら部品をハンダ付けすればよい。部品価格の合計は3000円未満となった。

表1 低周波発振器の主要部品

品名	規格	数量
1 低周波発振器基板	特注品	1
2 LCD	SC1602BS-B	1
3 AVR マイコン	ATmega328P	1
4 OPAMP	LM358N	1
5 IC ソケット	8p	1
6 IC ソケット	28 P	1
7 ピンヘッダ	両端オスピン(14pin)	1
8 ボリューム (Duty, Freq, Vol)	20 k Ω, つまみ付き	3
9 電源スイッチ	3P	1
10 切替スイッチ	3P2連	1
11 タクトSW (Waveform, f-range)	2個	3
12 3端子レギュレータ	5V, 低ドロップ, S-812C50AY-B-G	1
13 ターミナルブロック	2.54mm 2ピン(緑)[織]	1
14 積層セラミックコンデンサ C1, C2, C3, C4, C7	0.1 μ F 50V	5
15 積層セラミックコンデンサ C5	1000 pF, 50V	1
16 電解コンデンサ C6	100 μ F 25V	1
17 LED	赤色LED 3mm	1
18 抵抗 R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9	2k Ω	9
19 抵抗 R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R24, R25	1k Ω	9
20 抵抗 R20, R21, R22, R23	10k Ω	4
21 抵抗 R17	47k Ω	1
22 抵抗 R18	560 Ω	1
23 電池スナップ	バッテリースナップ「縦型」	1
24 電池ボックス	電池ボックス 単3×4本	1
25 スペーサー	ナット+連結スペーサーセット	4
26 ミノムシクリップ(赤, 黒)	赤, 黒, 各1個	2
27 赤, 黒ケーブル	少々	
28 ピンヘッダ Arduino用	ピンヘッダ (オス) 1 x 6P	1
29 ピンヘッダ ISP用	ピンヘッダ (オス) 2 x 3P	1

### 2.4 低周波発信器の回路

回路を図4に示す。マイコンはAtmega328Pを使用している。マイコンのポートPB0-7のデジタル出力をR-2Rラダー回路でD/A変換し、オペアンプでインピーダンス変換して出力している。このため、外部発振素子を接続できず、マイコンに内蔵された8MHzの内部OSCを使用している。内部OSCの発振周波数は電源電圧に依存するため、電池電圧を低ドロップ型の3端子レギュレータを通して5Vに安定化してマイコンに供給している。単電源タイプオペアンプの電源には電池電圧を印加している。

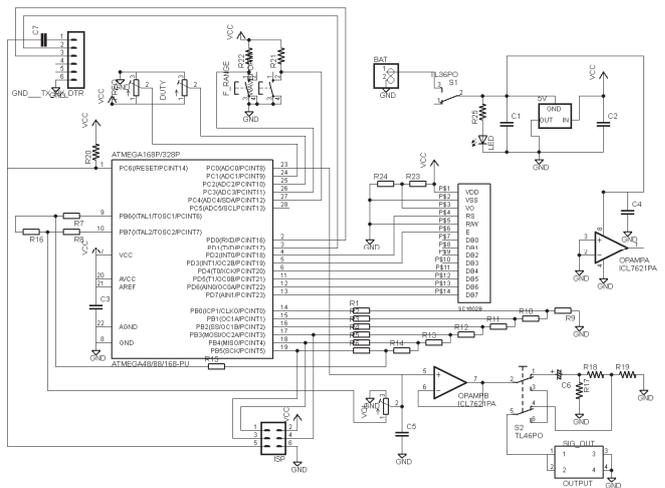


図4 回路図

周波数とデューティ比は  $V_{cc}$  をボリュームで分圧して得られた値をアナログ入力端子 AN1, AN2 より A/D 変換して取り込み、プログラム中で周波数とデューティ比可変の処理をしている。出力電圧は、ラダー回路の後にボリュームを通して可変できるが、ここから電圧を AN0 につないでモニタしている。マイコンへのプログラム書き込みには、シリアル端子と、ISP 端子の 2 系統を用意している。

## 2.5 低周波発振器のソフトウェア

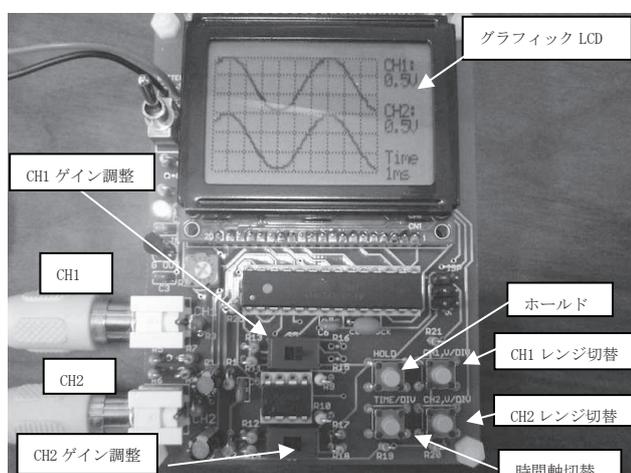
プログラムの開発は Arduino<sup>(1)</sup>の開発環境を用いた。Arduino のブートローダが書き込まれた ATmega328P を使ってプログラムをシリアルポートにより書き込んでいる。なお、キットとして学生に製作をしてもらう場合は、事前にプログラムの書き込みを行ったマイコンを供給する。

## 3. 低周波用デジタルオシロスコープキット

### 3.1 概要

電子工学の基礎で学ぶ交流理論や低周波増幅回路の実験のために、学生が個別に購入・製作できる教材として、AVR マイコン(ATmega328P) とグラフィック LCD によるオシロスコープを開発した。オシロスコープ以外の応用（たとえば、FFT アナライザ、外部センサ等の信号処理表示装置など）もできるように、回路とプログラムともにオリジナルで作成した。デジタルオシロスコープの概観を図 5 に、以下に仕様概要を示す。

- ・ 2 チャンネル、8 ビット A/D 変換
- ・ 表示部分解能 128×64 ドット
- ・ 帯域は約 15kHz (低周波用)、入力インピーダンス 1MHz
- ・ 時間軸可変(100us, 200us, 500us, 1ms, 5ms, 10ms/div, X-Y)
- ・ 電圧軸可変、プリアンプ倍率 x1 (1V, 5V, 10V), プリアンプ倍率 x10 (0.1V, 0.5V, 1V)
- ・ 4 個の入力ボタン (CH1 レンジ切替, CH2 レンジ切替, 時間軸切替, ホールド)



### 3.2 動作説明

電源を入れると、グラフィック画面にスケールと 1,2 チャンネルの入力レンジ、時間軸が表示される。何も表示されない場合はボリュームにより適当な輝度に調整する。左側に配置されている RCA 端子の上がチャンネル 1 (CH1), 下がチャンネル 2 (CH2) の入力端子である。両チャンネルの GND は共通になっている。基板上の上下に CH1 と CH2 のプリアンプのゲイン調整のためのスライドスイッチがある。左にスイッチを入れるとプリアンプのゲインが 1 倍、右に入れると 10 倍になる。画面上のレンジ表示はスイッチと連動して切り替わる。補助的にソフトウェアで表示するレンジ切替を切り替えることができる。右上のタクトスイッチが CH1 のレンジ切替, 右下が CH2 のレンジ切替である。ソフトウェアにより幅広いレンジの表示をしているため、信号のレベルが小さく、表示を拡大したときには信号の量子化誤差が目立つ場合がある。

レンジ切替ボタンを長押しすると表示モードを切り替えることができる。CH1 のレンジ切替ボタンを長押しすると、CH1 のみを拡大して表示するモードとなる (CH2 も同様)。再度長押しで 2 チャンネル同時に表示するモードに戻る。

時間軸は左下のボタンで切り替えることができる。ボタンを押すごとに時間軸が 100us, 200us, 500us, 1ms, 5ms, 10ms, X-Y の順に切替わる。X-Y モードでは、CH1 を X 軸, CH2 を Y 軸とした描画が行われる。

トリガレベルは CH1 入力 0V 付近で固定されている。そのため、波形が完全に停止できない場合はホールドボタンを利用すると良い。左上のボタンがホールドボタンであり、表示を一時的に固定することができる。

### 3.3 デジタルオシロスコープキットの構成と製作について

開発したデジタルオシロスコープを容易に製作可能にするために専用基板を設計した。使用部品の配置と部品名、部品番号等がシルク印刷されており、部品表 (表 2) と対比しながら部品をハンダ付けすればよい。部品価格の合計は 3000 円未満に抑えることができた。

### 3.4 デジタルオシロスコープキットの回路

回路を図 6 に示す。使用するマイコンの  $V_{cc}$  は 5V なので、低ドロップ型の 3 端子レギュレータを通して 5V に安定化している。マイコンは Atmega328P を使用し、外部 OSC により 20MHz のクロックで動作させている。

入力回路には単電源オペアンプを用いている。交流信号を入力するため、入力回路の基準電位はマイコンの電源電圧を 1/2 に分圧して 2.5V とし、マイコンの GND とは分離し

表2 教材用オシロスコープの主要部品

	品名	規格	数量
1	教育用オシロスコープ基板	特注品	1
2	グラフィック LCD	128x64, TG12864E-01XWBV	1
3	AVR マイコン	ATmega328P	1
4	OPAMP	LMC662CN	1
5	IC ソケット	8p	1
6	IC ソケット	28 P [スリムタイプ]	1
7	ボリューム (Duty, Freq, Vol)	10 k Ω, 半固定	1
8	電源用スライドスイッチ	1回路2接点	1
10	スライドスイッチ	2回路2接点	2
11	タクト SW (Waveform, f-range)	4個	4
12	3端子レギュレータ	5V, 低ドロップ, S-812C50AY-B-G	1
13	積層セラミックコンデンサ C3, C4, C5, C6	0.1 μ F 50 V	4
14	電解コンデンサ C1, C2	100 μ F 25 V 85°C	2
15	LED	赤色 LED 3mm	1
16	セラミック発振子	コンデンサ内蔵 20MHz	1
17	基板用RCAジャック (白)	基板用RCAジャック (白)	2
18	抵抗 R1, R2	510 Ω	2
19	抵抗 R3, R4	1 MΩ	2
20	抵抗 R5, R6	39 k Ω	2
21	抵抗 R7, R8, R9, R10, R11, R12, R16, R18, R19, R20, R21, R26	10 k Ω	12
22	抵抗 R13, R14	200 k Ω	2
23	抵抗 R15	20 k Ω	1
24	抵抗 R17	30 k Ω	1
25	抵抗 R22	1 k Ω	1
26	抵抗 R23, 24	100 Ω	2
27	電池スナップ	バッテリースナップ「縦型」	1
28	電池ボックス	電卓 3 × 4 本	1
29	スペーサー	ナット+連結スペーサーセット	4
30	ミノムシクリップ(赤,黒)	赤, 黒, 各2個	4
31	RCA ケーブル	1本2分割	1
32	ピンヘッダ, ISP用	ピンヘッダ (オス) 2 x 3P	1

心に±2.5Vの範囲で変化する信号となる。これをマイコンに内蔵された10ビットA/Dコンバータで入力し、2.5Vのオフセットを取り除いた後に8ビットに丸めて波形のデータとしている。CH1とCH2の信号はマイコンのPC0(ADC0)とPC1(ADC1)にそれぞれ入力されている。

スライドスイッチによりオペアンプの帰還抵抗の倍率を切り替えている。2連のスライドスイッチを用いてR15,R16,R17,R18から成る分圧回路と連動させ、電圧をPC2

(ADC2)より読み取ることでプリアンプのゲインを検出している。PC2は同時にホールドボタンにも接続され、ホールドボタンの入力も同時に検出する。CH1とCH2のソフトウェアによるレンジ切替ボタンと時間軸切替ボタンは抵抗でプルアップされてPC3,PC4,PC5にそれぞれ接続されている。その他のマイコンのポートはデジタル出力としてグラフィックLCDの表示に使用されている。

### 3.5 デジタルオシロスコープのソフトウェア

プログラムの開発には、AVRの発売元であるAtmel社が無償で提供している統合開発環境のAVR Studio<sup>(2)</sup>にフリーソフトのCコンパイラWinAVR<sup>(3)</sup>を組み込んだものを使用した。マイコンのプログラム書き込みにはAtmel社のISPツールであるAVR-ISPmkIIを使用している。

できるだけ表示帯域を上げるために、信号の取り込みと描画は別のプロセスで行っている。表示するチャンネル分のA/D変換のみを高速に繰り返し行って波形を保持したあと、内部に確保した画面作成用のメモリ上に、目盛りの描画、波形の描画、レンジの描画を行い、画面作成用メモリの内容をグラフィックLCDに一括転送することでちらつきの少ない画面を得ている。

## 4. おわりに

講義時間中の机上での実験の導入や、学生の自学自習に利用できる電池駆動の低周波発振器キットと低周波用オシロスコープキットを開発した。これらのキットは電子機器取扱い業者に販売を依頼し、平成23年度情報通信エレクトロニクス工学科2年と情報通信工学科3年の教材として既に導入済みであり、次年度以降の授業でも利用する計画である。

(平成23年11月9日 受付)

### 参考文献

- (1) “Arduino-Home page”, <http://www.arduino.cc/>
- (2) [http://www.atmel.com/dyn/products/tools\\_card.asp?tool\\_id=2725](http://www.atmel.com/dyn/products/tools_card.asp?tool_id=2725)
- (3) <http://winavr.sourceforge.net/>

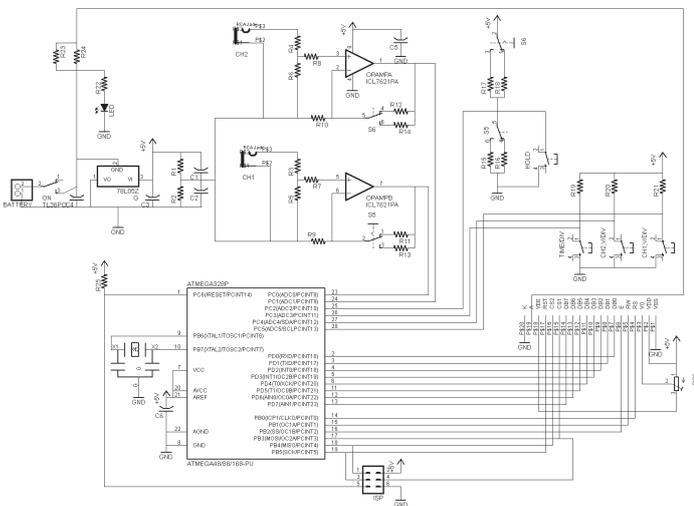


図6 回路図