

## 電子制御工学実験報告書

実験題目 : 電子回路設計・製作 DTMF 信号音エミュレータ  
報告者 : 4 年 42 番 鷲尾 優作  
提出日 : 2022 年 10 月 6 日  
実験日 : 2022 年 6 月 16 日,23 日,30 日,7 月 7 日,14 日,21 日,8 月 4 日  
実験班 :  
共同実験者 :

### ※ 指導教員記入欄

評価項目	配点	一次チェック ． ．	二次チェック ． ．
記載量	20		
図・表・グラフ	20		
見出し, ページ番号, その他体裁	10		
その他の減点	—		
合計	50		

コメント：

## 1 作品タイトル

DTMF 信号音エミュレータ

## 2 構造

図 1 に作成した回路の構造を示す。回路は、Arduino Uno R3 をベースに作成した。表示器として、液晶ディスプレイと LED を備え、信号音を出力するスピーカー、その増幅回路を搭載している。携帯電話と同一な、4 × 4 キーパッドを搭載しており、この入力に応じて出力音を選択することができる。

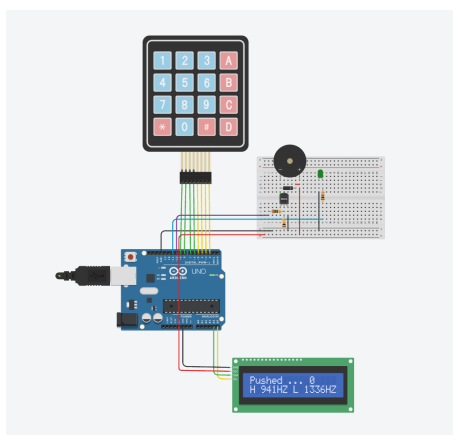


図 1 DTMF 信号音エミュレータ作品図

## 3 動作原理

DTMF 信号は、0 から 9 までの数字、\*、#、A、B、C、D の記号の計 16 種類を、低群・高群の周波数の信号音で表現するものである。電話機による電話番号の送出などに用いられた技術であり、人間の可聴音であるためピポパという音として認識することが可能である。

今回の実験では、TinkerCAD にキーパッドのモデルが用意されていたことから着想し、この送信音を再現することを目的とした回路設計を行なった。

信号音を発生させるのは、Arduino Uno R3 のに接続した圧電スピーカである。このスピーカは、Arduino のピン 10 に出力される PWM 信号を入力として、音を発生させる。PWM 信号は、キーパッドの入力に応じて、Arduino のプログラムによって周波数が決定され、出力される。NchFET を使った簡易な増幅回路を備えており、ピンそのもののへの負荷を軽減している。また、動作を確認するため I2C 接続の液晶ディスプレイと単色の砲弾型 LED を搭載している。液晶ディスプレイにはキーパッドの入力番号及び出力中の周波数が表示される。

## 4 ハードウェア

図 2 に作成した回路の構造を示す。

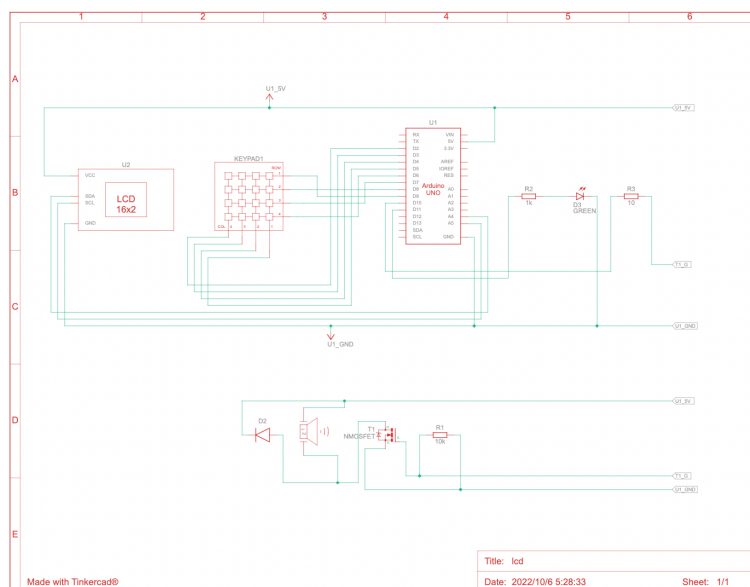


図 2 DTMF 信号音エミュレータ回路図

表示器である液晶ディスプレイ，Arduino UNO と I2C 接続により接続されている．Arduino のピン A4 と A5 に接続されており，信号通信を行う SDA，クロックである SCL，及び電源線 2 本の計 4 本となる．

ピン 10 には，圧電スピーカが接続されている．ピン 10 は，Arduino の PWM 出力に接続されており，このピンに出力される PWM 信号を入力として音を発生させる．ArduinoUNO のチップである ATmega328P の GPIO の許容電流は 20mA であり，TinkerCAD に用意されているスピーカの詳しい仕様が不明であったため，安全策としてピン 10 への負荷を軽減するために NchFET を用いた増幅回路を搭載している．また，同様に TinkerCAD に用意されている NchFET の詳しい仕様や品番が不明であったため，適当にゲート抵抗に 10Ω，ゲートソース間抵抗に 10kΩ を設定している．

キーパッドは，内部は縦横の 4 本ずつの接点を備えたスイッチである，Arduino のピン 2 から 9 に接続されており，特定のキースイッチが押されると，対応するピン間の電圧が 0V になる．

## 5 ソフトウェア

Arduino Uno R3 のソフトウェアについて説明する．図 3 に作成した回路の構造を示す．

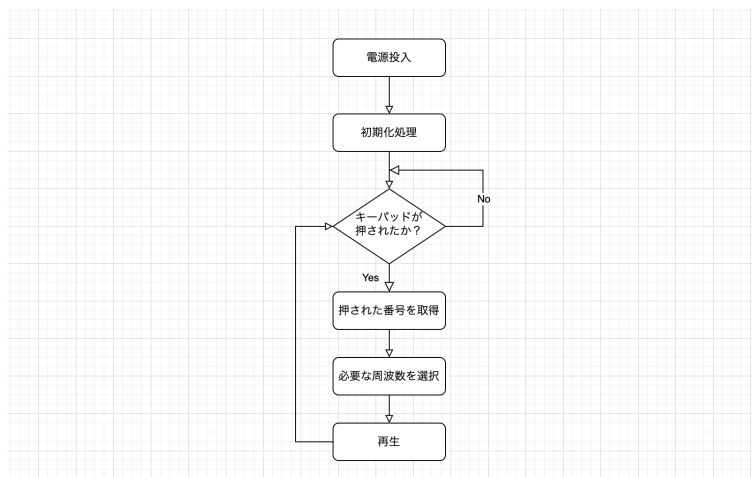


図3 DTMF 信号音エミュレータフローチャート

プログラム内では Keypad.h, LiquidCrystal\_I2C.h, Wire.h を使用している。キーパッドのピン設定については、Keypad.h への 2 次元配列の定義のみなので割愛する。

DTMF 信号の各周波数はマクロ定義している。リスト 1 に示す。

リスト 1 dtmf.ino マクロ部

```

5 #define DTMF_L_1 697
6 #define DTMF_L_2 770
7 #define DTMF_L_3 852
8 #define DTMF_L_4 941
9
10 #define DTMF_H_1 1209
11 #define DTMF_H_2 1336
12 #define DTMF_H_3 1477
13 #define DTMF_H_4 1633

```

電源投入時の初期化処理を、リスト 2 に示す。各ピンの出力設定、液晶ディスプレイの初期化を行なっている。

リスト 2 dtmf.ino 初期化部

```

29 void setup() {
30   Serial.begin(115200);
31   Serial.println("Program_Start");
32   pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
33   pinMode(9, OUTPUT);
34
35   lcd.init();
36   lcd.backlight();
37   lcd.clear();
38   lcd.setCursor(0, 0);
39   lcd.print("DTMF_Signal_Gen");
40   delay(1000);
41   lcd.clear();

```

---

```
42 }
```

---

LCD ディスプレイの表示を担う関数をリスト 3 に示す。押されたキーの番号、及び出力中の周波数を引数として受け取り、それらを表示する。

リスト 3 dtmf.ino LCD 関数部

---

```
44 int lcd_print(char key, int high, int low) {
45     lcd.setCursor(0, 0);
46     lcd.print("Pushed...");
47     lcd.print(key);
48     lcd.setCursor(0, 1);
49     lcd.print("H");
50     lcd.print(high);
51     lcd.print("HZL");
52     lcd.print(low);
53     lcd.print("HZ");
54     return 0;
55 }
```

---

キー入力を受け付け再生するプログラムの一部をリスト 4 に示す。キー入力の文字列によって switch 文で分岐し、各キーに対応する周波数を出力する。

リスト 4 dtmf.ino 再生部

---

```
57 int buzz(int high, int low) {
58     for (int i = 0; i < 20; i++) {
59         tone(10, high, 100);
60         tone(10, low, 100);
61     }
62 }
63
64 int dtmf(char key) {
65     switch (key) {
66         case '1':
67             digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
68             lcd_print(key, DTMF_L_1, DTMF_H_1);
69             buzz(DTMF_L_1, DTMF_H_1);
70             break;
71         case '2':
72             digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
73             lcd_print(key, DTMF_L_1, DTMF_H_2);
74             buzz(DTMF_L_1, DTMF_H_2);
75             break;
76         case '3':
77             digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
78             lcd_print(key, DTMF_L_1, DTMF_H_3);
79             buzz(DTMF_L_1, DTMF_H_3);
```

---

```
80         break;
```

---

最後に、main 関数をリスト 5 に示す。main 関数では、キー入力を受け付け、キー入力があれば、処理関数を呼び出す。

リスト 5 dtmf.ino メイン部

---

```
150 void loop() {
151     char key = keypad.getKey();
152     if (key != NO_KEY) {
153         lcd.clear();
154         Serial.println(key);
155         dtmf(key);
156     }
157     digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
158 }
```

---

## 6 結果と今後の課題

回路は想定通りの動作をし、キー入力に対応した周波数の音を出力することができた。しかしながら、ArduinoUNO はシングルコアであるため、DTMF 信号の出力周波数を決定する波形は同時に 1 つしか出力できない。今回は信号音を聞くことに専念した設計とし、高速で交互に低音と高音を出力しているが、本来の伝送信号としては不適切である。マルチスレッド処理が可能な IC を用いるか、独立した 2 系統の回路的な処理系を設け、2 スピーカーでそれぞれ音を出力する改良を加えたい。

## 7 感想

TinkerCAD は設定されている素子の特性が明確になっていないため、回路の設計が難しかった。DTMF 信号というやや古いテーマ設定をしたが、わかりやすく、実装が容易であったので良い課題であったと思う。Arduino を 2 台同期することも考えたが、シュミレータの処理速度の問題があるため、今回は 1 台で完結させた。KeyPad.h については今回そのまま使用したが、あまり良いライブラリではない気がするので、今後は自作したい。

## 参考文献

- [1] 碓水 小柳 梅田、実験テキスト「電子回路設計製作」、(2022 年) ,
- [2] Wikipedia、DTMF、<https://ja.wikipedia.org/wiki/DTMF>、(2022 年) ,