

1. 目的

音に反応する回路の作成を通じて、回路設計の考え方を学ぶと共に、様々な回路の利用法と特性について学ぶ。

2. 実験装置

コンデンサマイクロフォン、オペアンプ、シュミットトリガ回路、FET、コンデンサ、積層セラミックコンデンサ、H8 タイニーI/O ボード、IC トレーナ、オシロスコープ、デジタルマルチメータ

3. 実験方法・結果

3.1. 音を入力する回路

実験 1 コンデンサマイクロフォンの出力波形の計測

コンデンサマイクロフォンの出力波形を記録する。音を電気信号に変換するためにコンデンサマイクロフォンというセンサを用いた。設計した回路図を図 3.1.1、観測した波形 3 個をそれぞれ図 3.1.2~3.1.4 に、使用した部品表を表 3.1.1、測定した電圧の最大値、波形の継続時間を表 3.1.2 に示した。

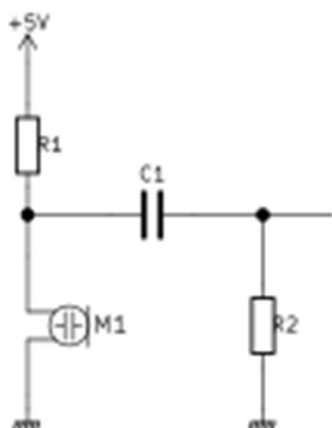


表 3.1.1 図 3.1.1 の回路の部品表

部品番号	部品名	規格
M1	コンデンサマイクロホン	
R1	抵抗	1k Ω
R2	抵抗	10k Ω
C1	コンデンサ	1 μ F

図 3.1.1 音を入力する回路の回路図

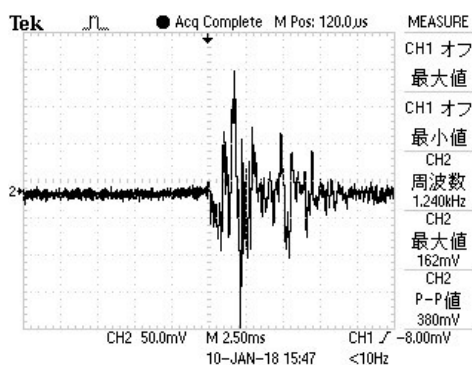


図 3.1.2 1 回目に観測した波形

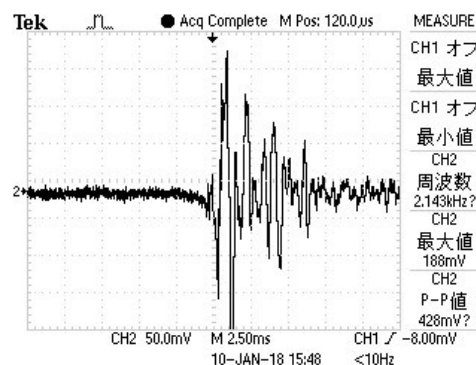


図 3.1.3 2 回目に観測した波形

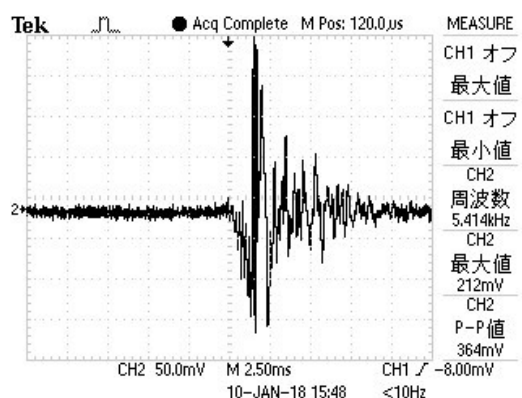


図 3.1.3 3 回目に観測した波形

表 3.1.2 実験 1 の測定結果

	1 回目	2 回目	3 回目
最大値	162mV	188mV	212mV
継続時間	8.25ms	10.0ms	9.75ms

3.2. 豆電球点灯回路

実験 2 豆電球点灯回路の設計

エンハンスメント型 N チャンネル FET(2SK2231)を使用した豆電球点灯回路を設計した。点灯時(a)と、消灯時(b)それぞれになり立つ式から R_d, R_p を求める。この時抵抗 R_d, R_p は消費される電力が最大定格を超えないように並列に接続する。設計した回路を図 3.2.1 に、実際に使用した回路を図 3.2.2 に部品表は表 3.2.1 に示す。

(a) 点灯時

$$V_{DD}=5V, V_L(on)=2.5V, V_{DS}=0.35V, I_L(on)=0.5A$$

$$R_d \times I_L + V_L + V_{DS} = V_{DD}$$

$$R_d = \frac{V_{DD} - V_L - V_{DS}}{I_L} = \frac{5 - 2.5 - 0.35}{0.5} = \frac{2.15}{0.5} = 4.3[\Omega]$$

(b) 消灯時

$$R_D \times I_L + V_L + R_p \times I_L = V_{DD}$$

$$R_p = \frac{V_{DD} - R_D \times I_L - V_L}{I_L} = \frac{5 - 4.3 \times 0.20 - 0.15}{0.2} = \frac{5 - 0.86 - 0.15}{0.2} = \frac{3.64}{0.2} = 19.55[\Omega]$$

以上(a),(b)より $R_d=4.3\Omega, R_p=19.55\Omega$

R_d にかかる電力 $W_d = R_d \cdot I_d^2 = 4.3 \cdot (0.5)^2 = 1.075 [\text{W}]$
 $W_d = 1.075 < 1/2 \cdot 3 [\text{W}]$ より R_d には $1/2$ 抵抗を 3 個並列にして使用する。
 並列にしたとき抵抗値は $1/3$ 倍になるので $4.3 \cdot 3 = 12.9 \Omega$ となる。実際に使う抵抗値は 15Ω とした。
 R_p にかかる電力 $W_p = R_p \cdot I_p^2 = 19.95 \cdot (0.5)^2 = 0.798 [\text{W}]$
 $W_p = 0.798 < 1/4 \cdot 4 [\text{W}]$ より R_d には $1/4$ 抵抗を 4 個並列にして使用する。
 並列にしたとき抵抗値は $1/4$ 倍になるので $19.95 \cdot 4 = 79.80 \Omega$ となる。実際に使う抵抗値は 47Ω とした

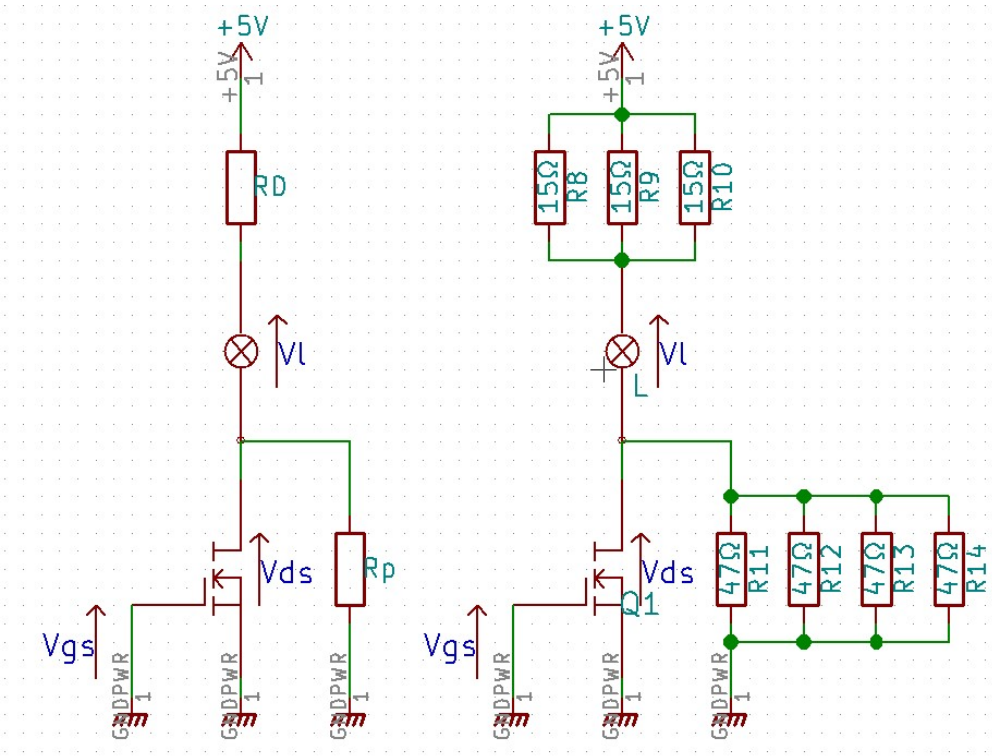


図 3.2.1 豆電球点灯回路 図 3.2.2 実際に使用した豆電球点灯回路

表 3.2.1 図 3.2.2 の部品表

部品番号	部品名	規格	型番
L1	豆電球		
Q1	FET		2SK2231
R8~10	抵抗	15Ω	
R11~14	抵抗	47Ω	

3.3. 実験3 増幅器の設計(1)

マイクロフォンの出力増幅し、その最大値が 5V 程度となるような非反転増幅回路を設計する。実験 1 の結果より出力電圧の最大値の平均は 200mV であったのでオペアンプでは 25 倍で増幅する。設計した回路図を図 3.3.1 に示す。

この時 $R4/R3+1=25$ が成り立つ。この式を解く。

$$R4/R3=24$$

$$R3:R4=1:24$$

よって $R3=1k\Omega$ $R4=24k\Omega$ を採用する。

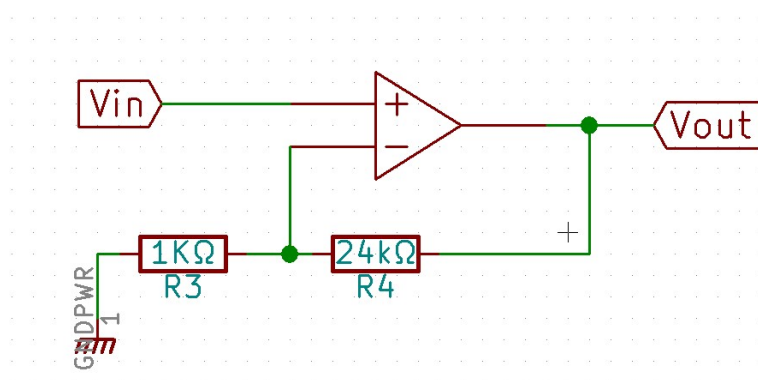


図 3.3.1 非反転増幅回路(1)の回路図

3.4. 実験4 増幅器の動作(1)

実験 1 で設計したマイクロフォンを用いた回路(図 3.3.1)と実験 3 で設計した非反転増幅回路(図 3.3.1)を接続して拍手を一回したときの(a)点,(b)点の波形で同期をとって記録した。設計した回路図を図 3.4.1、測定した波形を図 3.4.2、図 3.4.1 で使用した部品を表 3.4.1 に示した。

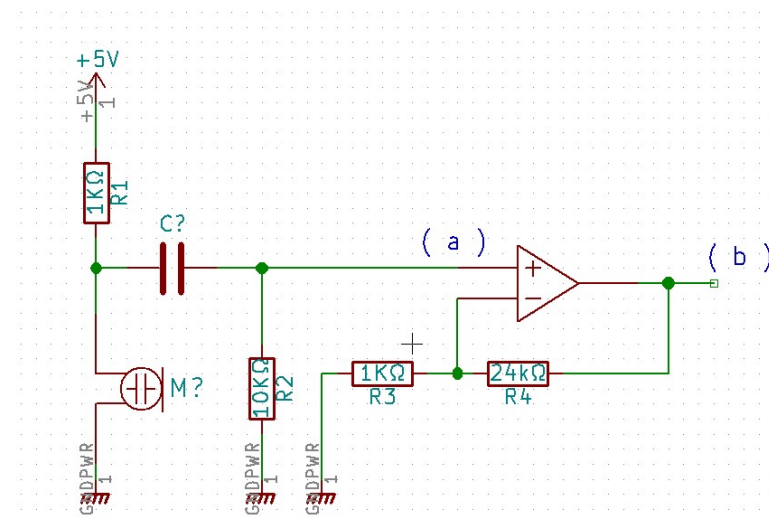


図 3.4.1 マイクロフォン出力の増幅回路

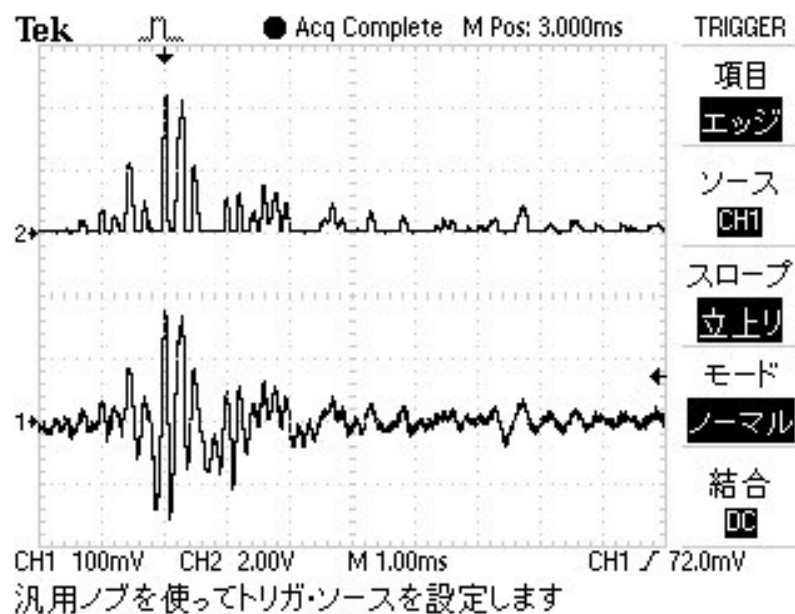


図 3.4.2 測定した波形

表 3.4.1 図 3.4.1 の回路の部品表

部品番号	部品名	規格	型番
M1	コンデンサマイクロホン		
IC1	オペアンプ		LMC660CN
R1	抵抗	1k Ω	
R2	抵抗	10k Ω	
R3	抵抗	1k Ω	
R4	抵抗	24k Ω	
C1	コンデンサ	1 μ F	

3.5. 波形の整形(1)

実験 1 で設計したマイクロフォンを用いた回路(図 3.3.1)と実験 3 で設計した非反転増幅回路(図 3.3.1)、および積分回路を接続した。積分回路で使用するコンデンサを $C2=0.022\mu\text{F}$ および $0.47\mu\text{F}$ の 2 通りとした場合のそれぞれについて拍手を一回したときの(a)点,(b)点の波形で同期をとって記録した。設計した回路図を図 3.5.1、測定した波形を $0.022\mu\text{F}$ の時と $0.47\mu\text{F}$ の時でそれぞれ図 3.5.2, 図 3.5.3、図 3.5.1 で使用した部品を表 3.5.1 に示した。

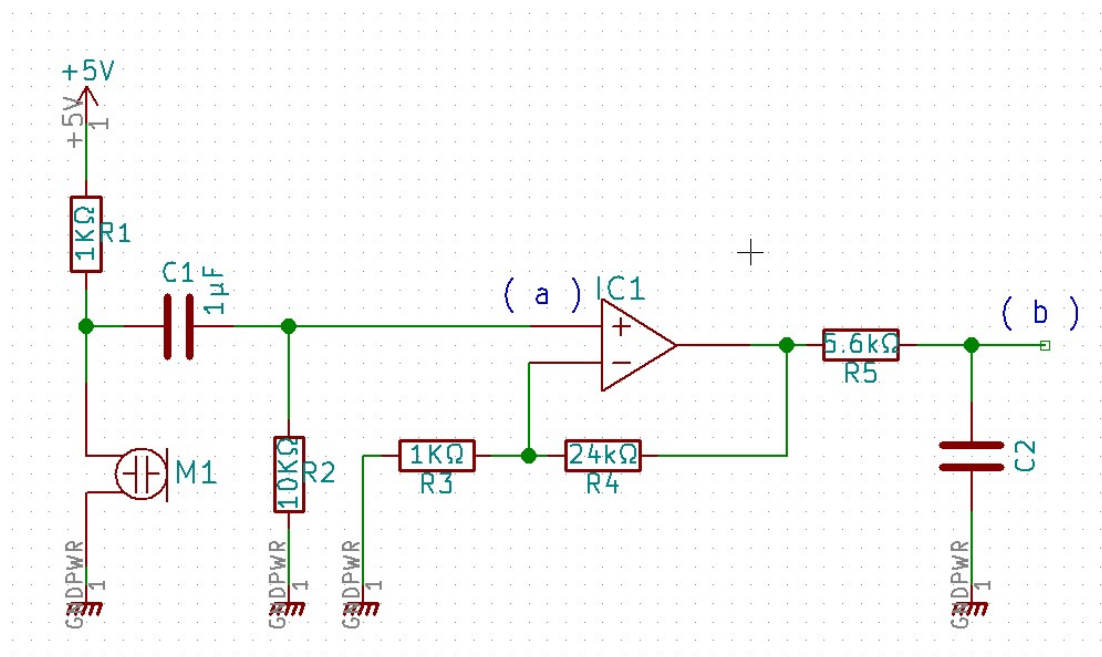


図 3.5.1 入力波形の整形回路 (1)

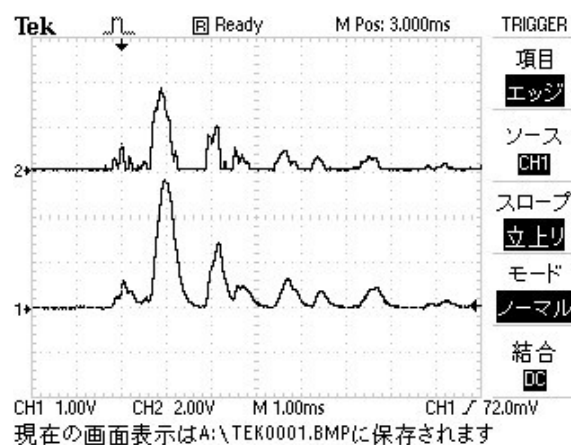


図 3.5.2 $C_2=0.022\mu\text{F}$ 時の波形

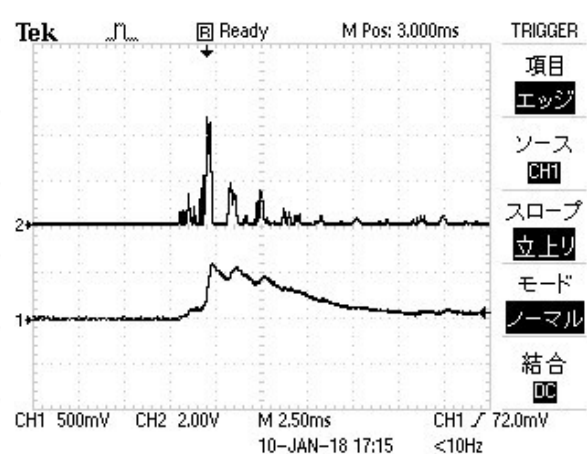


図 3.5.2 $C_2=0.47\mu\text{F}$ 時の波形

表 3.5.1 図 3.5.1 で使用した部品

部品番号	部品名	規格	型番
M1	コンデンサマイクロホン		
IC1	オペアンプ		LMC660CN
R1	抵抗	1k Ω	
R2	抵抗	10k Ω	
R3	抵抗	1k Ω	
R4	抵抗	24k Ω	
R5	抵抗	5.6k Ω	
C1	コンデンサ	1 μ F	
C2	コンデンサ	0.022 μ eF または 0.47 μ F	

3.6. 増幅器の設計(2)

図 3.5.1 の積分回路の出力を増幅し、その最大値が 5V 程度となるような非反転増幅器を設計する。設計した回路は図 3.6.1 に示す。図 3.5.2 において出力はおおよそ 550mV であったために増幅率は 9 倍とする。

この時 $R7/R6+1=9$ が成り立つ。この式を解く。

$$R7/R6=8$$

$$R6:R7=1:8$$

よって値に近い $R6=1k\Omega$ $R4=8.2k\Omega$ を採用する。

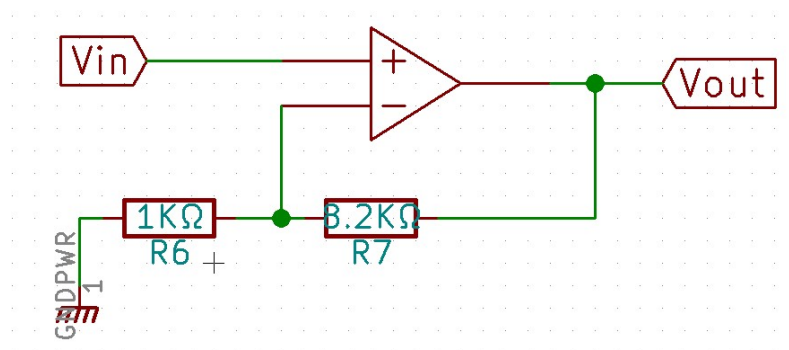


図 3.6.2 非反転増幅回路 2 の回路図

3.7. 波形の整形(2)

マイクروفोनを用いた回路(図 3.3.1)、非反転増幅回路 1(図 3.3.1)、積分回路(図 3.5.1)、非反転増幅回路 2(図 3.6.2)、およびシュミットトリガーインバータを用いた回路を接続する。この回路を図 3.7.1 に、この回路で使用した部品を表 3.7.1 に示す。この時、拍手を一回したときの波形を以下の二つの組み合わせで記録する。それぞれ図 3.7.2、図 3.7.3 に示す。

- ・ 非反転増幅器 2 の入力((a)点)と出力((b)点)
- ・ 非反転増幅器 2 の出力((b)点)と 2 段目のシュミットトリガーインバータの出力((c)点)

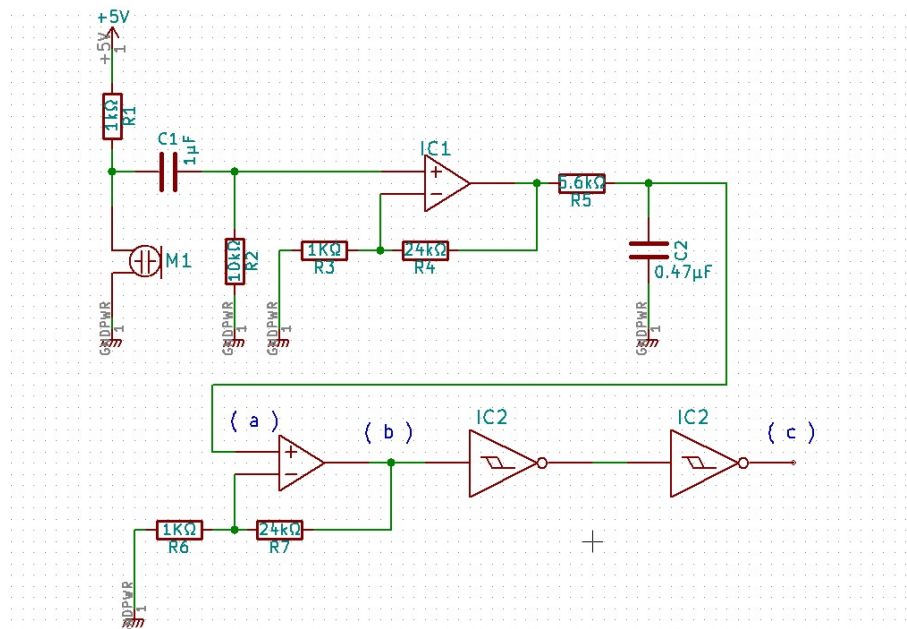


図 3.7.1 入力波形の整形回路(2)

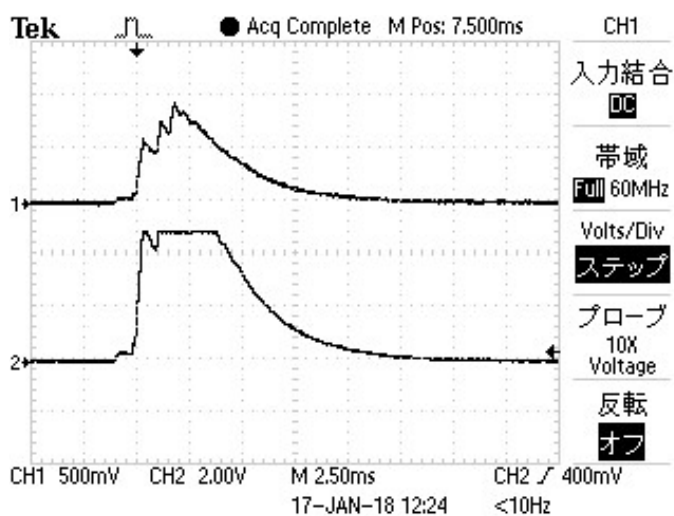


図 3.7.2 非反転増幅器 2 の入力((a)点)と出力((b)点)の波形図

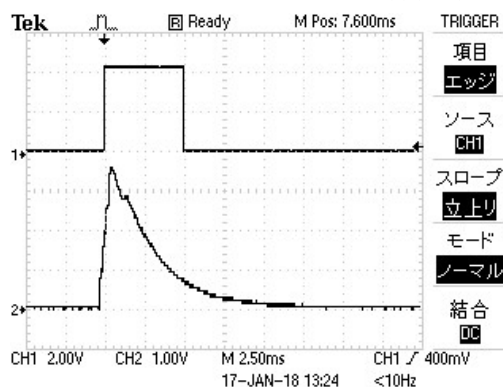


図 3.7.3 非反転増幅器 2 の出力((b)点)と 2 段目のシュミットトリガーインバータの出力((c)点)の波形図

表 3.7.1 図 3.7.1 回路の部品表

部品番号	部品名	規格	型番
M1	コンデンサマイクロホン		
IC1	オペアンプ		LMC660CN
IC2	シュミットトリガーインバータ		74LS14
R1	抵抗	1k Ω	
R2	抵抗	10k Ω	
R3	抵抗	1k Ω	
R4	抵抗	24k Ω	
R5	抵抗	5.6k Ω	
R6	抵抗	1k Ω	
R7	抵抗	8.2k Ω	
C1	コンデンサ	1 μ F	
C2	コンデンサ	0.47 μ F	

3.8. 音に反応する回路の作成

マイクロフォンを用いた回路(図 3.3.1)、非反転増幅回路 1(図 3.3.1)、積分回路(図 3.5.1)、非反転増幅回路 2(図 3.6.2)、およびシュミットトリガーインバータを用いた回路(図 3.7.1)、豆電球点灯回路(図 3.2.1)を接続した回路を設計した。この回路を図 3.8.1 に、この回路の部品表を表 3.8.1 に示す。

この時拍手の回数を 1 回、2 回、3 回とし、かつ正しく動作したときのそれぞれについてコンデンサマイクロフォンの出力を((a)点)と制御回路の出力((b)点)の波形を同期をとって記録する。観測した波形は 1 回、2 回、3 回でそれぞれ図 3.8.2、図 3.8.3、図 3.8.4 として記録する。

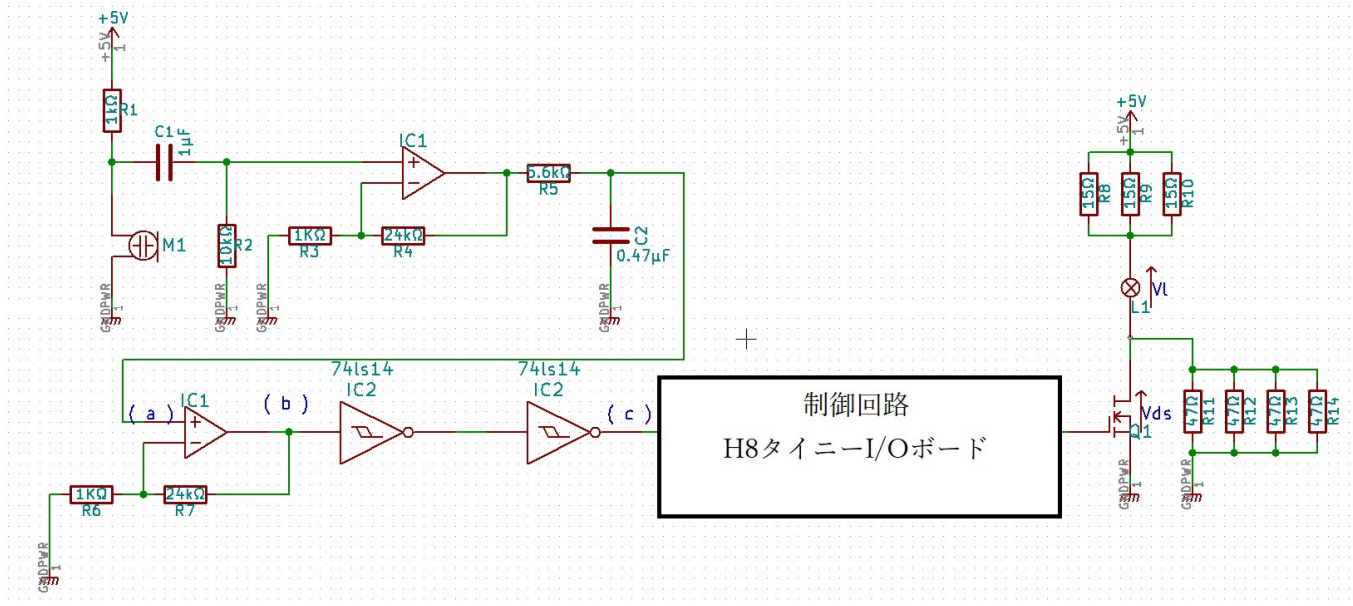


図 3.8.1 音に反応する回路

表 3.8.1 図 3.8.1 の部品表

部品番号	部品名	規格	型番
M1	コンデンサマイクロホン		
IC1	オペアンプ		LMC660CN
IC2	シュミットトリガーインバータ		74LS14
Q1	FET		2SK2331
L1	豆電球		
R1	抵抗	1k Ω	
R2~R4	抵抗	10k Ω	
R5~R7	抵抗	5.6k Ω	
R8~R10	抵抗	15k Ω	
R11~R14	抵抗	47k Ω	
C1	コンデンサ	1 μ F	
C2	コンデンサ	0.47 μ F	

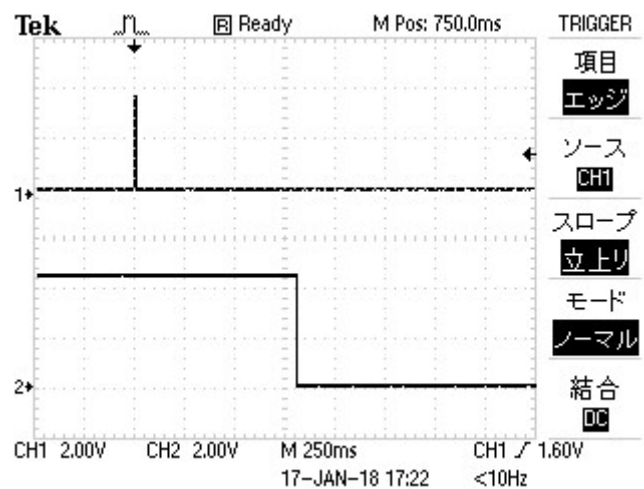


図 3.8.2 拍手の回数を 1 回としたときの((a)点)と制御回路の出力((b)点)の波形

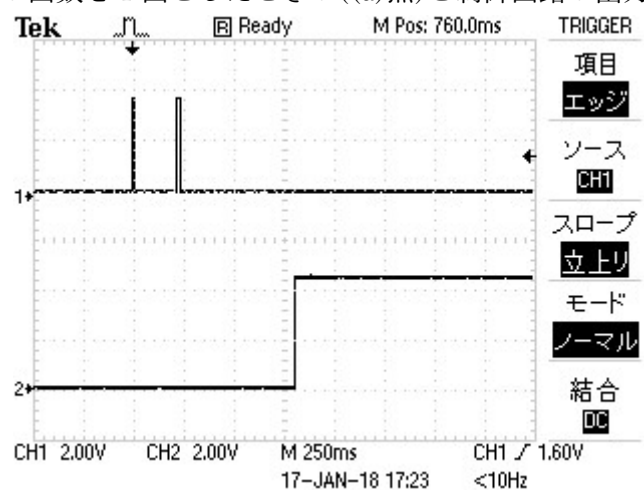


図 3.8.3 拍手の回数を 2 回としたときの((a)点)と制御回路の出力((b)点)の波形

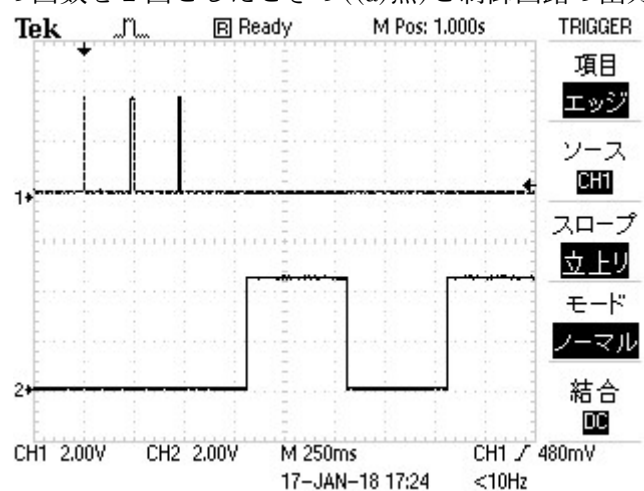


図 3.8.4 拍手の回数を 3 回としたときの((a)点)と制御回路の出力((b)点)の波形

4. 考察

- (1) 実験 8 において、積分回路の時定数を小さくすると、本実験の動作はどのようなになるか。

積分定数を変化させたときの出力の変化は図 3.5.2 と図 3.5.3 を比較することによってわかる。このとき積分定数が大きいほど波形が滑らかになっている。小さいほうは電圧の変動が大きく、シュミットトリガの閾値を複数回超えているので一回の拍手でパルス波を複数回出力してしまう。よって一回の拍手で複数回マイコンに信号が送られてしまい、正常に動作しないと考えられる。

- (2) 本実験で各自が作成した回路において、1 秒間で数えられる拍手の数の上限を実験結果に基づいて求めよ。人間が拍手する速さの限界は無視してよい。

一回の拍手でシュミットトリガからの出力はおよそ 5ms かかる。よって 1000ms/5ms より 200 回の拍手ができることになる。

- (3) シュミットトリガ回路の動作について、実験結果に基づいて述べる。

今回使用したシュミットトリガ回路 not ゲートなので閾値を超えたときに low を閾値より低いときは high を出力する。not ゲートを一つのみ使うと入力と出力の論理が反転するが、シュミットトリガ回路を二回使用することで入力と出力のレベルを同じにしている。

データシートより High レベル時の閾値は 1.25V、low レベルの閾値は 0.65V であることがわかる。

図 3.7.3 よりシュミットトリガ回路の出力電圧は high のとき約 4V、low の時約 0V であった。

以上のシュミットトリガの特性を用いることでアナログの音の波形をデジタルに変換してマイコンに渡すことができることがわかった、

5. 参考文献

74LS14

http://akizukidenshi.com/download/ds/Toshiba/TC74HC14AP_datasheet_ja_20140301.pdf