

# 電 気 電 子 情 報 工 学 実 験 I , II

実 験 題 目                      アナログ IC とその応用

担当教員名                      坪根 正

遠隔講義実施日              令和              2 年              5 月      2 1 日

提出者                      学籍番号                      20315784

氏              名                      佐藤凌雅

## 学生実験レポートチェックリスト

チェック項目	チェック欄
レポート提出期限を再確認しましたか。	○
ファイルの形式は PDF、サイズは 10 MB 未満となっていますか。	○
ファイル名は「学籍番号（半角）.pdf」となっていますか。 例）12345678.pdf	○
レポートには、当該テーマ担当教員から指示された必要事項が記載されていますか。	○
図と表にはそれぞれ通し番号が付されていますか。また、キャプションが英語で書かれていますか。	○
参考にした書籍、文献、WEB サイト等は参考文献リストにまとめられていますか。出典のない引用は不正行為にあたります。	○
「実験レポートの書き方」を熟読し、その主旨や注意事項に添って書かれていますか。	○

- \* レポートの提出期限は必ず守ってください。締め切り後の提出は受理されない場合があります。
- \* チェックリストは各自の確認のために使うものです。自分の作成したレポートに対して真摯な態度で記入してください。
- \* チェック項目が満足されていない場合にはレポートが受理されませんので注意してください。

## 1 概要 Abstract

## 2 目的 Purpose

与えられた設計仕様を満たす2次低域通過フィルタと弛張発振器の作成を第一の目標と定める．要求された仕様を満たすことのできる回路を設計するため，2次低域通過フィルタでは，Q値およびカットオフ周波数と回路素子間の関係を数式で表現する．弛張発振器においても発振周波数と回路素子間の関係を導出する．いずれの回路においても最適な抵抗，キャパシタの値を理論に従って導出することで回路の設計を行う．さらに，導き出したパラメータを元に実際に回路を作成し，動作試験を行う．実験にて得られたデータを分析して与えられた設計仕様を満足しているかを確認し，それを考察する．

## 3 理論的背景 Theory

### 3.1 2次低域通過フィルタの伝達関数

ここでは2次低域通過フィルタの伝達関数を導出する．2次低域通過フィルタの回路図をFig.1に示す．

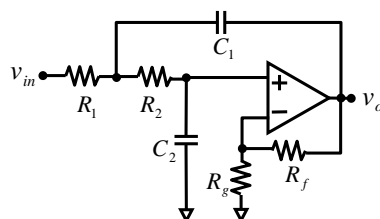


Fig.1 Second-order low-pass filter

この時，オペアンプと抵抗  $R_f$ ,  $R_g$  で構成されているFig.2に示すような回路を非反転増幅器という．この回路は伝達関数は線形領域においてEqn.(1)となる．すなわち，抵抗  $R_f$ ,  $R_g$  を調整することで，入力電圧を任意の定数 ( $K$ ) 倍する働きを持つと捉えることができる．

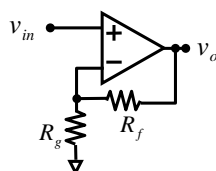


Fig.2 Non-inverting amplifier

$$\frac{v_o}{v_{in}} = 1 + \frac{R_f}{R_g} = K \quad (1)$$

これを踏まえて、 $v_{in} = R_1(i_1 + i_2) + v_1$ であることに留意し、2次低域通過フィルタの伝達関数を求めるとEqn.(2)のようになる。

$$\frac{v_o}{v_{in}} = \frac{K \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_2}}{s^2 + \frac{1}{\sqrt{C_1 C_2 R_1 R_2}} \left\{ \sqrt{\frac{C_2 R_2}{C_1 R_1}} + \sqrt{\frac{C_2 R_1}{C_1 R_2}} + \sqrt{\frac{C_1 R_1}{C_2 R_2}} (1 - K) \right\} s + \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_2}} \quad (2)$$

ここで、双二次低域通過関数  $T_{LP}$  (Eqn(3)) と係数比較を行う。

$$T_{LP}(s) = \frac{v_o}{v_{in}} = \frac{K \omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2} \quad (3)$$

係数比較を行うと以下を得られる。

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\frac{C_2 R_2}{C_1 R_1}} + \sqrt{\frac{C_2 R_1}{C_1 R_2}} + \sqrt{\frac{C_1 R_1}{C_2 R_2}} (1 - K)}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C_1 C_2 R_1 R_2}}$$

ところで、双二次低域通過関数  $T_{LP}$  (Eqn(3)) において、要求された設計仕様 ( $Q$ ,  $\omega_0$ ) を満たすフィルタを設計することを考える。調整できる素子は  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $R_f$ ,  $R_g$  の6種類であるが、 $Q$ ,  $\omega_0$  の2つを変えるだけなのにも関わらず、6つもの素子を調整するのは冗長である。ここで、 $R_1 = R_2 = R$ ,  $C_1 = C_2 = C$  とおき、調整する素子は  $R$ ,  $C$ ,  $R_f$ ,  $R_g$  の4種類とする。この時、 $Q$ ,  $\omega_0$  の値は  $R$ ,  $C$ ,  $R_f$ ,  $R_g$  を用いてEqn.(4), Eqn.(5)のように表すことができる。

$$Q = \frac{1}{3 - K} \quad \left( K = 1 + \frac{R_f}{R_g} \right) \quad (4)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} \quad (5)$$

ここで、今回の実験で作成するフィルタの振幅特性と位相特性の理論値のグラフをFig.3示す。

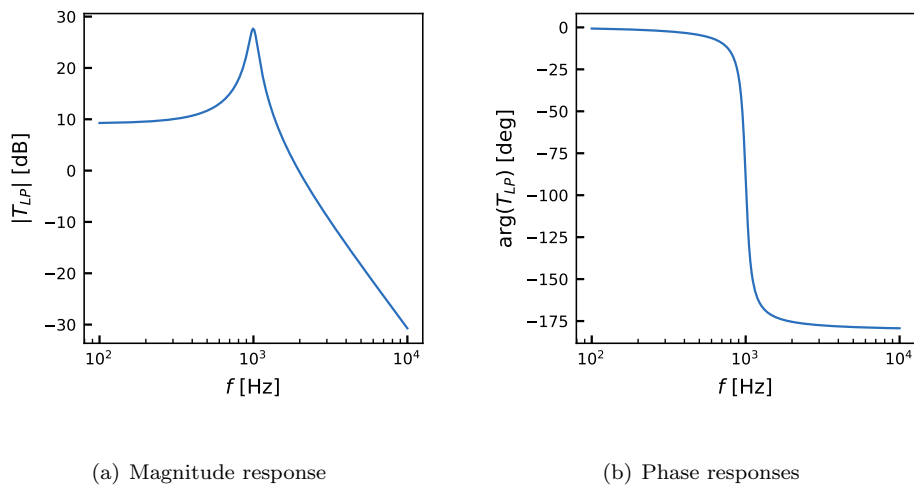


Fig.3 Graphs of theoretical values of magnitude and phase characteristics in LPF ( $Q=8.4$ ,  $f_0 = 1000[\text{Hz}]$ )

### 3.2 弛張発振器の発振周波数

Fig.4に弛張発振器の回路図を示す.

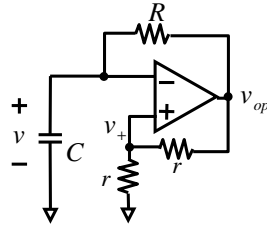


Fig.4 Relaxation Oscillator

この時、オペアンプと抵抗  $r$  で構成されている回路をはヒステリシス比較器という。Fig.5にヒステリシス比較器の回路を示す。

この回路は飽和領域で考える。  $v_d = v_+ - v_{in} > 0$  の時は、  $v_o = E_{sat}$  であるので、  $v_+ = \frac{E_{sat}}{2}$  である。ここで、  $v_{in} > \frac{E_{sat}}{2}$  となると  $v_d < 0$  となり、  $v_o$  は  $E_{sat}$  から  $-E_{sat}$  へと切り替わる。同様に  $v_d > 0$  の時は  $v_{in} < -\frac{E_{sat}}{2}$  となると  $v_o$  は  $-E_{sat}$  から  $E_{sat}$  へ切り替わる。

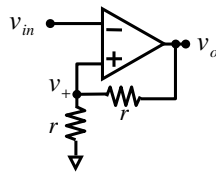


Fig.5 Hysteresis comparator

これを踏まえると、Fig.4の弛張発振器回路におけるキャパシタ電圧  $v$  の時間波形はFig.6のようになる。

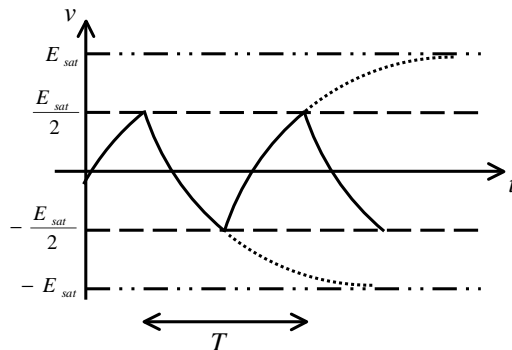


Fig.6 A time-domain waveform of the capacitor voltage

この時、 $-\frac{E_{sat}}{2}$  から  $\frac{E_{sat}}{2}$  へと変化する電圧は時間の関数としてEqn.(6)で表現される.

$$v(t) = (v(0) - E_{sat}) e^{-\frac{1}{RC}t} + E_{sat} \quad (6)$$

ここに境界条件  $v\left(\frac{T}{2}\right) = \frac{E_{sat}}{2}$  ,  $v(0) = -\frac{E_{sat}}{2}$  を代入すると、次の式が得られる.

$$f = \frac{1}{2RC \ln 3} \quad (7)$$

## 4 実験方法 Experiment

### 4.1 2次低域通過フィルタ

与えられた設計仕様は  $Q = 8.4$ ,  $f_0 = 1000\text{Hz}$  であった. 実験で使用する素子は, E24系列の抵抗と  $3.3\text{nF}$ ,  $4.7\text{nF}$ ,  $6.8\text{ nF}$ のコンデンサである. この中から,  $Q$  と  $f_0$  の誤差が最小となる素子の値をEqn.(4), Eqn.(5)もとに総当たりで調べるプログラムを作成した. その結果,  $R_g = 3.3\Omega$ ,  $R_f = 6.2\Omega$ ,  $R = 24\text{k}\Omega$ ,  $C = 6.8\text{nF}$ が最適であると判断した.

### 4.2 弛張発振器

与えられた設計仕様は  $f = 1000\text{Hz}$  であった. 実験で使用する素子は, E24系列の抵抗と  $47\text{nF}$ のコンデンサである. この中から2次LPFの時と同様に  $f$  の誤差が最小となる素子の値をプログラムにより, 総当たりで調べた. その結果, 最適な素子の値は  $R = 10\text{k}\Omega$ ,  $C = 47\text{nF}$  であると判断した.

## 5 結論 Conclusion

このレポートでは2次低域通過フィルタと弛張発振器について与えられた仕様に即した回路設計を理論に行った. 2学期の実験では今回算出した素子の値を元に実際に回路を作成し, 動作試験を行う.