

# 発振回路

## 1. 概要

本図書は、実験実習「発振回路」の講義ノートです。内容は、以下の通りです。

- 発信回路について
- 課題(レポート)

## 2. はじめに

入力信号を加えなくても、一定周波数の振動が持続する現象を発信と言います。入力信号は加えませんが、発信のためのエネルギーは加えます。電気振動回路には以下のようなものがあります。

自励振振動回路

外部からエネルギーを与えることにより発振する回路。一般的な発振回路です。

他励振振動回路

外部からの信号入力によりトリガーされて初めて振動をはじめる回路です。たとえば、単安定型マルチバイブレーター(ユニバイブレーター)などがあります。

パラメーター励振振動回路

## 3. 発信回路

### 3.1 フィードバック付き増幅器

はじめに、図1のようなフィードバック付きの増幅器を考えます。この増幅器の回路の電圧は、次の式で表すことができます。

$$\begin{cases} e_i = e_s + He_o \\ e_o = Ge_i \end{cases} \quad (1)$$

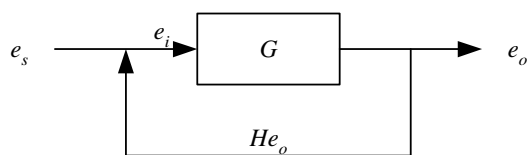


図1 フィードバック付き増幅器

式(1)を変形すると増幅器のゲインは、

$$\frac{e_o}{e_s} = \frac{G}{1 - GH} \quad (2)$$

となります。

この増幅器が発振する条件を考えます。発振とは、入力信号  $e_s$  が無くても、出力  $e_o$  がある

状態をいいます。ハウリングなどが典型的な例です<sup>1</sup>。再び式(1)に戻り、 $e_s=0$ 、 $e_o \neq 0$  とすると、次の式が得られます。

$$GH = 1 \quad (3)$$

この式を少し考察しましょう。入力信号は  $G$  倍され、さらに  $H$  倍されて再度入力信号となります。 $GH=1$  ということは、入力信号の大きさは一定、したがって出力信号  $e_o$  も一定ということです。もし、元の信号が  $\sin$  波であれば、発振回路ということになります。今までの議論から、

$GH < 1$	振動の振幅は、減衰
$GH = 1$	振動の振幅は、一定
$GH > 1$	振動の振幅は、増大

となることが分かります。

### 3.2 $GH$ が複素数の場合どうなるか?

$G$  や  $H$  は一般的には、複素数です。実数の場合、減衰と増幅しかありませんが、複素数になると位相の回転が伴います。もしも、図 1 の  $GH$  が複素数であるならば、位相が変化することになります。そうすると周波数の変動が発生します。

## 3. 発信回路

図のようなエミッタ接地の発振回路を考えます。この回路は、トランジスタによる増幅部と  $CR$  回路によるフィードバック部に分かれます。

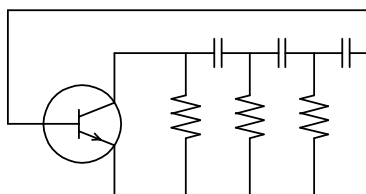


図 2  $CR$  発振回路

低周波の場合、トランジスタは位相の遅れがない理想的な増幅器として動作します。すなわち、ゲイン  $G$  が実数になります。エミッタ接地の場合、 $G$  は負の値になります。

一方、フィードバックの  $CR$  回路の方は、複素数です。この  $CR$  回路を考察します。まず、図 3 のような回路を考えます。

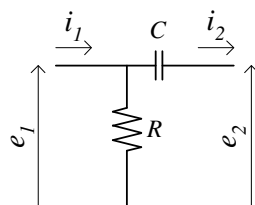


図 3 進相形

<sup>1</sup>Howing スピーカから出た音が再びマイクロホンに入り増幅機が発振状態になる現象。

図3の回路では、キルヒホッフの法則が成り立ちますので、

$$\begin{cases} -e_1 - \frac{j}{\omega C} i_2 + e_2 = 0 \\ i_1 = i_2 + \frac{1}{R} \left( e_2 - \frac{j}{\omega C} i_2 \right) \end{cases} \quad (4)$$

です。この式をもう少し、格好良く書くと、

$$\begin{pmatrix} e_1 \\ i_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -\frac{j}{\omega C} \\ \frac{1}{R} & 1 - \frac{j}{R\omega C} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_2 \\ i_2 \end{pmatrix} \quad (5)$$

となります。電流増幅なので、電流が重要になります。すると、

$$i_1 = \frac{e_2}{R} + \left( 1 - \frac{j}{R\omega C} \right) i_2 \quad (6)$$

です。ここで、左辺第一項が第2項に比べて十分小さい場合を考えます。すると、式(6)は

$$i_1 = \left( 1 - \frac{j}{R\omega C} \right) i_2 \quad (7)$$

とすることが出来ます。式(7)から、電流の比と位相を考えます。

$$\begin{cases} A_F = \frac{|i_2|}{|i_1|} = \sqrt{\left( \frac{i_2}{i_1} \right) \left( \frac{i_2}{i_1} \right)^*} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{1}{R\omega C} \right)^2}} \\ \theta = \tan \left[ \frac{\text{Im}(i_2/i_1)}{\text{Re}(i_2/i_1)} \right] = \frac{1}{R\omega C} \end{cases} \quad (8)$$

これより、最大の位相変化は $\pi/2$  [rad]ということが分かります。したがって、負の増幅率を持つ図2の回路の場合、発振のために位相を $\pi$ [rad]変化させる必要があり、3段必要であることが分かります。3段にすると、

$$\begin{pmatrix} e_1 \\ i_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -\frac{j}{\omega C} \\ \frac{1}{R} & 1 - \frac{j}{R\omega C} \end{pmatrix}^3 \begin{pmatrix} e_2 \\ i_2 \end{pmatrix} \quad (9)$$

となります。式が複雑なので、実験プリントに従い

$$X = \frac{1}{R\omega C} \quad (10)$$

とおきます。すると、式(9)は

$$\begin{pmatrix} e_1 \\ i_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-3jX - X^2 & jRX(-3+4jX + X^2) \\ -\frac{-3+4jX + X^2}{R} & 1-6jX - 5X^2 + jX^3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_2 \\ i_2 \end{pmatrix} \quad (11)$$

となります。この計算は面倒なので、数式処理ソフトウェア-Mathematica をつかいました。図2の回路の増幅器(トランジスター)の増幅率Gは負の実数なので、フィードバックのHも負の実数にする必要がある。その辺を考える。

増幅器の出力  $i_1$  とフィードバック量の  $i_2$  の関係は、

$$i_1 = -\frac{-3+4jX + X^2}{R} e_2 + (1-6jX - 5X^2 + jX^3) i_2 \quad (12)$$

となる。右辺第1項は、第2項に比べて十分小さいとする。このように回路を作る。そうして、フィードバックのHが実数となるためには、

$$-6X + X^3 = 0 \quad (13)$$

となる。この方程式の解のうち、意味のある解は、

$$X = \sqrt{6} \quad (14)$$

です。あとは、実験のプリントの通り。

#### 4. レポート作成について

実験が実施できませんが、以下の要領でレポートを提出してください。

- 提出期日は、後期の初回の実験実習の時間とします。
- ワープロ、手書きでもどちらでも OK とします。
- 他人のを写すことは、厳禁とします。ただし、内容を理解するために、相談して書くのは、OK です。
- 実験は行いませんが、レポートの形式は実験のレポートと同一とします。
- 当然、実験方法も記入すること。さらに、実験のプリントに記述されている考察についても、記述すること。

レポートの条件です。

- 以下の表に基づいて、レポートを作成すること。

実験 I (表 1)

	発振周波数[Hz]		ベース電圧	出力電圧	増幅度
	実測値	計算値	$e_i$ [V <sub>p-p</sub> ]	$e_o$ [V <sub>p-p</sub> ]	$A_f=e_o/e_i$
C=3300 [pF] R=10 [kΩ]	1360		0.1325	8.60	

実験 II, III (表 2)

	位相差θ [度]					
	R18		R19		TR02 のベース	
	a=0.82	b=0.72	a=0.18	b=0.15	a=有限	b=0
TB08 (出力波形)						

実験 IV (表 3)

入力電圧 $e_i$ [V]	出力電圧 $e_o$ [V]	増幅度 $A_f=e_o/e_i$
0.02	1.05	
0.04	2.00	
0.06	3.00	
0.08	3.90	
0.10	4.70	
0.12	5.40	
0.14	6.00	
0.16	6.60	
0.18	6.90	
0.20	7.20	
0.22	7.45	