

物理実験

T10 アナログ計算機の基礎と振動現象の解析

(物理実験指導書の概要)

担当者： 一刀 祐一

所属： 基礎教育センター

部屋： 10号館6階2608室

2020年度

内容

1. アナログ計算機
2. アナログ計算機の演算要素
3. 振動現象の解析: 微分方程式の解法
4. 課題

1. アナログ計算機

オペアンプ（増幅器）と抵抗、コンデンサーなどで構成された回路に基づいて、
連続的な量（アナログ量）に対して演算（加算や積分など）を行う計算機
(例： 電圧)



主な目的

微分方程式を解く

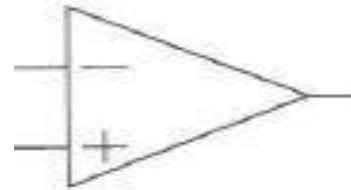
(例： 単振動の運動方程式 $\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega_0^2 x$)

オペアンプ

Operational Amplifier（オペレーショナル アンプリファイヤー）の略

－入力端子

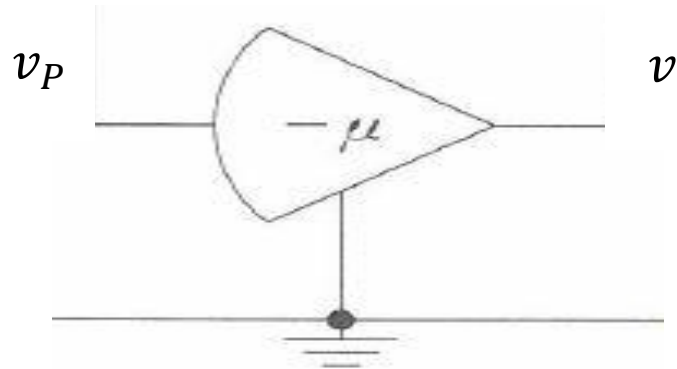
＋入力端子



出力端子

2つの入力端子の電圧の差を大きく増幅して出力端子に出力する増幅器

指導書の図 1, 2 におけるオペアンプ



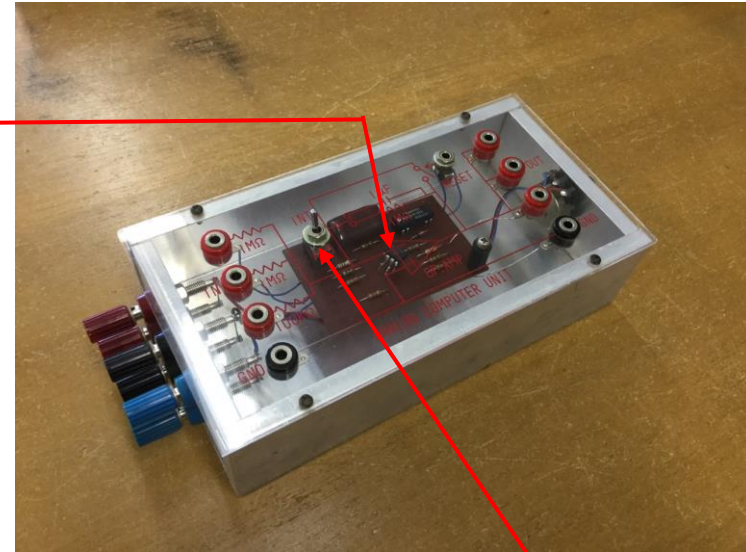
$$v = -\mu v_P$$

$-\mu$: **電圧増幅率** ($\mu \gg 1$)

v_P : 入力電圧

v : 出力電圧

アナログ計算機ユニット

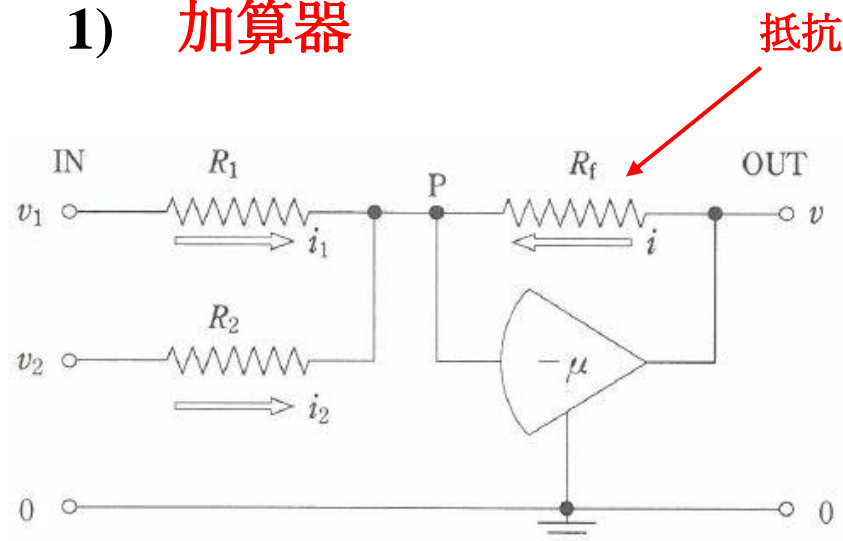


切り替えスイッチで演算を変える

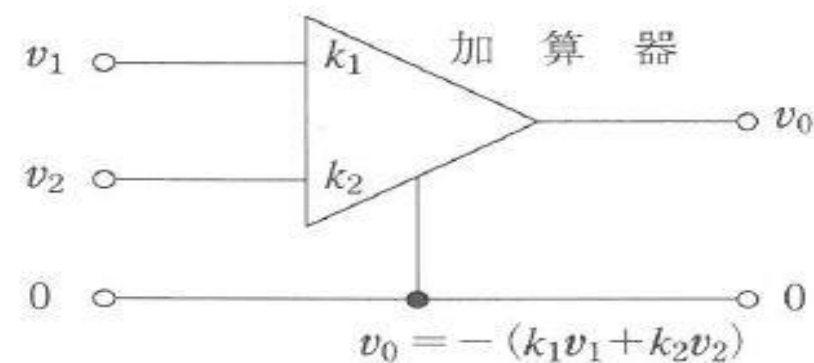
演算は抵抗 or コンデンサーの
組み合わせによって変わる

2. アナログ計算機の演算要素

1) 加算器



表示



v_1, v_2 : 入力電圧 R_1, R_2, R_f : 抵抗

v : 出力電圧

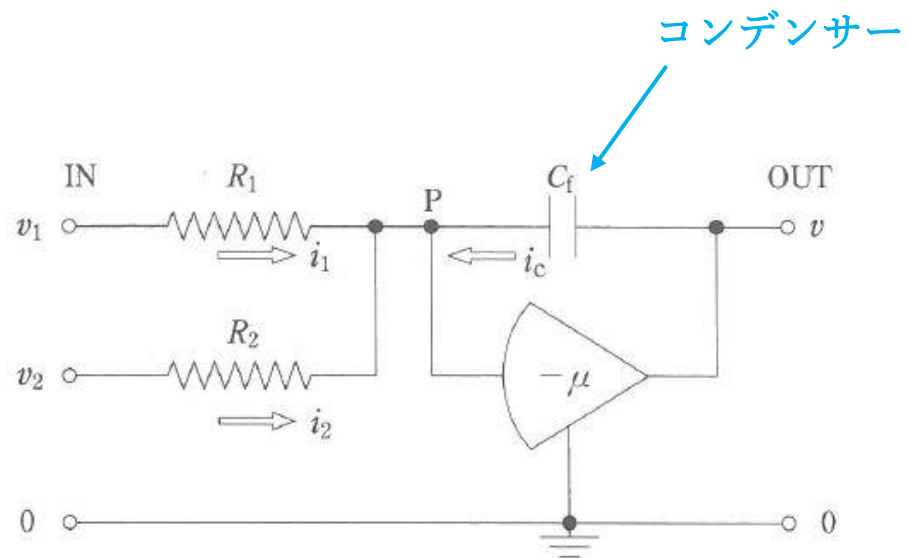
i_1, i_2, i : 電流

$$k_1 = \frac{R_f}{R_1}, \quad k_2 = \frac{R_f}{R_2}$$

v_0 : 出力電圧

加算している

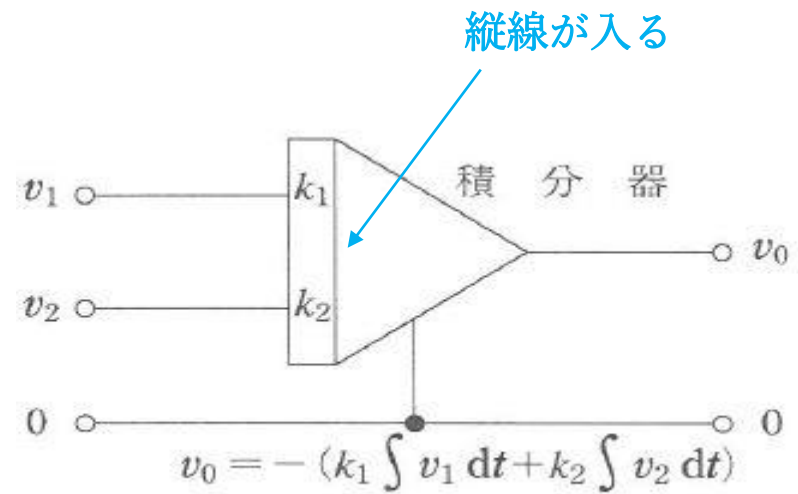
2) 積分器



C_f : コンデンサー

i_c : 電流

表示

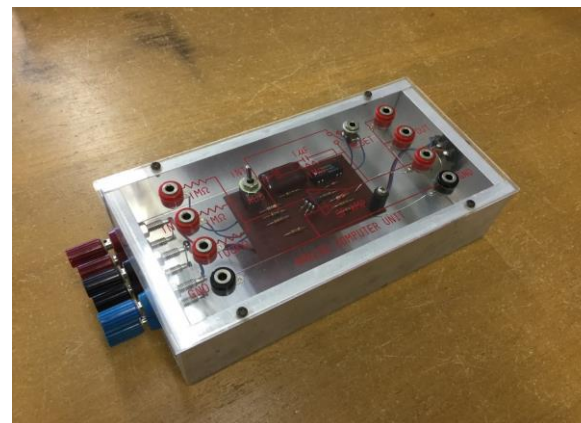


$$k_1 = \frac{1}{C_f R_1}, \quad k_2 = \frac{1}{C_f R_2}$$

積分している

データの記録

電源・演算制御ユニット



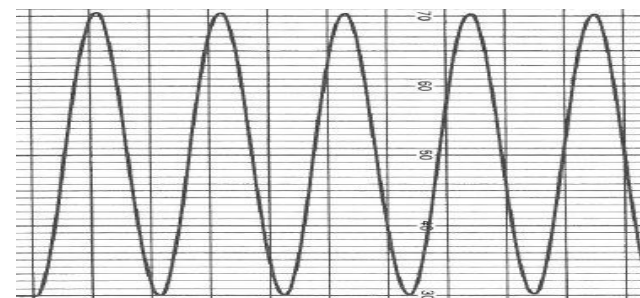
配線

本実験では 3 つ使用

ペンレコーダ



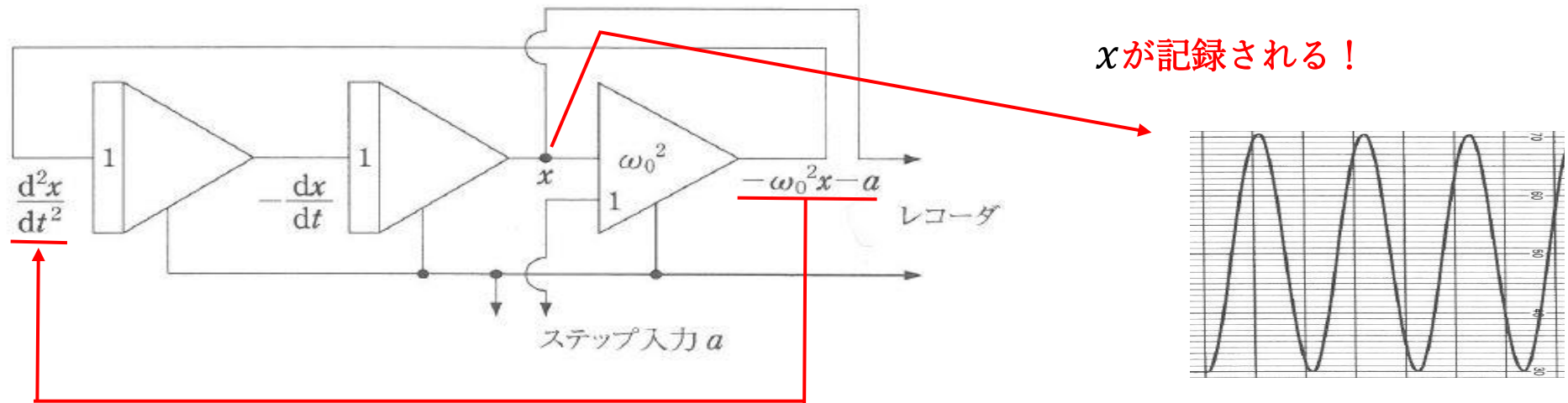
記録紙に
電圧を記録



単振動のケース

3. 振動現象の解析：微分方程式の解法

1) 単振動の運動方程式： $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x + a = 0$ ($\omega_0^2 = 1$, a : 定数)



出力と入力がイコールになる！

(初期条件 $t = 0 : x = 0, \frac{dx}{dt} = 0$)

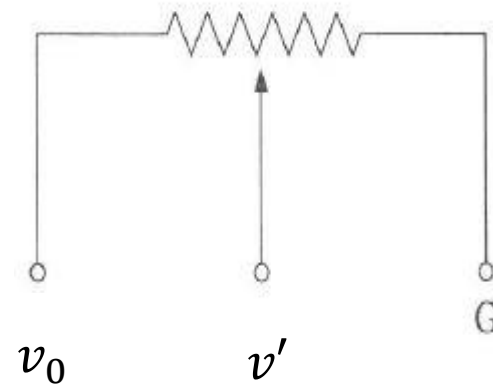
ポテンショメータ

加算器 or 積分器で係数（例: k_1 , ω_0^2 ）は1 or 10 であるが、
ポテンショメータにより、**係数を1以下にできる**

$$v' = kv_0$$

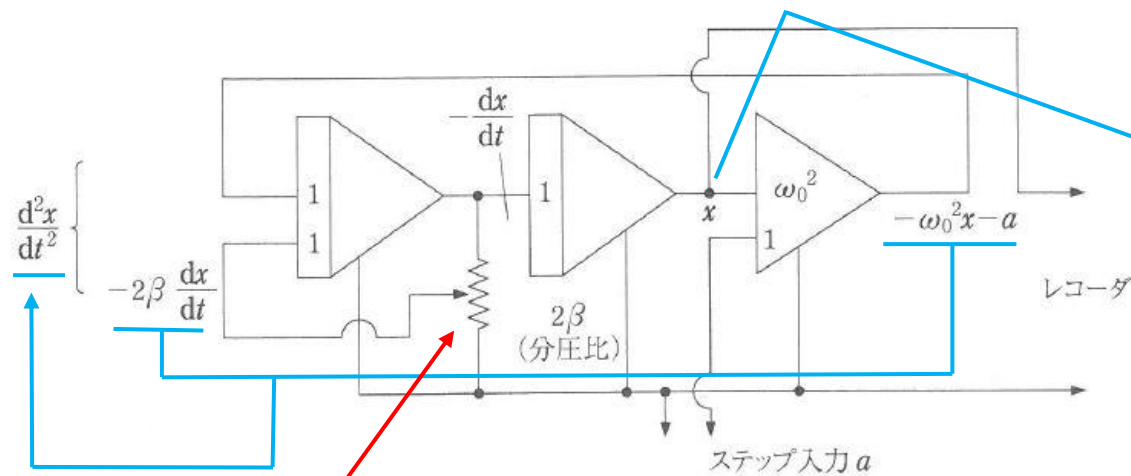
本実験では

分圧比: $k = 0.20$

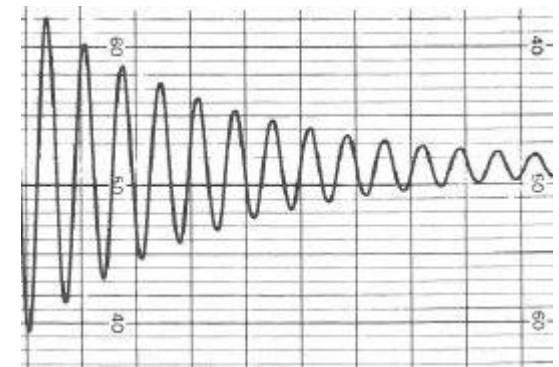


これを用いて

2) 減衰振動の運動方程式: $\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x + a = 0$ ($\omega_0^2 = 10, \beta = 0.10$)



x が記録される！



分圧器

分圧したもの + 出力 が
入力とイコールになる！



ポテンショメータで分圧: $k = 2\beta$ に対応する

4. 課題

(1) オペアンプおよび指導書 p. 80 の図 5 の回路の動作を説明せよ。

(回路については、指導書 p. 79 の図 4 の説明と同様でよい)

(2) 以下の実験データを用いて、次ページの✕を作成せよ。

減衰振動

実験データ

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x + a = 0 \quad : \quad \omega_0^2 = 10, \quad \beta = 0.10, \quad a = 0$$

10 周期分の記録紙の送り方向の移動距離 $l = 6.70\text{cm}$

10 周期分に対する x の極大値

x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
4.55 cm	3.75	3.10	2.55	2.10	1.70	1.40	1.10	0.95	0.75	0.60



1. 遠隔講義用提出用紙(次ページ参照)を用いて、赤枠内の箇所だけを書くこと。

指導書 p. 83 と p. 86 の「減衰振動」を参照して、同様に作成すること。

2. 指導書 p. 88 を参照して、「 $x_n - n$ 」のグラフ[†]も同様に作成せよ。

† 別冊の「物理実験ノート」の末尾にある片対数グラフ用紙を用いよ。

IV 減衰振動

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x + a = 0; \quad \omega_0^2 = 10, \beta = 0.10$$

周期 T

$$l =$$

$$T_E = \frac{3}{10} l =$$

$$T_T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} =$$

$$\frac{|T_E - T_T|}{T_T} \times 100 =$$

対数減衰率

x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6

$x_n - n$ グラフ (別紙添付)

実験直線上の2点の実距離 (cm 単位) での座標の読みとり値

$$(0, Y_0) = , (10, Y_{10}) =$$

実験直線の実距離による勾配

$$m = \frac{Y_{10} - Y_0}{10} =$$

対数減衰率

$$\eta_E = -\frac{\log_e 10}{(25/4)} \times m = (-0.3685) \times m =$$

$$\eta_T = \beta T_T =$$

$$\frac{|\eta_E - \eta_T|}{\eta_T} \times 100 =$$

T10 アナログ計算機の基礎と振動現象の解析

専攻

班番号

学籍番号

氏名

講義日

Moodleにて遠隔講義用提出用紙をダウンロードすること。