

第1章 オシロスコープ

1.1 概要

オシロスコープの動作原理を理解し、その基本的な使用法を修得する。練習として、
(a) 未知の装置（ボードコンピュータ）の出力信号を観察する
(b) そのボードコンピュータとオシロスコープを用いてリサージュ図形を描く
ことを行う。

1.2 オシロスコープの原理

オシロスコープはブラウン管を用いて、電気信号を目に見える形で観測、測定するように工夫した装置である。

1.2.1 ブラウン管の原理

ブラウン管は様々な電極を封入して真空に排気された1本の大きな真空管である。

- 電子銃：赤熱するまで温度を上げたカソード（陰極）Kから放出された熱電子が正の電圧 V をかけられたアノード（陽極）Aによって加速され、アノードAに開けられた穴から電子ビームとなり出ていく。
- 偏向装置：電子銃から来た電子に偏向電極Dで作られた電界 E を作用させ、その進行方向を曲げる。電極の幅は ℓ で電極の間にのみ一様な電界がかかっているものとする。
- 蛍光スクリーン：電子が当たった部分が光るように蛍光物質を塗ったスクリーン。

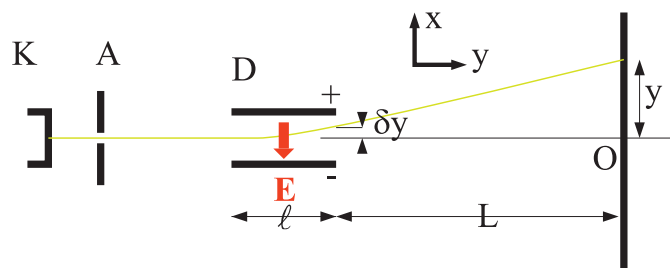


図 1.1: ブラウン管の原理 1

問題 I: ブラウン管の原理を理解するために以下の問題に解答せよ。

- I アノード-カソード間の電位差を V とする。アノードを出たときの電子の速さはいくらになるか？
- II 電子が偏向電極のなかを通過するのに要する時間はいくらか？
- III
 - 偏向電極にかかる電界 E によって電子は y 方向に力を受け、加速度運動を行う。この時の加速度はいくらか？
 - 電子が偏向電極を出るときの y 方向の速度成分はいくらか？
 - 電子が偏向電極を出るときの進行方向のずれはいくらか？
- IV
 - 偏向電極を出た電子は、等速運動をして距離 L だけ離れた蛍光面に到達する。偏向電極を出て蛍光面に到達するのに要する時間はいくらか？
 - 電子が蛍光面に達する位置は中心 O から y 方向にどれだけ離れたところか？

電子の質量を m 、電荷を $-e$ とし、図に示したように直交座標系 (x, y) をとる。

実験の時間になったら、グループ内で答え合わせを行うこと。もしも、答えが理解できないときはグループ内で議論するように。

1.2.2 リサーチ図形

オシロスコープに使われるブラウン管には、お互いに直交した 2 組の偏向電極が封入されている。一つは電子ビームの水平方向の向きを変えるもので、もう一方は垂直方向の向きを変える。図を参照。

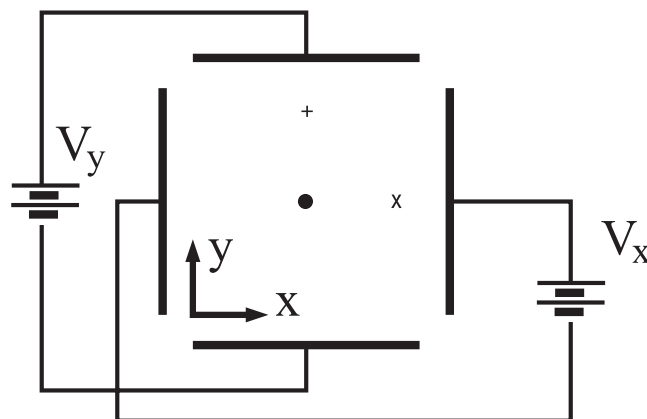


図 1.2: ブラウン管の原理 2

電子ビームによる蛍光面上の輝点の位置 (x, y) は 2 組の電極に与える電圧によって変化し、

$$(x, y) = (\alpha V_x, \beta V_y) \quad (1.1)$$

と表すことができる。ここで、 α 、 β は装置の設定に依存した比例定数である。例えば、 (V_x, V_y) が $(0, 0)$ のときはスクリーンの中央の点の位置が明るくなるし、 $(1, 0)$ や $(0, 1)$ のときはそれぞれ x や y の点の位置が明るくなる。

さて、 V_x 、 V_y に次のような時間的に振動する電圧を与える場合を考えよう。

$$V_x(t) = \sin(t) \quad (1.2)$$

$$V_y(t) = \cos(t) \quad (1.3)$$

ここで、 ω はこの振動の角振動数である。この時の蛍光面上の輝点の位置は

$$x(t) = \alpha V_x(t) = \alpha \sin(t) \quad (1.4)$$

$$y(t) = \beta V_y(t) = \beta \cos(t) \quad (1.5)$$

となる。上の式は曲線のパラメータ表示に他ならない。 t を次のように消去することによって、

$$\left(\frac{x(t)}{\alpha}\right)^2 + \left(\frac{y(t)}{\beta}\right)^2 = \sin^2(t) + \cos^2(t) = 1 \quad (1.6)$$

軌跡の方程式が得られ、楕円（特に、 $\alpha = \beta$ の場合は円）になることがわかる。

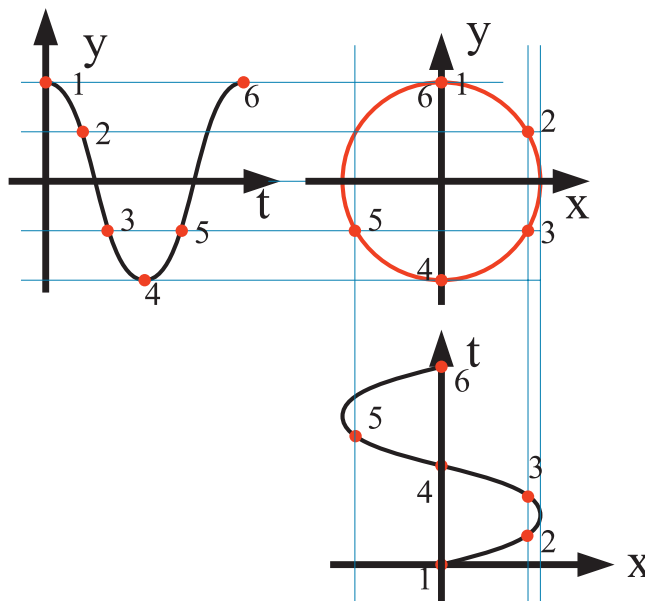


図 1.3: リサージュ図形の例

問題 II : 次の 2 つの場合についてどのような輝点の軌跡が得られるか検討せよ。

I $V_x(t) = \sin(t)$ 、 $V_y(t) = \sin(t)$

II $V_x(t) = \cos(t)$ 、 $V_y(t) = \cos(2t)$

1.2.3 時間変動する信号の観測

リサージュ図形を描く場合と違って、

$$V_x(t) = t - \pi \tag{1.7}$$

$$V_y(t) = \cos(t) \tag{1.8}$$

となる電圧を偏向電極に与えることとする。リサージュ図形の場合と同様に考えると、蛍光面に \cos 関数が描かれるのがわかるであろう。これは $V_x(t)$ に時間に比例して変化する電圧を与えることによって、 $V_y(t)$ の関数の時間軸を (x, y) 面上の空間軸 (x 軸) に変換したと考えることができる。このようにして、オシロスコープを使えば時間的に変動する信号を画面に表示することができる。

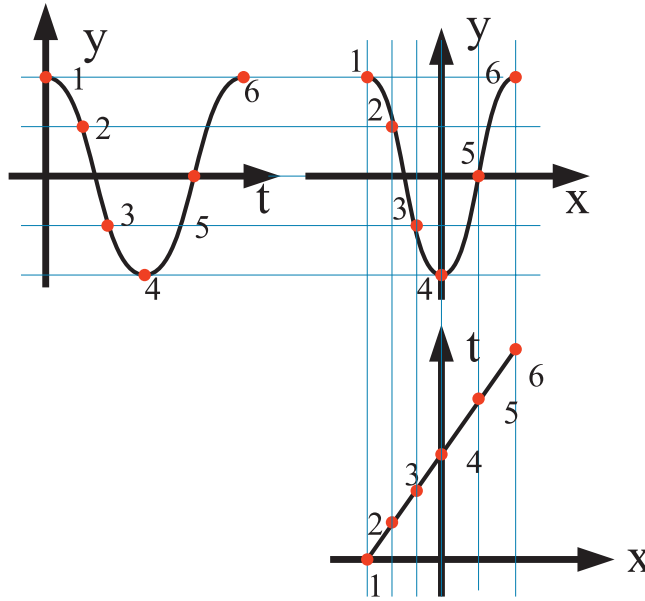


図 1.4: オシロスコープの原理

このように、 $V_x(t)$ によって輝点を左から右へ動かすことをスイープするという。

1.2.4 トリガー

前節により、時間変動する信号を画面に描くことができることが分かった。しかしながら、スイープをいつ始めればいだろうか？ 次の図に示されているように、スイープの始まるタイミングによって異なった図が描かれることになる。また、実際のオシロスコープでは、1秒間に何度もスイープされるので様々な図が画面に表示されているように見えたり、図が流れるように見えることがある。

この問題を解決するためにトリガーという考えが導入された。 $V_y(t)$ がある値 (例えば、最大値) になった瞬間に、スイープを始めることにすると、いつも同じ図が描かれることになる。実際のオシロスコープの画面では、同じ図が何度も表示されることになるので、その図は静止しているように見える。スイープは始める瞬間を制御することをトリガー (拳銃の引き金) をかけるという。

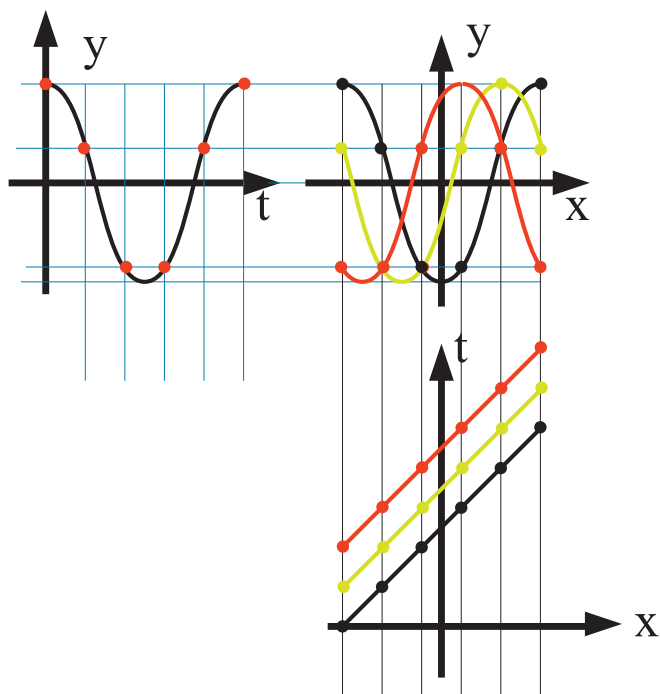


図 1.5: トリガーの原理

1.3 実験

教官による「電子線の電界による偏向」のデモンストレーションの後、実際のオシロスコープを操作する。基本的なオシロスコープの動作原理を念頭において、オシロスコープのマニュアルを読みながら、未知の信号を調べる。教科書も参考にすること。

1.3.1 電子線の電界による偏向

先の問題で考えたように電子線は電界によって曲げられる（偏向する）。この様子をデモンストレーションする装置があるので、教官が実演する。

1.3.2 時間変動する信号の観測

小さなボードコンピュータが用意されている。このボードから、どのような信号が装置から出力されているか調べよ。また、このボードについているスイッチと出力される信号の関係を調べよ。

1.3.3 リサージュ図形

このボードコンピュータの出力を利用してリサージュ図形をオシロスコープの画面上に描け。オシロスコープの設定はどうすればよいか？また、ボードについているスイッチを変えるとどのような図

形が得られるか？

1.4 問題

2つの発信器がある。そのうち1台の周波数目盛りがなくなっている。リサーチ図形をオシロスコープで描く方法を応用して新たに周波数目盛りを作成する方法を考えよ。ただし、目盛りのある発信器の最大発信周波数は100 Hzであるが、目盛りのない方の発信器の最大発信周波数は500 Hz程度であることが分かっている。