

# オシロスコープ

1st. 2005/04/10

Lst. 2023/07/25

# オシロスコープ

## オシロスコープ

アナログオシロスコープ  
(CRT Oscilloscope, CRO)

デジタルオシロスコープ  
(Digital Storage Oscilloscope, DSO, Digitizing Oscilloscope)

リアルタイムサンプリング  
(Real Time Sampling, Single Shot)

等価時間サンプリング  
(Equivalent Time Sampling, Repetitive Sampling)

シーケンシャルサンプリング  
(Sequential Sampling)

ランダム繰り返しサンプリング  
(Random Repetitive Sampling)

サンプリング  
オシロスコープ

低周波数

500 MHz

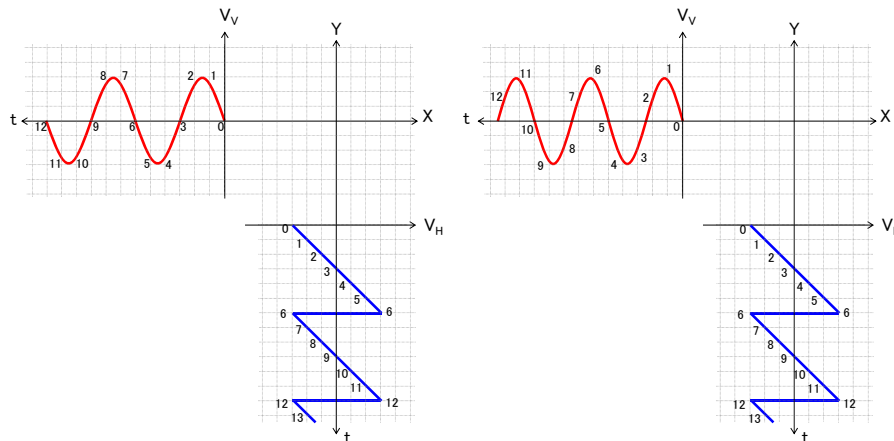
10 GHz

100 GHz

高周波数

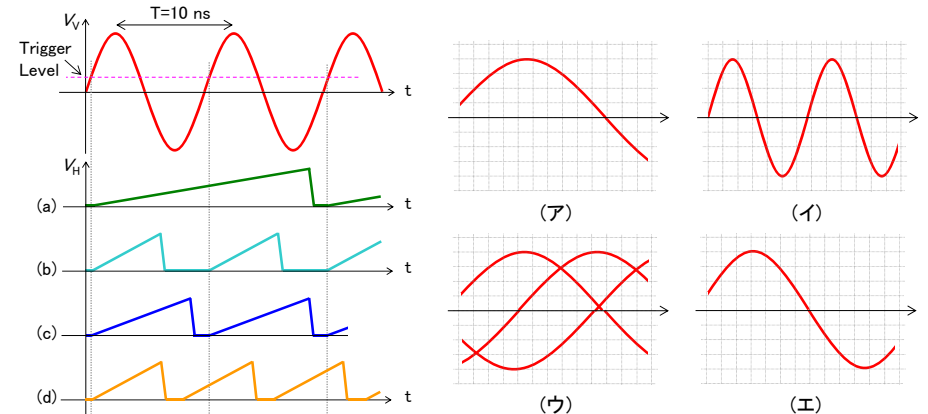
# ブラウン管オシロスコープ1

【演習】CROの水平電極と垂直電極に図のような電圧波形  $V_H$ 、 $V_V$  が加えられている。CRTに描かれる軌跡を作図せよ。

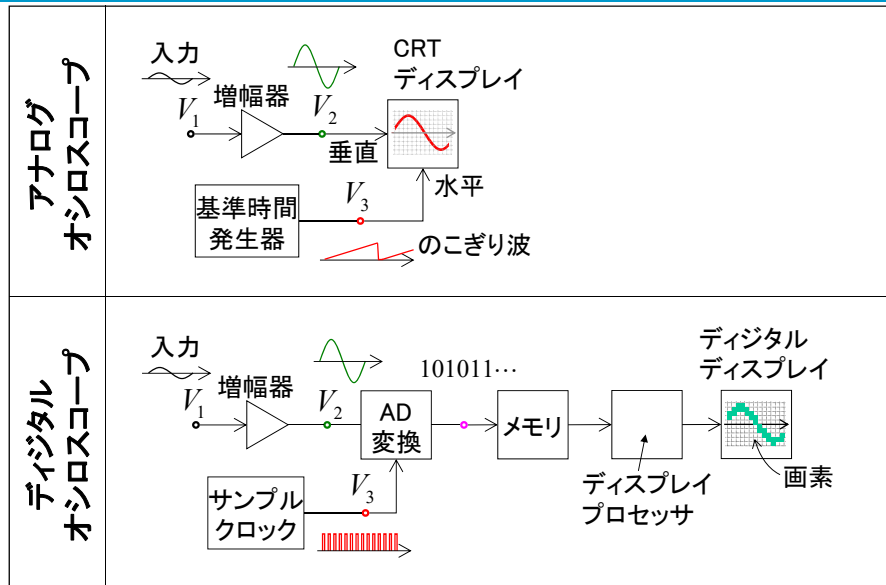


# ブラウン管オシロスコープ2

【演習】CROの水平電極と垂直電極に図のような電圧波形  $V_H$ 、 $V_V$  が加えられている。CRTに描かれる軌跡を作図せよ。

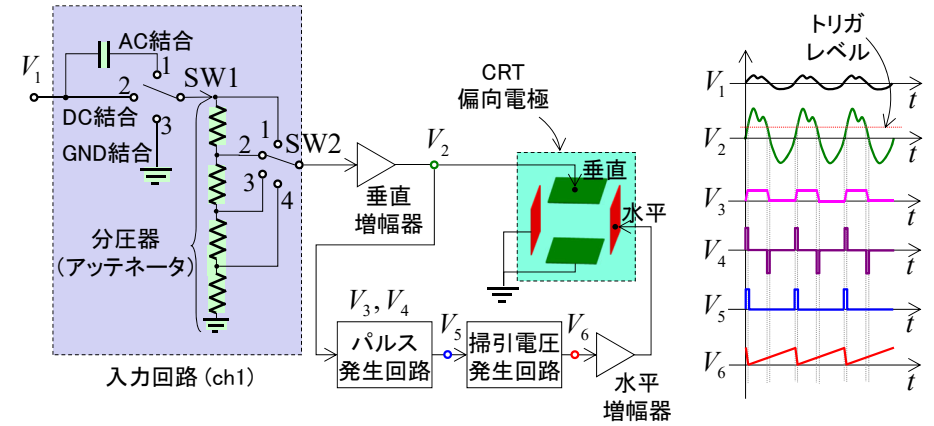


# オシロスコープ

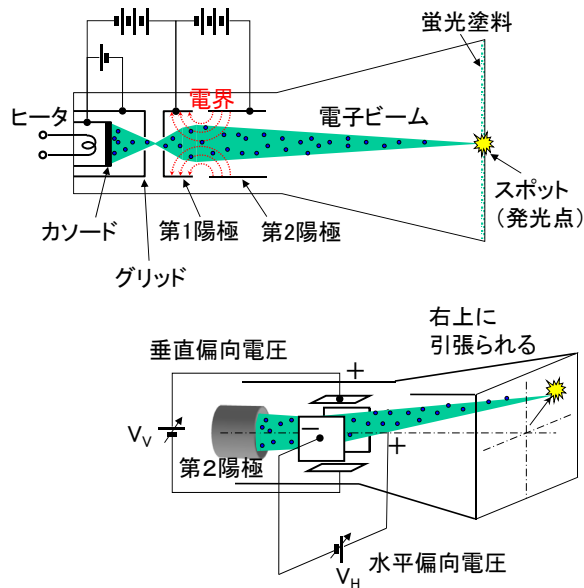


R. A. Witte, Electronic Test Instruments, 2nd Ed., pp. 105-156, Prentice Hall, 2002.

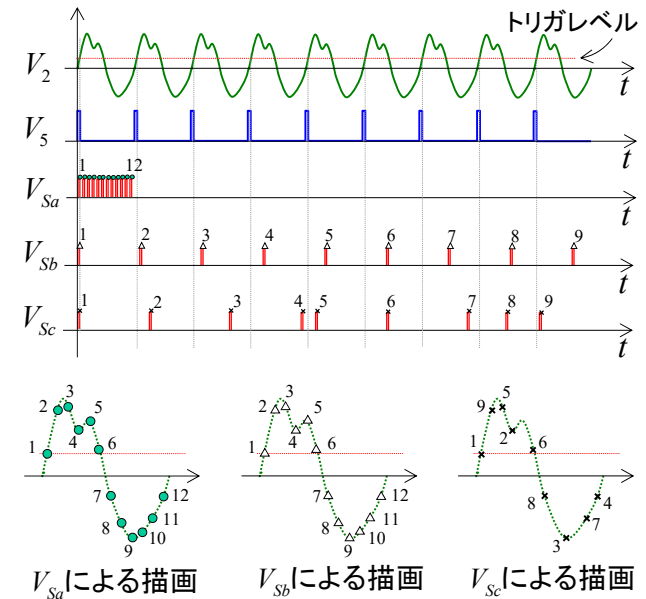
# アナログオシロスコープの構成



# ブラウン管オシロスコープ



# サンプリング方法の違い



# デジタルオシロスコープ

【演習】 デジタルオシロについて次の問いに答えよ。

- 帯域幅 100 MHz の信号を正確に再現する場合、サンプリング理論に従って必要最小サンプリングレートを求めよ。
- サンプルレート 20 MSa/s のデジタルオシロがある。シーケンシャルサンプリング方式の時間分解能が  $\Delta t = 100 \text{ ps}$  のとき、等価サンプルレートを求めよ。
- サンプルレート 1 GSa/s のリアルタイムオシロがある。波形再生フィルタの性能が  $BW = fs/4$  のとき、測定可能な帯域幅を求めよ。
- サンプリング周期  $T_s = 10 \text{ ns}$  のリアルタイムオシロで、ディスプレイ横軸の時間幅を 10 ms に設定したとき、必要なメモリ長はどれだけか。

$$f_s = 2f_{BW} \text{ より}$$

$$f_s > 200 \text{ MSa/s}$$

$$BW = \frac{1}{4} f_s = 0.25 \times 10^9 = 250 \text{ MHz}$$

$$T_s = \Delta t = 100 \text{ ps}$$

$$\text{Memory} = \frac{t}{T_s} = \frac{10 \text{ ms}}{10 \text{ ns}}$$

$$f_s = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{100 \times 10^{-12}}$$

$$= \frac{10 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-9}} = 10^6 = 1 \text{ Mpoints}$$

$$= 10 \times 10^9 \text{ Sa/s} = 10 \text{ MSa/s}$$

# オシロスコープ入力インピーダンス

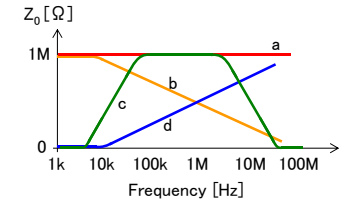
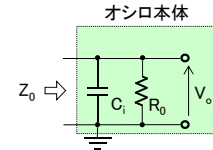
【演習】 図はオシロスコープの入力端子から見込んだインピーダンスを簡易モデル化したものである。(1) 入力インピーダンスの大きさ  $|Z_0|$  を定式化せよ。(2) 機種によって異なるが、通常の入力インピーダンスは  $R_0 = 1 \text{ M}\Omega$  と  $C_i = 20 \text{ pF}$  の並列で表現することができる。入力インピーダンス  $Z_0$  の周波数特性として正しいのは a-d のうちどれか。(3) 内部抵抗  $50 \Omega$ 、振幅  $1 \text{ V}$  の交流電源を  $50 \Omega$  の並列抵抗を介してオシロに接続した。  $f = 10 \text{ kHz}$ 、 $1 \text{ MHz}$ 、 $100 \text{ MHz}$  のとき、ディスプレイに表示される振幅  $V_0$  はいくらか。

$$Z_0 = R_0 // \frac{1}{j\omega C_i} = \frac{R_0}{1 + j\omega C_i R_0}$$

$$|Z_0| = \frac{R_0}{\sqrt{1 + (\omega C_i R_0)^2}}$$

直流では、 $C_i$  の開放により、抵抗  $R$  のみ  
高周波では、 $C_i$  の短絡によりインピーダンスが下がる。

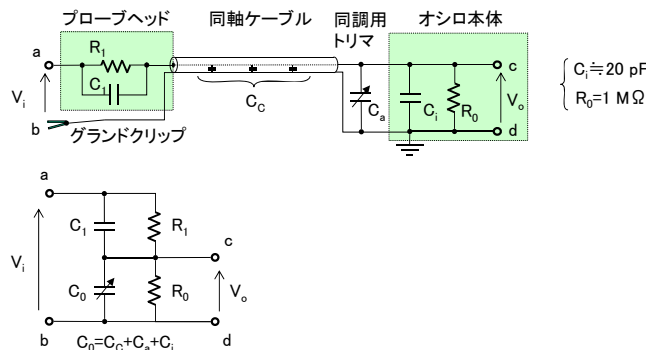
低周波では、入力  $V$  が等分されて  $0.5 \text{ V}$  が出力されるが、  
高周波では、 $C_i$  の短絡によって出力電圧が落ちる。



# オシロスコープのプロブ

【演習】 図は減衰プロブをオシロスコープに接続した場合の回路構造を示している。(1) 等価回路を描いて、入力に対する出力電圧の比  $V_0/V_i$  が周波数に依らず一定となる条件を導出せよ。(2) オシロ本体の入力インピーダンスが  $C_i = 20 \text{ pF}$ 、 $R_0 = 1 \text{ M}\Omega$ 、同軸ケーブルの静電容量が  $C_c = 30 \text{ pF}$ 、プロブヘッドの抵抗とコンデンサが  $R_1 = 9 \text{ M}\Omega$ 、 $C_1 = 12 \text{ pF}$  であるとき、同調用トリマコンデンサ  $C_0$  の値を決定せよ。(3) (2) の条件で、入力端子 ab から見込んだインピーダンスを求めよ。(4) (2) の条件で、直流電圧  $500 \text{ V}$  を ab 端子に入力したとき、ディスプレイに表示される電圧はいくらか。

【解答】



# オシロスコープのプロブ

(1) 入力と出力の電圧比

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{Z_0}{Z_1 + Z_0} = \frac{\left( \frac{R_0}{1 + j\omega C_0 R_0} \right)}{\left( \frac{R_1}{1 + j\omega C_1 R_1} \right) + \left( \frac{R_0}{1 + j\omega C_0 R_0} \right)}$$

$$= \frac{R_0}{R_0 + \frac{1 + j\omega C_0 R_0}{1 + j\omega C_1 R_1} R_0}$$

ここで、 $C_0 R_0 = C_1 R_1$  のとき

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{R_0}{R_0 + R_1} \quad (\omega \text{ に無関係})$$

$$(2) C_0 = \frac{C_1 R_1}{R_0}$$

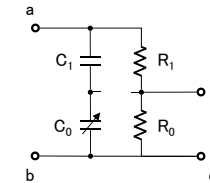
$$C_c + C_0 + C_1 = \frac{C_1 R_1}{R_0}$$

$$\therefore C_0 = \frac{C_1 R_1}{R_0} - C_c - C_1$$

に  $C_1 = 12 \text{ pF}$ 、 $C_c = 20 \text{ pF}$ 、 $C_0 = 30 \text{ pF}$ 、 $R_0 = 1 \text{ M}\Omega$ 、 $R_1 = 9 \text{ M}\Omega$  を代入して、

$$= \frac{12 \times 10^{-12} \times 9 \times 10^6}{1 \times 10^9} - 20 \times 10^{-12} - 30 \times 10^{-12}$$

$$= 58 \text{ pF}$$



(3)  $C_1 R_1 = C_0 R_0$

先の条件はブリッジの平衡条件になっているので、  
図のように中央の導線には電流が流れない。

$$Z_{in} = \left( \frac{R_0 + R_1}{R_{in}} \right) // \left( \frac{C_0 C_1}{C_0 + C_1} \right)$$

$\therefore 10 \text{ M}\Omega$  と  $10.8 \text{ pF}$  の並列

(4) 入力と出力の電圧比

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{R_0}{R_0 + R_1} \text{ より}$$

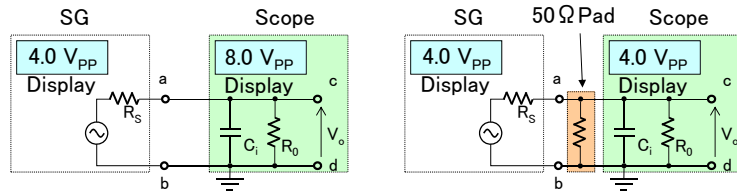
$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{1 \text{ M}}{1 \text{ M} + 9 \text{ M}} = 0.1$$

$$\therefore V_0 = 0.1 \times 500 = 50 \text{ V}$$

# CROプローブ

13

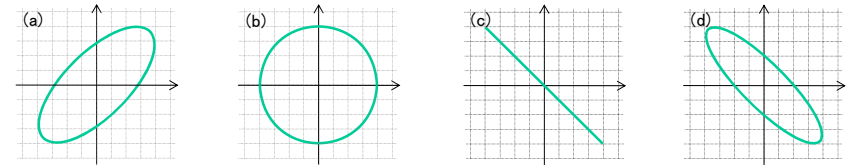
【演習】SGディスプレイに表示される振幅絶対レベルは、SGの内部抵抗 $R_s$ と負荷抵抗 $R_o$ の整合が取れたときの値を示している。SGとオシロスコープ間に50  $\Omega$  終端器をシャント接続しないときと接続したときとでオシロスコープ表示振幅が異なって表示される理由を説明せよ。



# リサージュ図による位相差測定

14

【演習】図はCRTオシロの水平電極と垂直電極に、周波数は等しいが位相差がある電圧波形を入力したときに描かれる軌跡を示している。水平電極と垂直電極に加えられる電圧の位相差を求めよ。



(a)  $\varphi = \sin^{-1}\left(\frac{3}{4}\right) = 48.59^\circ$  (c) 左に傾斜しているので  
 $\varphi = 180^\circ - \sin^{-1}\left(\frac{0}{4}\right) = 180^\circ - 0^\circ = 180^\circ$   
 (b)  $\varphi = \sin^{-1}\left(\frac{4}{4}\right) = 90^\circ$  (d) 左に傾斜しているので  
 $\varphi = 180^\circ - \sin^{-1}\left(\frac{2}{4}\right) = 180^\circ - 30^\circ = 150^\circ$