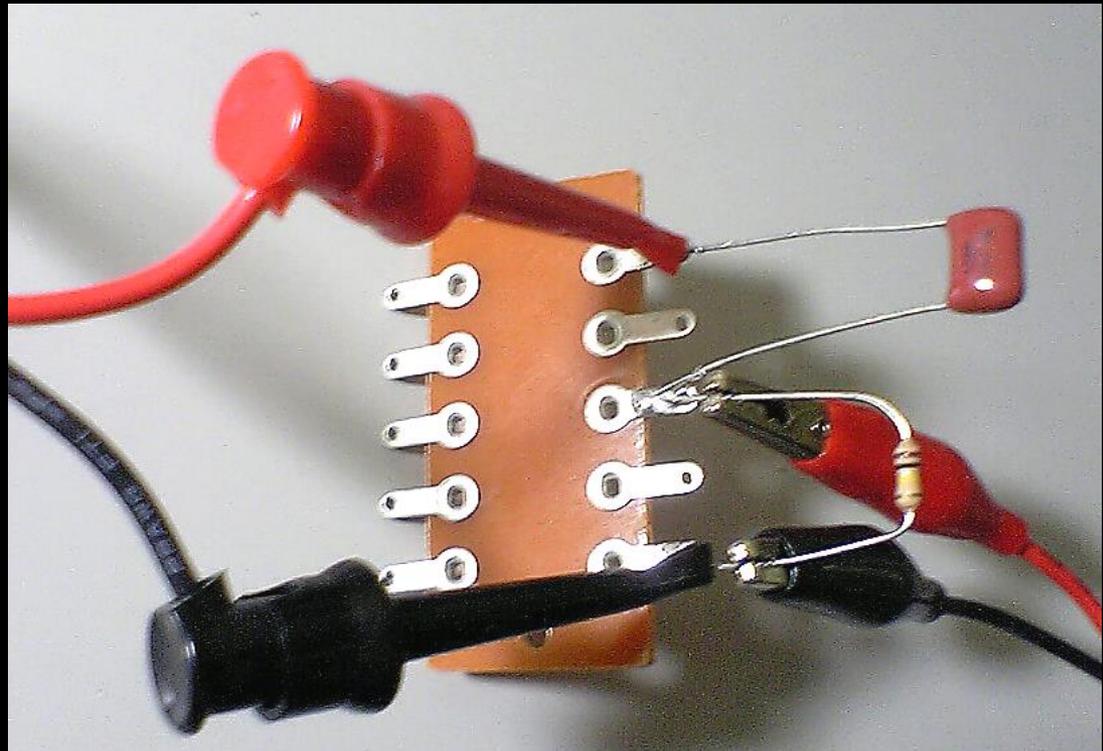


CR結合回路の実験

抵抗器RとコンデンサCを、直列接続した回路の

周波数特性を、発振器とオシロスコープを用いて
観察し、理解する。



数種類の抵抗器とコンデンサが用意してあるので、各自、1個ずつ選択し、ラグ板にCR結合回路を組む。

まず、選んだ抵抗とコンデンサの値からCR結合回路の遮断周波数を計算する。

測定器の性能上、CR結合回路の遮断周波数

$$f = 1 / (2 \pi \tau) \quad \text{時定数 } \tau = CR$$

C:ファラッド(F) R:オーム(Ω)

fの値が、30 Hz以上、1000000 Hz(1 MHz)以下になるように、抵抗とコンデンサを選んで下さい。

コンデンサ（フィルムコンデンサ 1個 50円）

表示の読み方

（250V は、耐圧 250V の意味。実験では、数V しか加わらない。）

1.0 K = 1.0 μ F

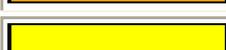
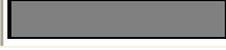
.1 K = 0.1 μ F

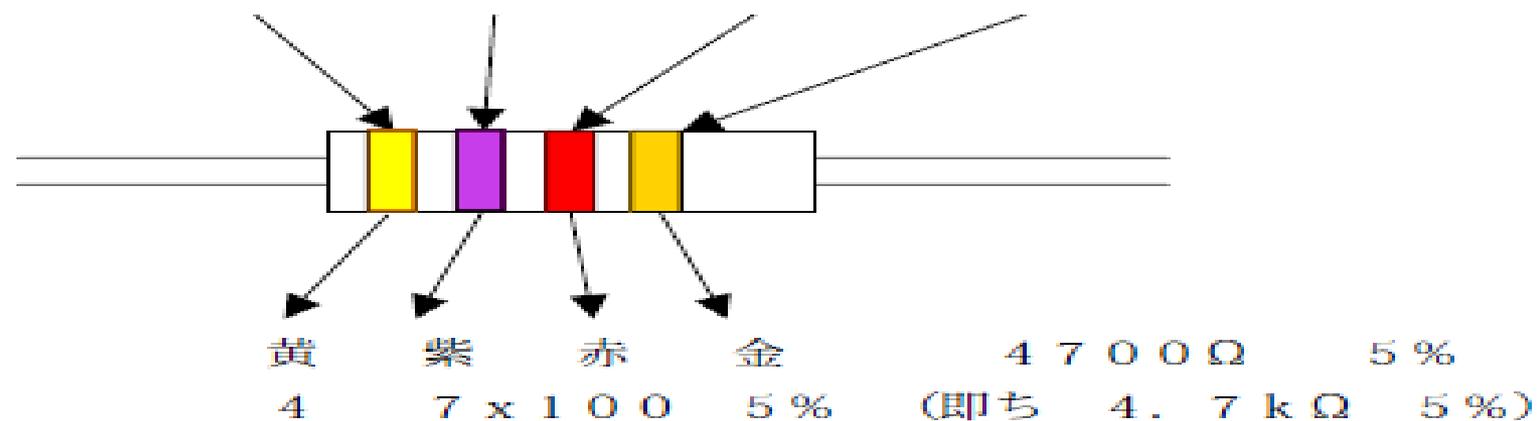
.033 K = 0.033 μ F



抵抗のカラーコード表

抵抗器 1個 4円

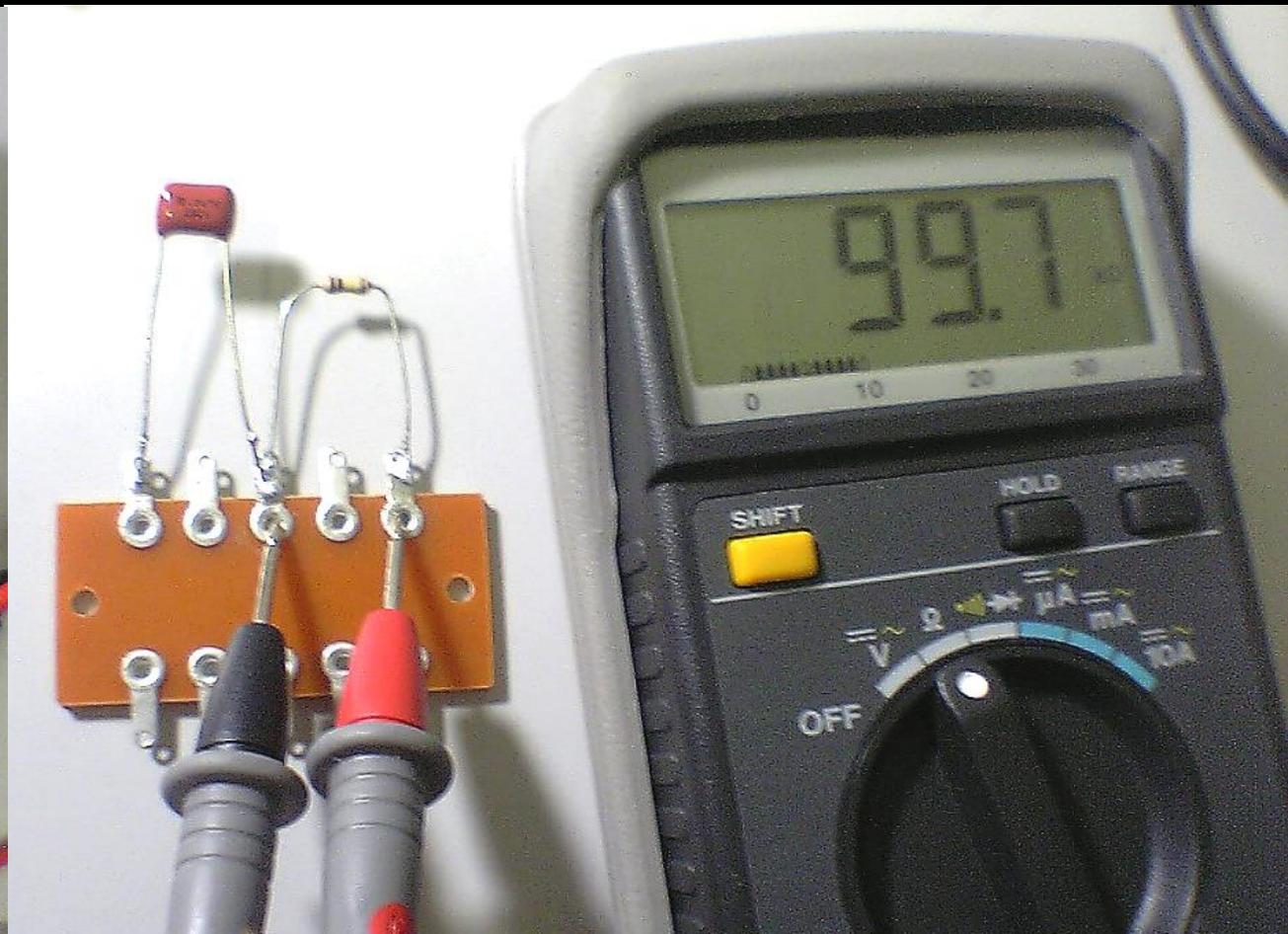
		第1色帯	第2色帯	第3色帯	第4色帯
		第1数字	第2数字	乗数	許容差%
	黒	0	0	1	
	茶	1	1	10	
	赤	2	2	10 ²	±2
	橙	3	3	10 ³	
	黄	4	4	10 ⁴	
	緑	5	5	10 ⁵	
	青	6	6	10 ⁶	
	紫	7	7	10 ⁷	
	灰	8	8	10 ⁸	
	白	9	9	10 ⁹	
	金			10 ⁻¹ (0.1)	±5
	銀			10 ⁻² (0.01)	±10
	無着色				±20



自分の選択した抵抗器の値を、カラーバーから読んで、それを確認するために、テスタで測定してください。

測定プラグは、赤を1番右、黒を右から2番目のソケットに差し込む。

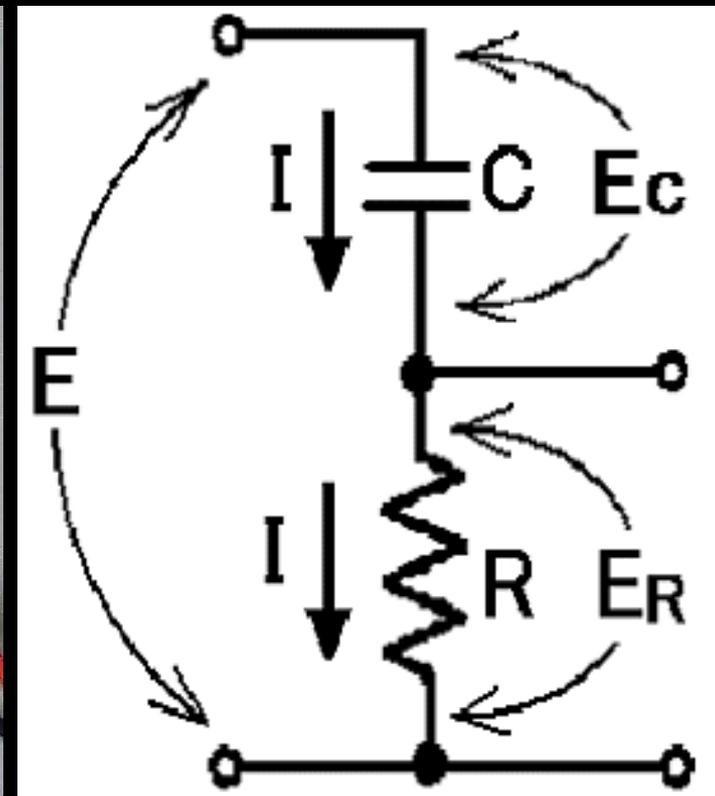
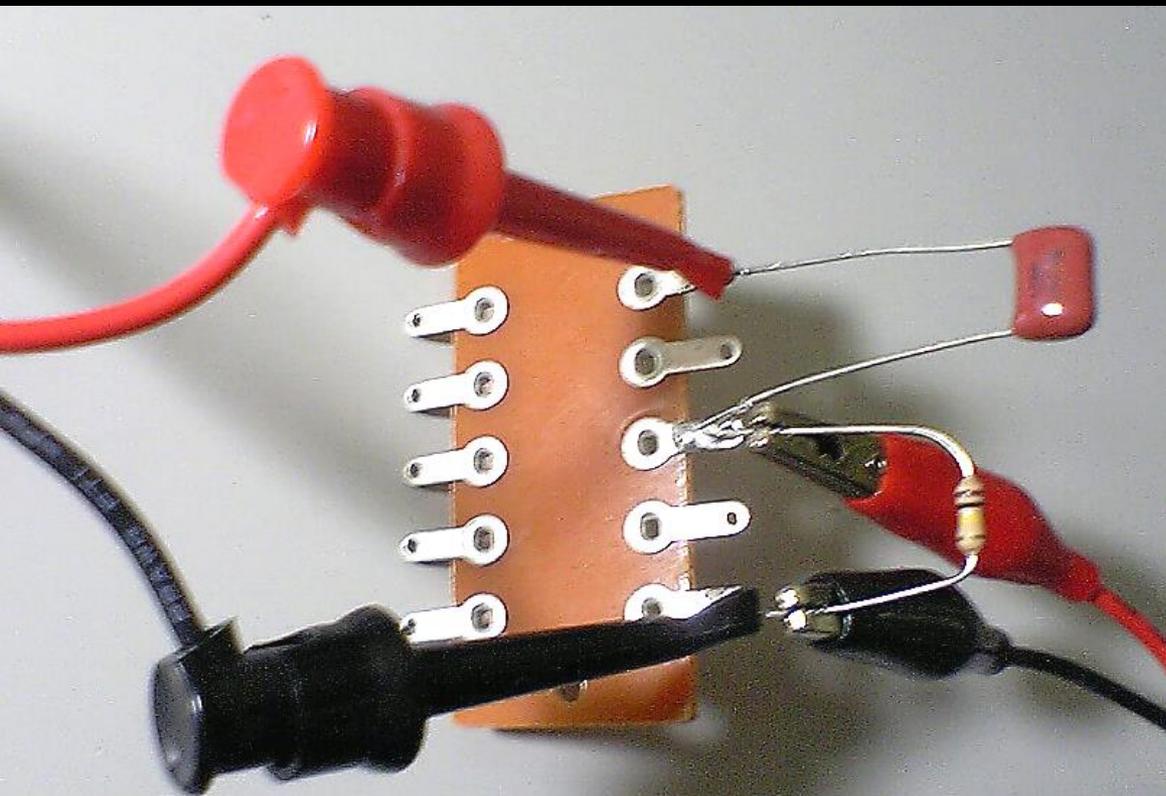
測定選択つまみを Ω にして、抵抗両端の抵抗値を測る。



実験 1 CR結合回路の 抵抗電圧

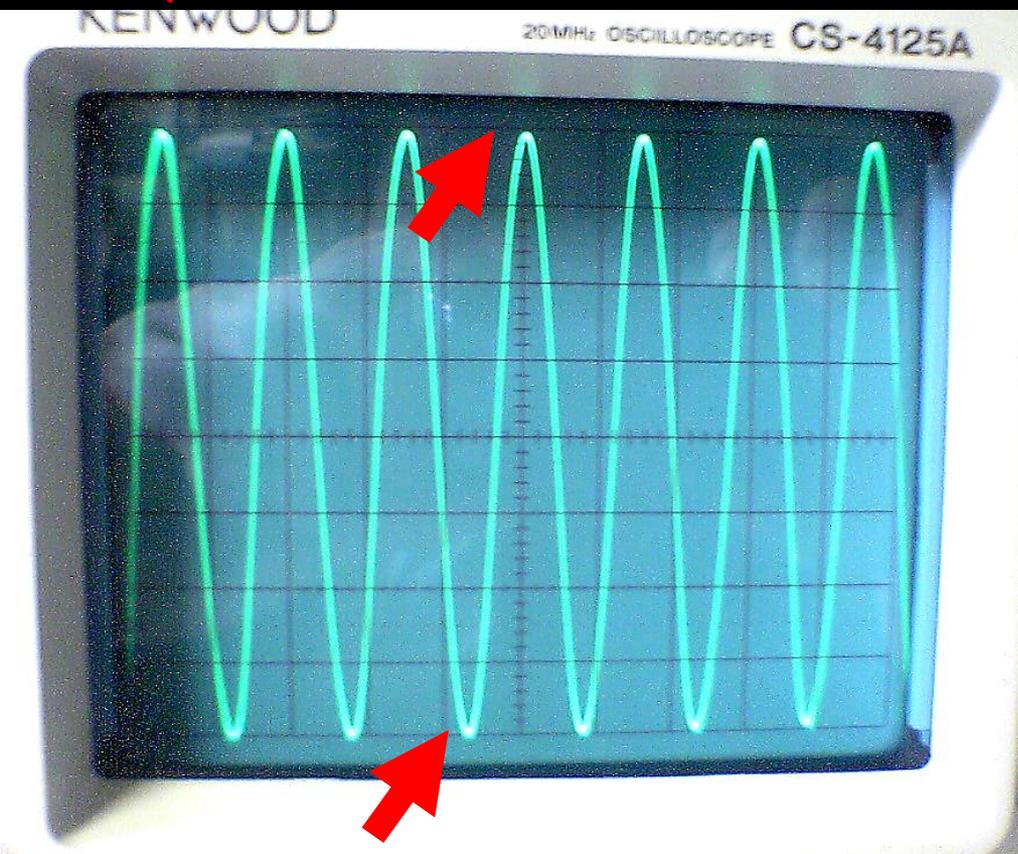
発振器の出力を、CR結合回路の両端につなぐ。
抵抗両端の電圧を、オシロスコープの CH1 につなぐ。

アッテネータ付きプローブは使用しない。
(プローブ内にCR回路が入っているので、この実験には使えない。)





発振器の周波数を、
この装置の上限周波数の
2000 KHz (2MHz) にする。



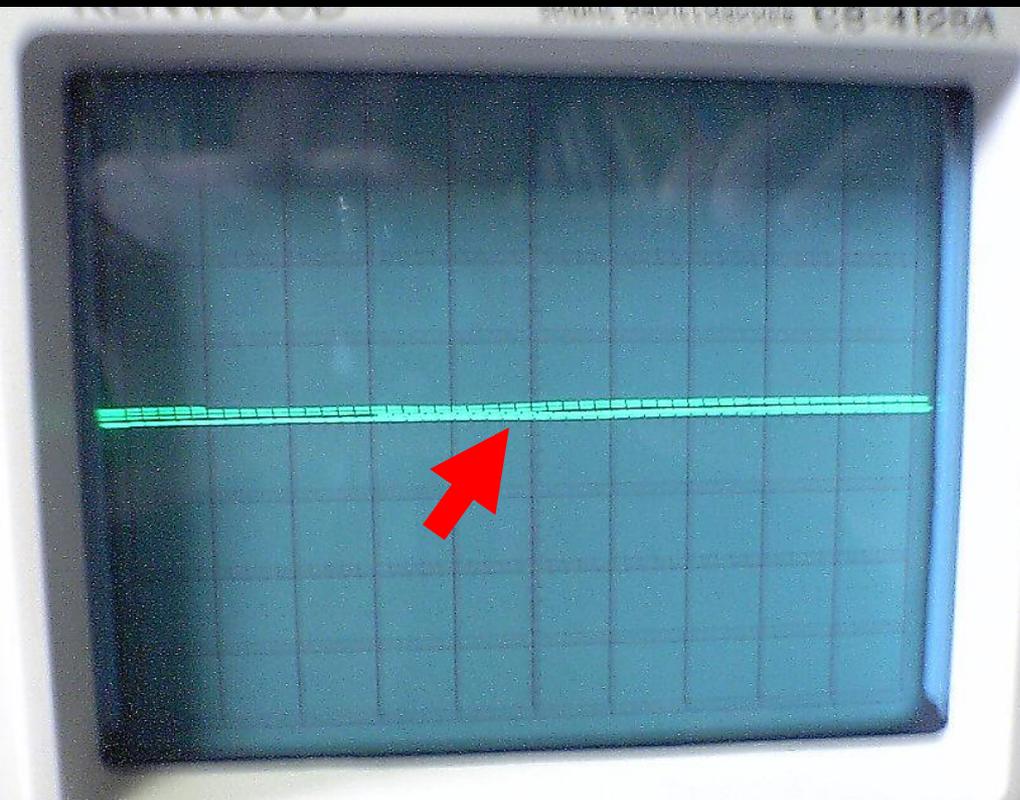
抵抗電圧の振幅がCRT上で
4cmになるように調整する。

この実験が終了するまで
振幅調整つまみを触れない
ように注意する。



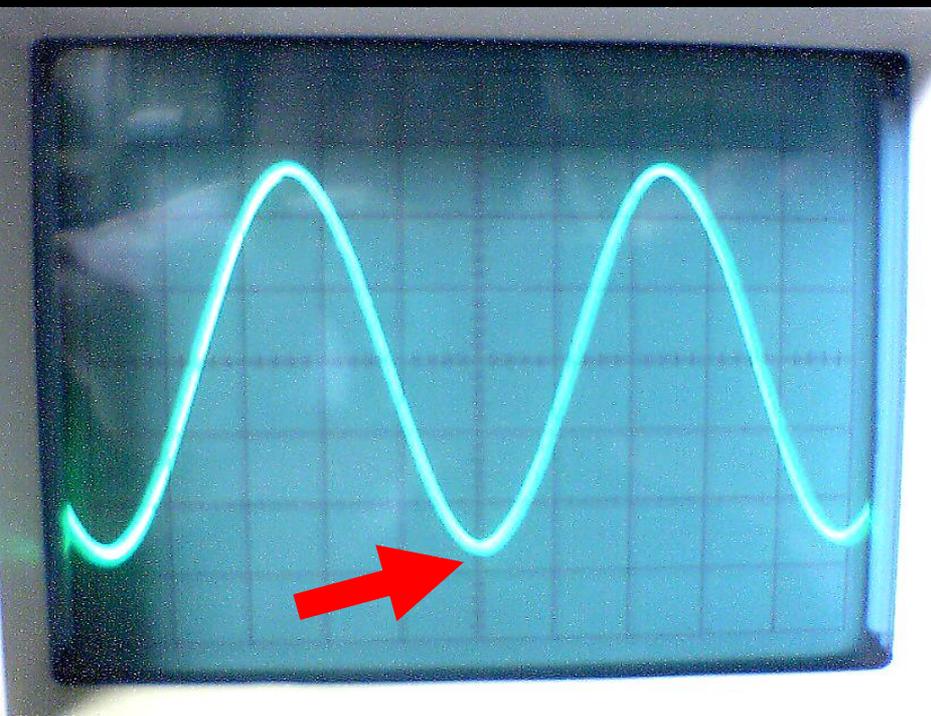
次に、発振器の周波数を、
0 Hz (直流)にする。

抵抗電圧の振幅がCRT上で
0cmになることを確認する。



次第に周波数を上げ、振幅が
0.4cm (10%)、0.8cm (20%)、
1.2cm (30%)、1.6cm (40%)、
2.0cm (50%)、2.4cm (60%)、
2.8cm (70%)、3.2cm (80%)、
3.6cm (90%)、4.0cm (100%)
を示す周波数を記録する。

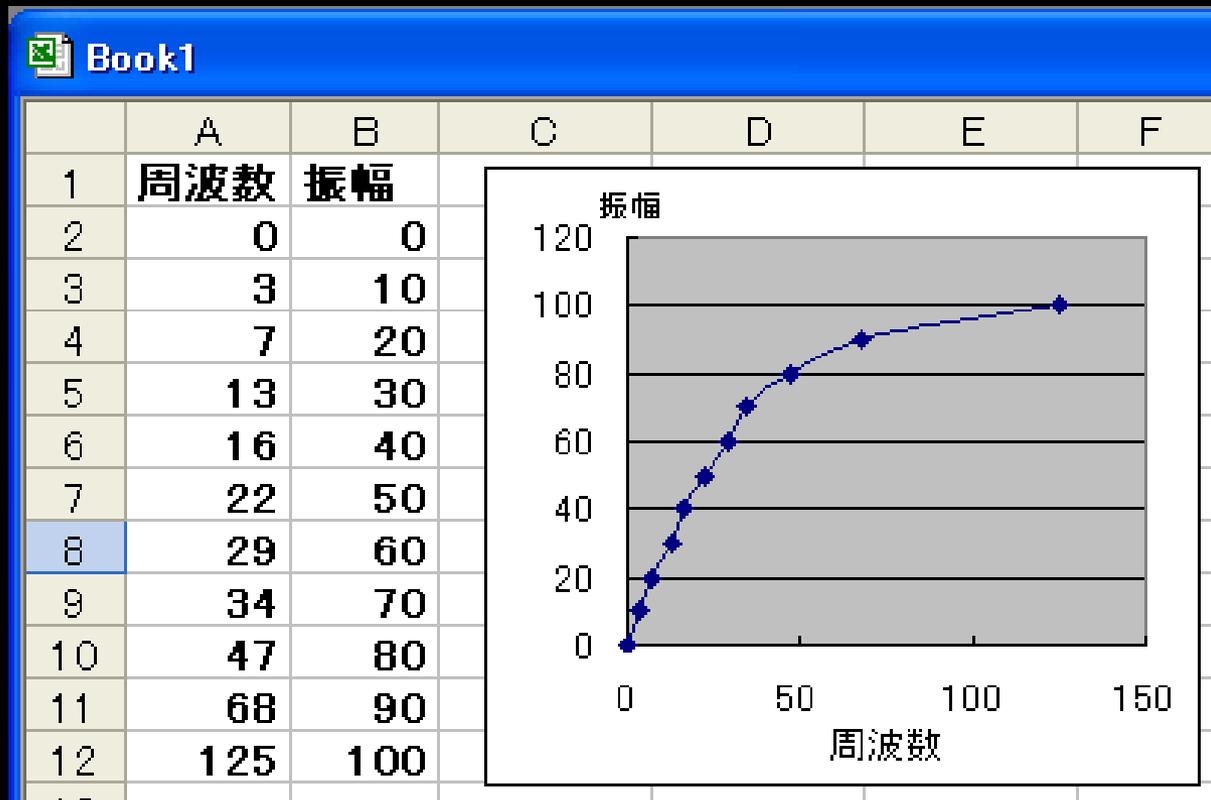
例 振幅 2.8cm (70%)
周波数 34 Hz



振幅 (%)	周波数 (Hz)
0	0
10	3
20	7
30	13
40	16
50	22
60	29
70	34
80	47
90	68
100	125

この結果を Excel で表にして下さい。

(横軸にしたい値を Aカラムに、縦軸にしたい値を Bカラムに入れて
グラフウィザードを用いる。)

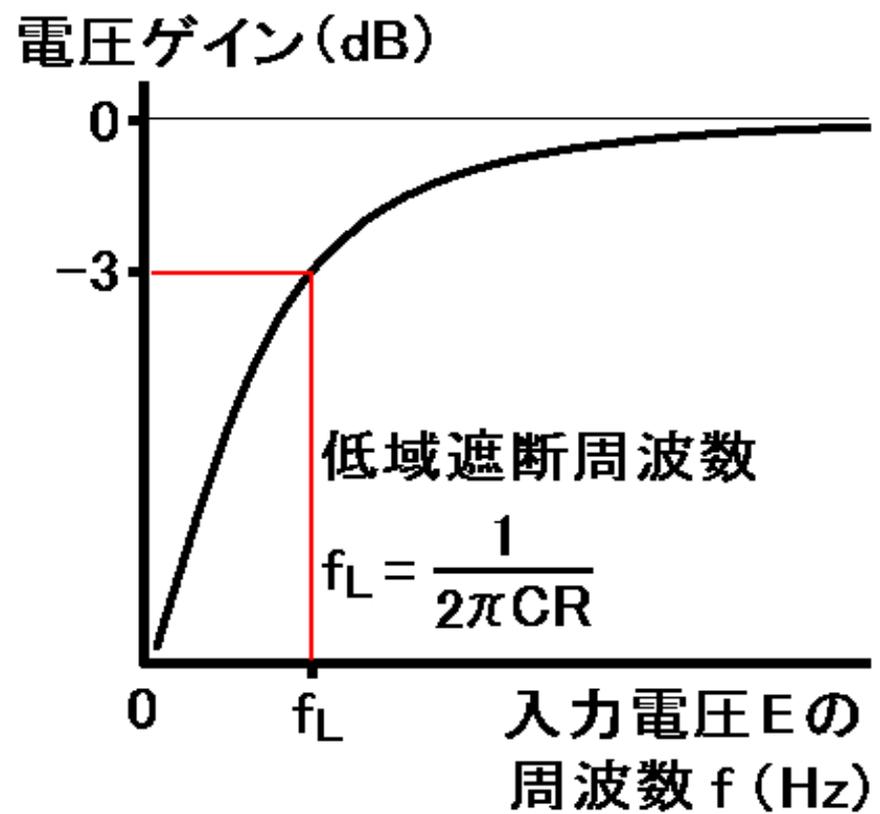
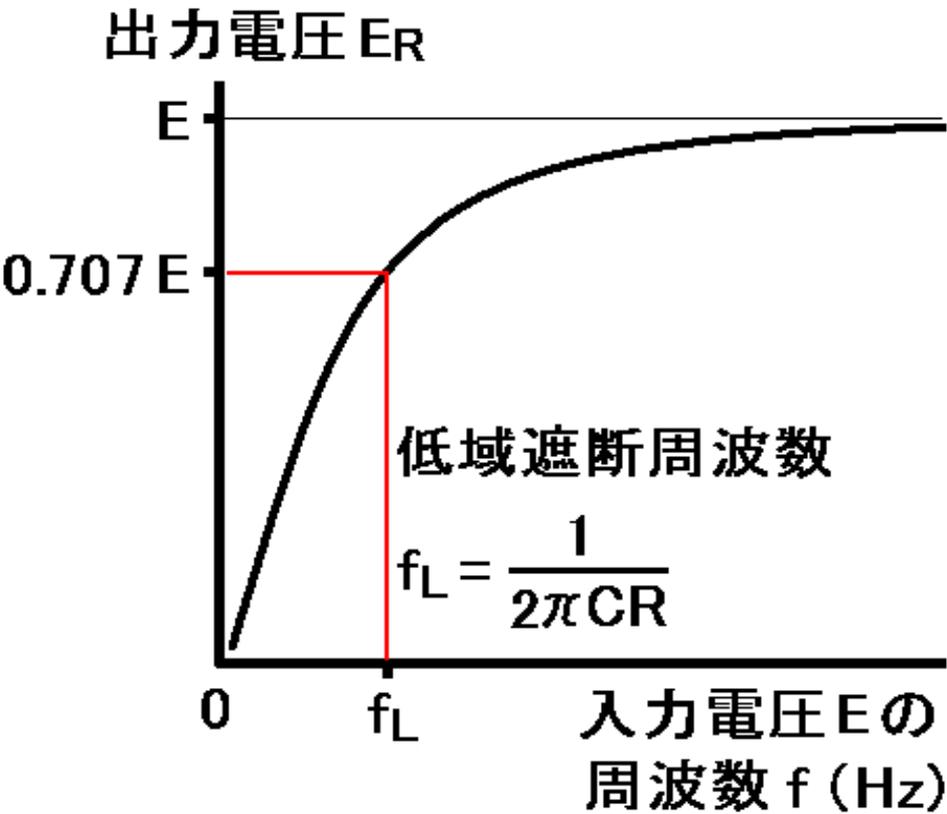
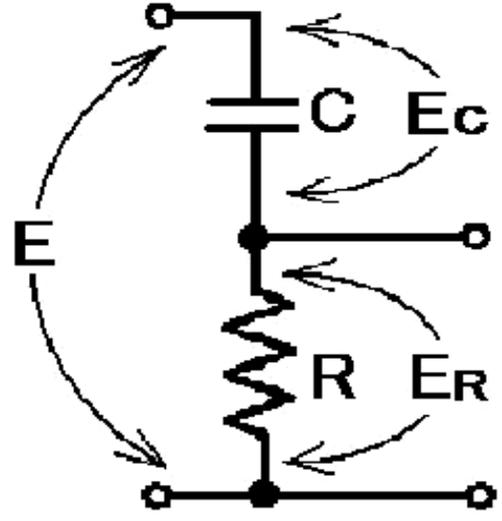


CR結合回路の抵抗電圧出力は、低周波を遮断することを確認し、
理解して下さい。

入力電圧 E の周波数が $f_L = 1/(2\pi CR)$ のとき、

出力電圧 E_R との比は、 $\frac{\text{出力電圧}}{\text{入力電圧}} = \frac{E_R}{E} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ (=70.7%)

dB であらわすと、ゲイン $G = 20 \log_{10} \frac{1}{\sqrt{2}} = -3 \text{ dB}$
($\log_{10} 2 \doteq 0.3$)



CR結合回路の時定数 τ を求める。

$$\tau = CR$$

例： $C = 0.047\mu\text{F}$ 、 $R = 100\text{ k}\Omega$ $\tau = 0.0047\text{ sec}$

低域遮断周波数 f

(電圧振幅を $1 / \sqrt{2} = 70.7\%$ にする周波数)

を求める。

例 : $f = 1 / (2\pi\tau) = 33.88\text{ Hz}$

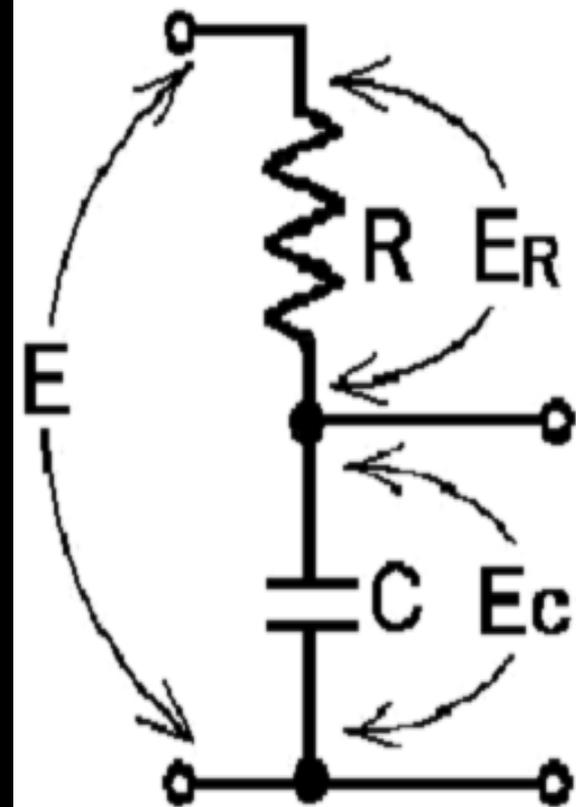
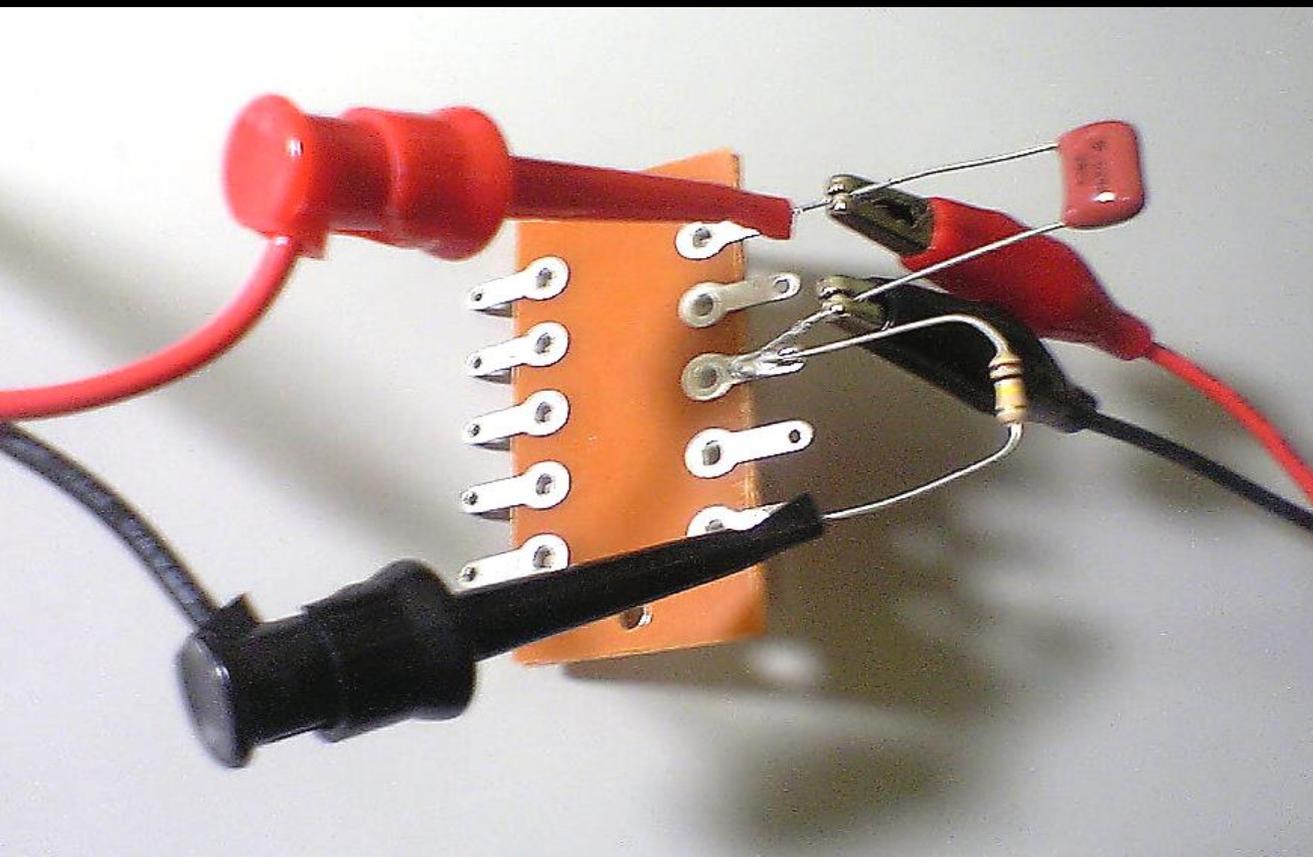
実験結果をみて、適切な結果が得られたか確認する。

以上の 実験1 の結果と、このような結果が得られる
理論を、レポートに記述してください。

実験 2 CR結合回路のコンデンサ電圧

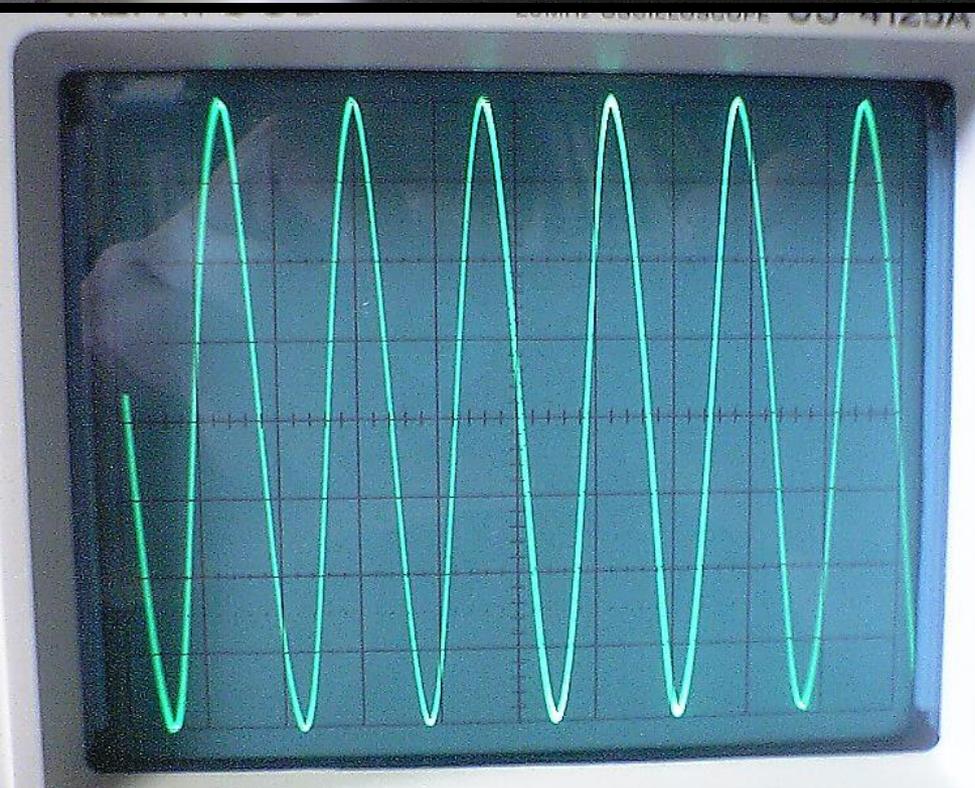
発振器の出力を、CR結合回路の両端につなぐ。

コンデンサ両端の電圧を、オシロスコープの CH1 につなぐ。





10 Hz 以上の周波数で、
コンデンサ電圧が最大になる
周波数を探してください。



(10Hz以下では、ケーブル自体
が持つ抵抗と静電容量で電圧が
下がる。)

最大電圧を示す周波数で、
振幅が 4cm になるように調整。



次に、発振器の周波数を、
2000 kHz にする。

コンデンサ電圧の振幅が
CRT上で0cmになることを
確認する。



次第に周波数を下げ、振幅が
0.4cm (10%)、0.8cm (20%)、
1.2cm (30%)、1.6cm (40%)、
2.0cm (50%)、2.4cm (60%)、
2.8cm (70%)、3.2cm (80%)、
3.6cm (90%)、4.0cm (100%)
を示す周波数を記録する。

実験 1 と同じく、結果を Excel で表にして下さい。

CR結合回路の コンデンサ電圧出力は、高周波を遮断することを確認し、理解して下さい。

高域遮断周波数 f を求める。
(電圧振幅を $1 / \sqrt{2} = 70.7\%$ にする周波数)

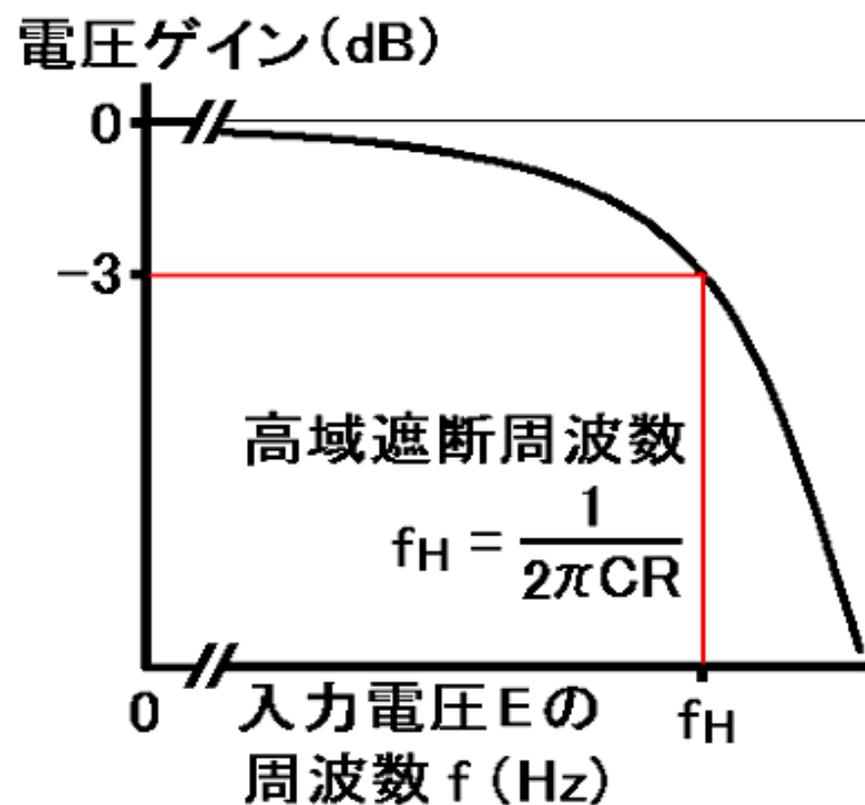
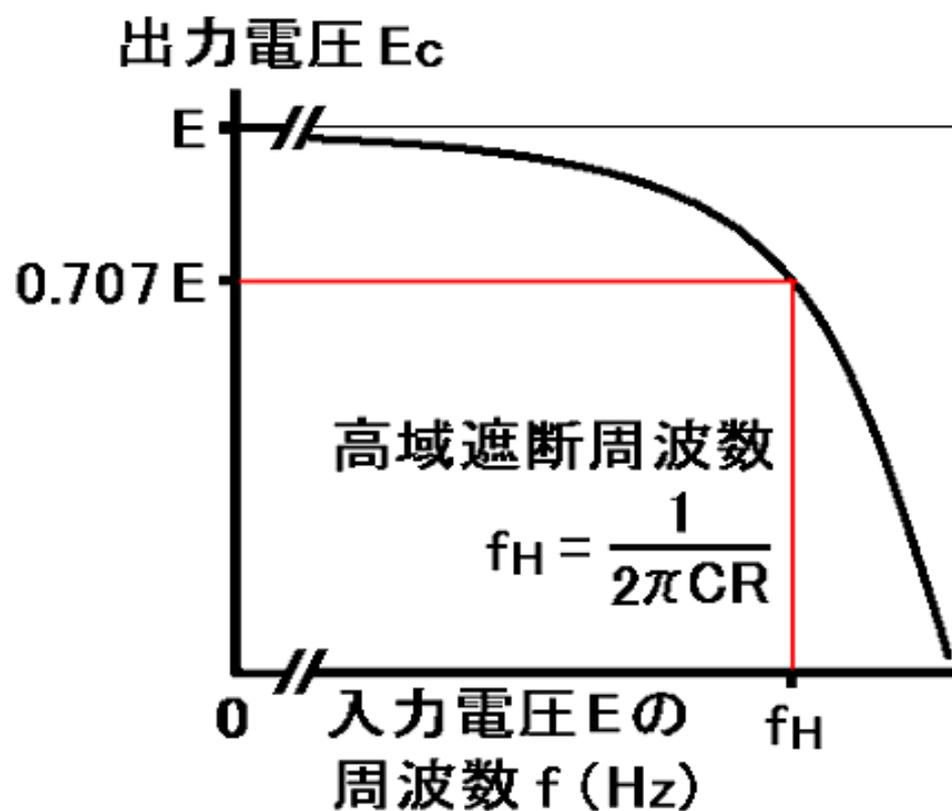
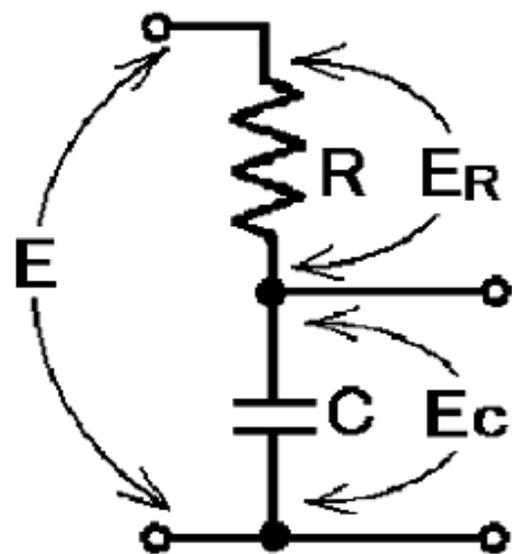
実験結果をみて、適切な結果が得られたか確認する。

以上の 実験2 の結果と、このような結果が得られる理論を、レポートに記述してください。

CR結合回路のコンデンサ電圧 E_c は、
入力信号の高周波成分を遮断する機能をもつ。
(高域フィルタ、高周波フィルタ)

$$\text{高域遮断周波数 } f_H = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi CR} = \frac{1}{2\pi\tau}$$

(High cut-off frequency) ($\tau = CR$)

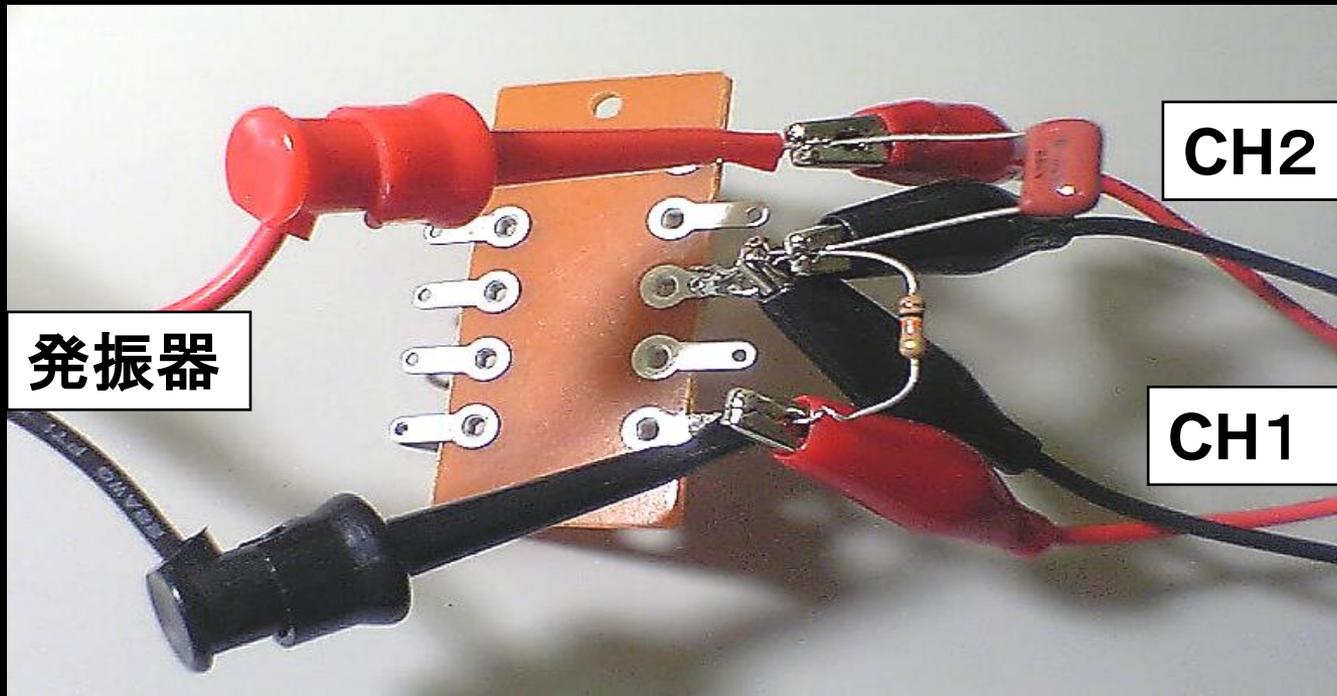


実験 3 抵抗電圧とコンデンサ電圧の位相差

CR 結合回路の両端に発振器の出力電圧をつなぎ、
オシロスコープの CH1 に抵抗電圧をつなぎ、
CH2 にコンデンサ電圧をつなぐ。

CH1、CH2 のマイナス(黒)電極は、オシロスコープ内で
電氣的につながっているなので、同じ部位をつなぐ。

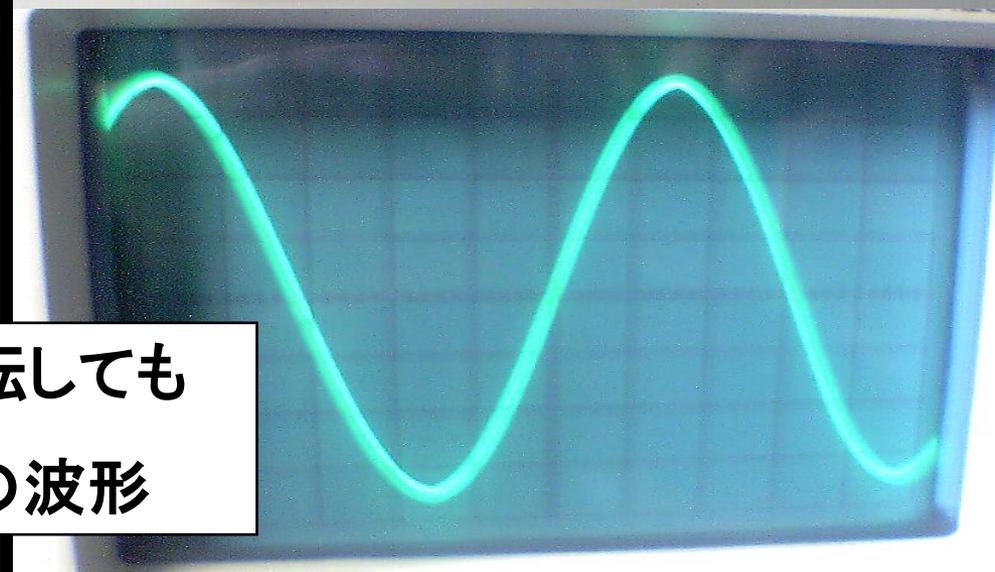
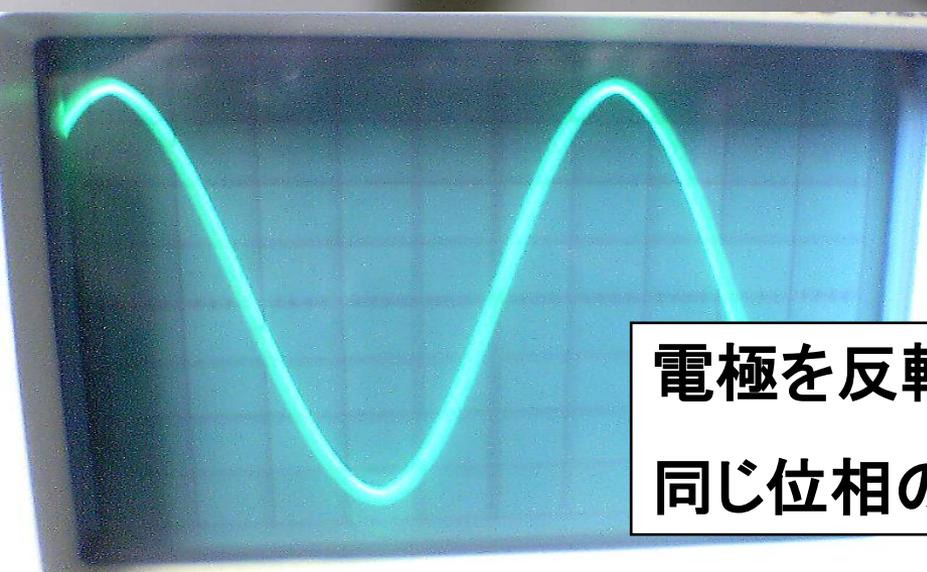
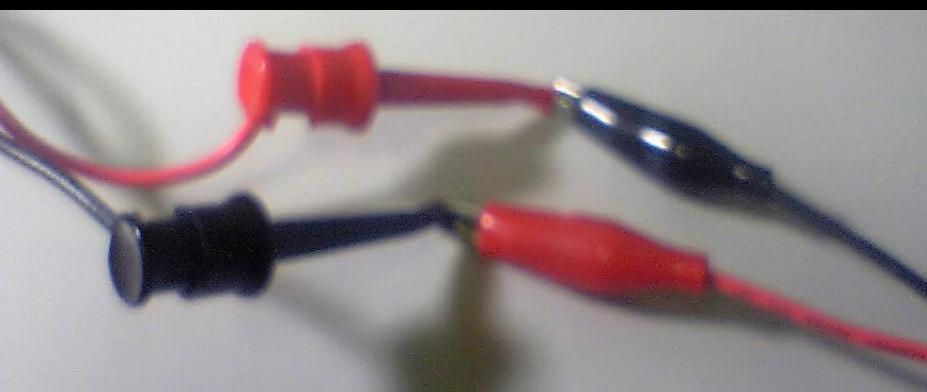
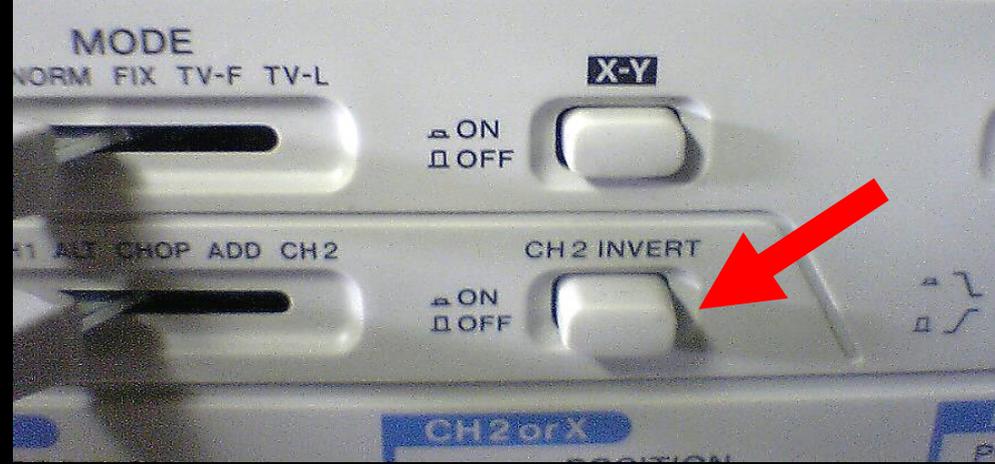
(黒電極は、抵抗とコンデンサが結合している部位に。)



CH1 の 抵抗電圧の電極のプラスマイナスが、
CH2 の コンデンサ電圧の電極と 向きが逆転しているが、
オシロスコープの Sweep time は、UP-slope または
DOWN-slope トリガで検出しているので、
正弦波であれば、抵抗電圧信号波形が反転表示される
ことはない。

一応、そのような問題を解決するボタンがオシロスコープに
用意されているが（CH2 INVERT ボタン；CH2信号の
プラスマイナスを反転させる）、
押しても CH2 信号は、見かけ上、反転しない。
（今回の実験では上下対称性の正弦波なので。）

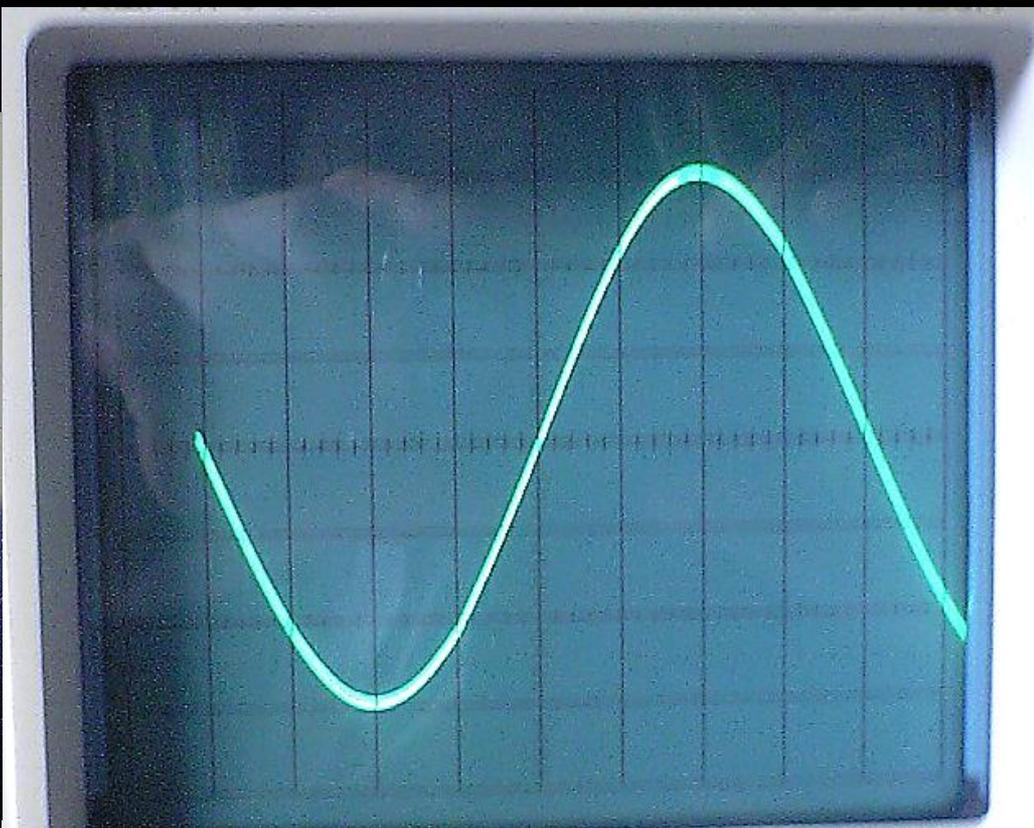
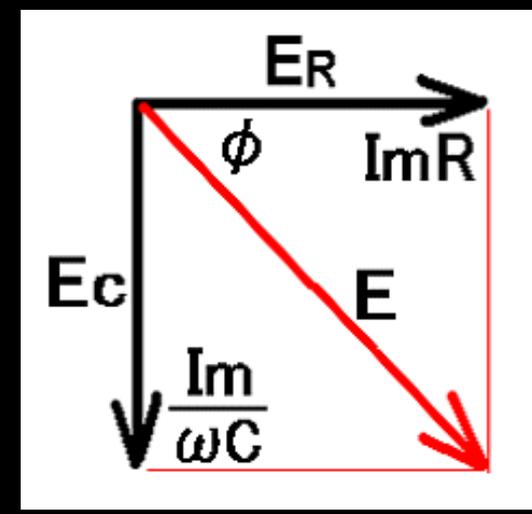
正弦波信号は
適切なトリガで、
電極を反転しても波形は
反転しない。



電極を反転しても
同じ位相の波形

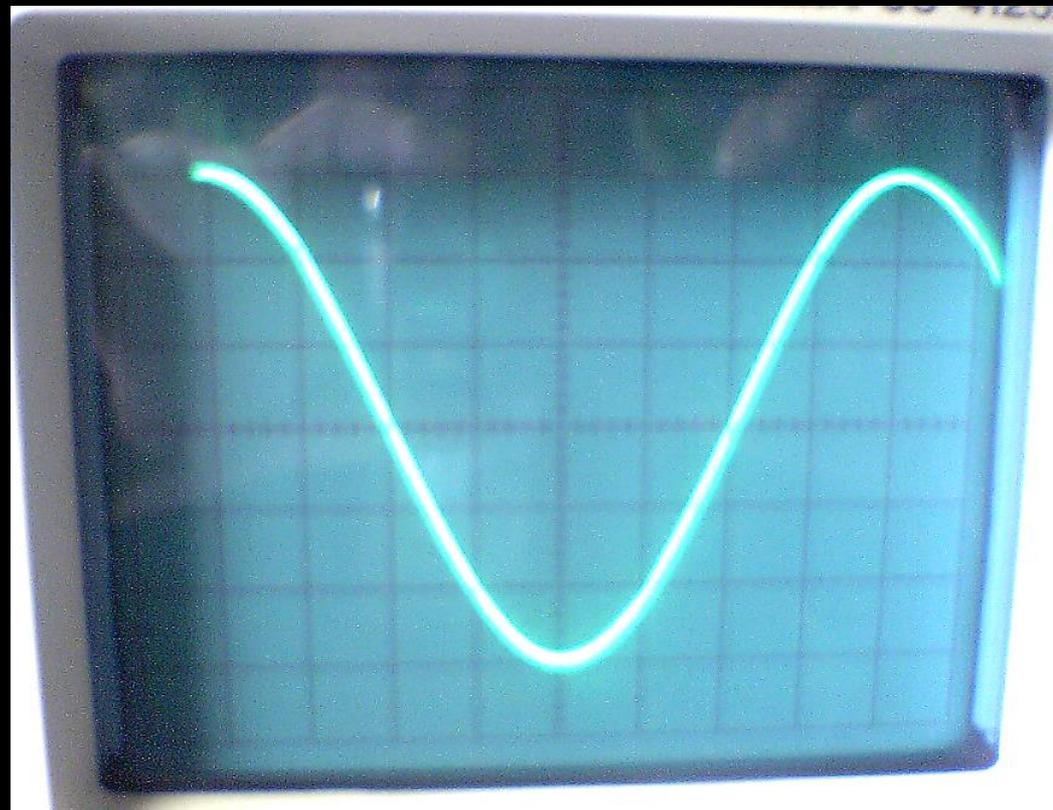
発振器の周波数を、遮断周波数に設定する。
(抵抗電圧とコンデンサ電圧が等しくなる周波数)

SOURCEレバーを CH1 に設定して、CRT 上で
CH1 の信号を 振幅 3cm、波長 8cm の
正弦波 (sin 曲線) に調節する。

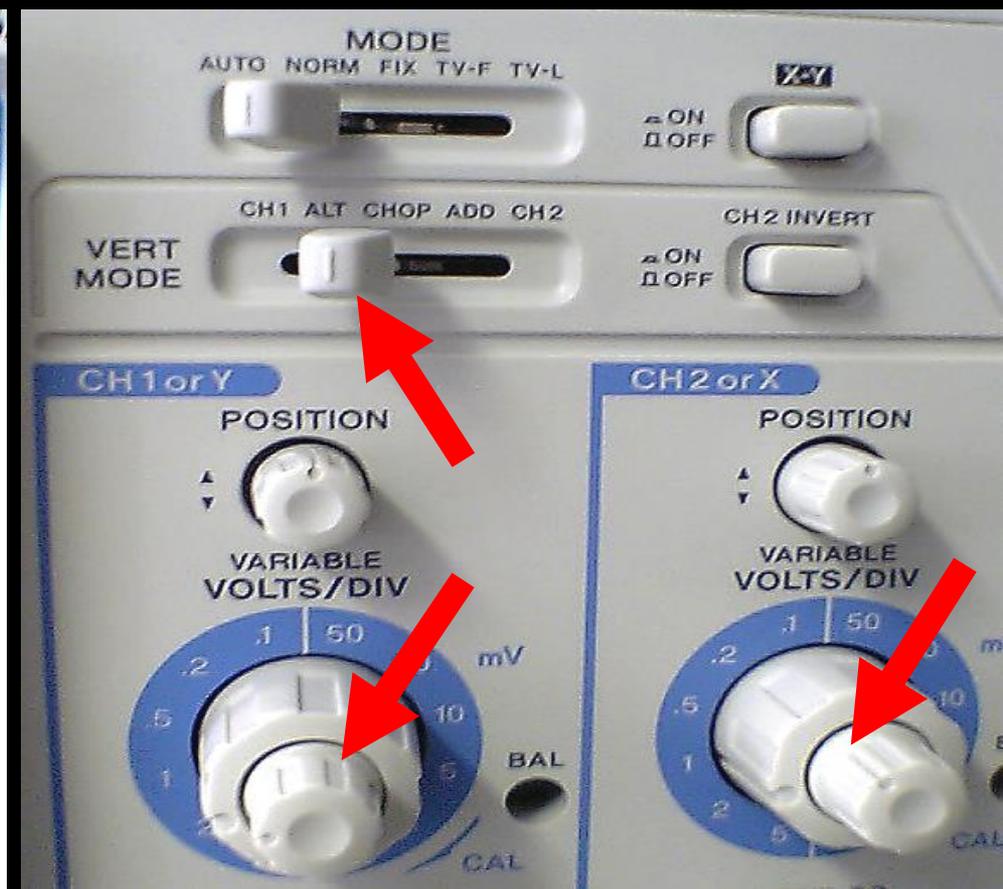
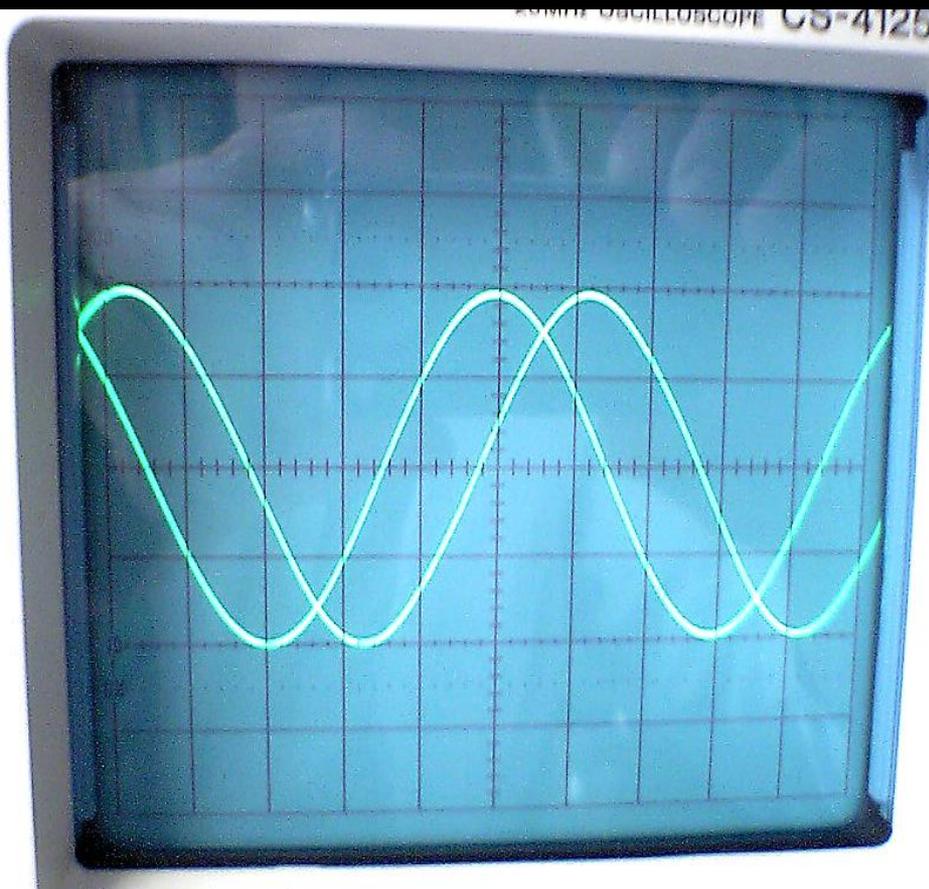


SOURCEレバーを CH2 にすると、CRT 上に CH2 の信号が表示される。振幅 3cm、波長 8cm の余弦波の反転波形（ $-\cos$ 曲線）が表示される。

コンデンサ電圧は、抵抗電圧より、 90° 位相が遅れている（ $1/4$ 波長 遅い）ことが確認できる。

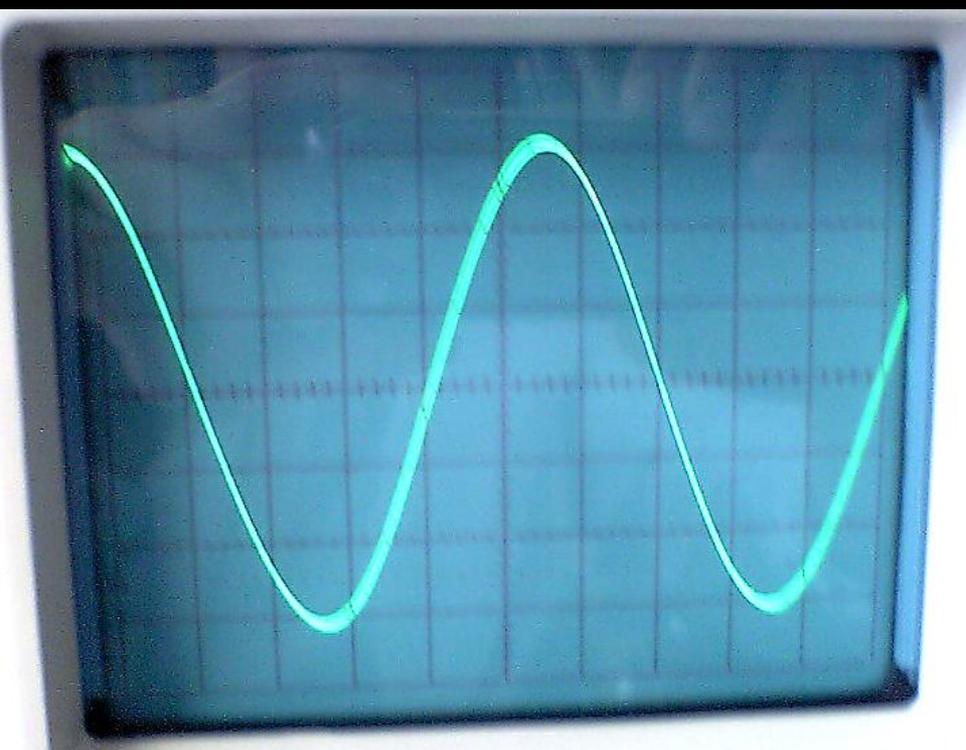


VERT MODE スイッチを、ALT または CHOP に切り替えると、CH1 (抵抗電圧) と CH2 (コンデンサ電圧) が、同時表示される。遮断周波数に設定した状態で、CH1 と CH2 の波形の振幅がともに 2cm になるように、CH1 と CH2 の振幅を調整してください。周波数を遮断周波数から少しずらすと振幅に差が生じることを確認して下さい。

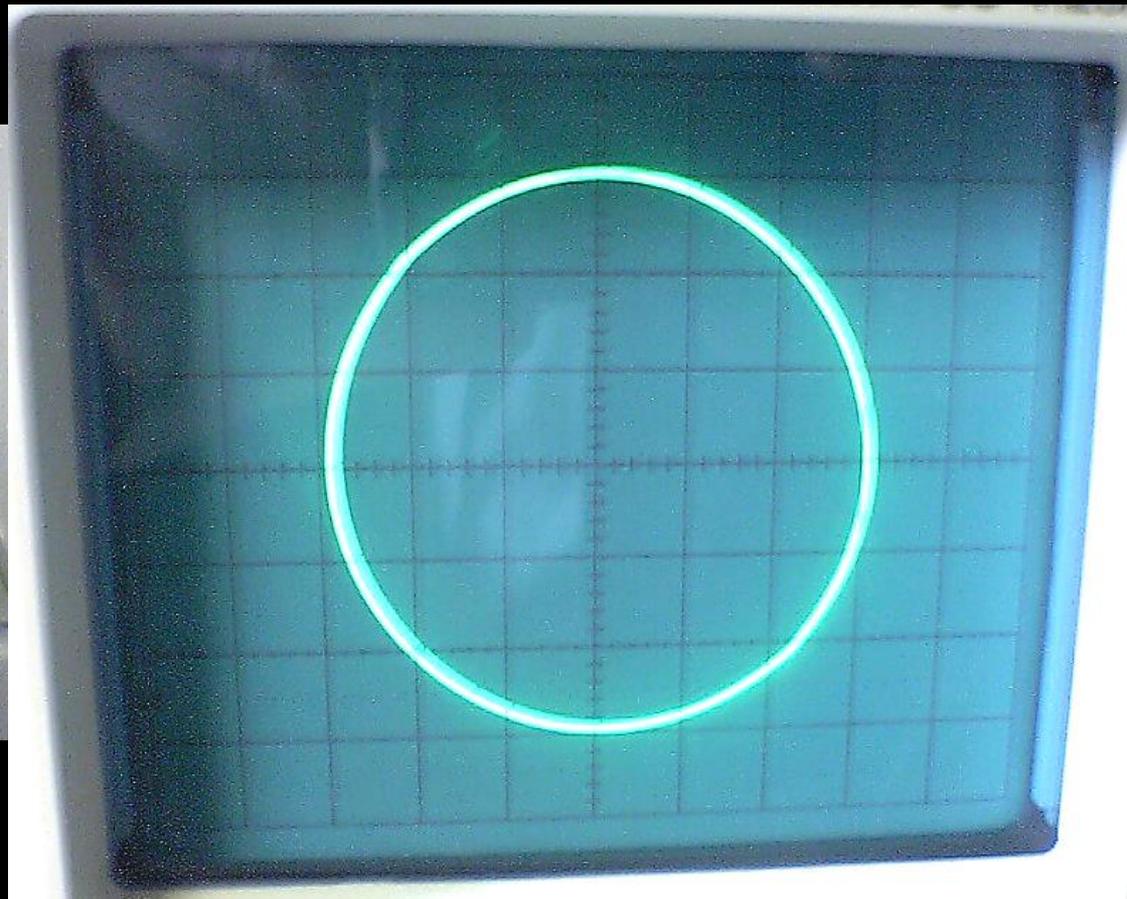
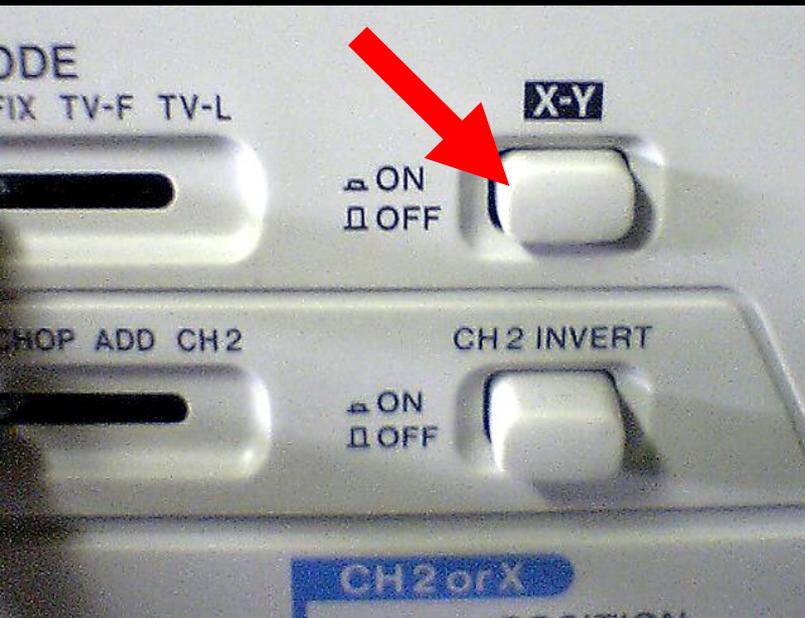


VERT MODE スイッチを、ADD に切り替えると、
CH1 (抵抗電圧) と CH2 (コンデンサ電圧) の和が、表示される。

遮断周波数に設定した状態で、振幅がともに 2cm の CH1 と CH2 の
和の信号の振幅が、4cm にならないことを確認して下さい。
理論上、2cm の $\sqrt{2}$ 倍になることを理解して下さい。



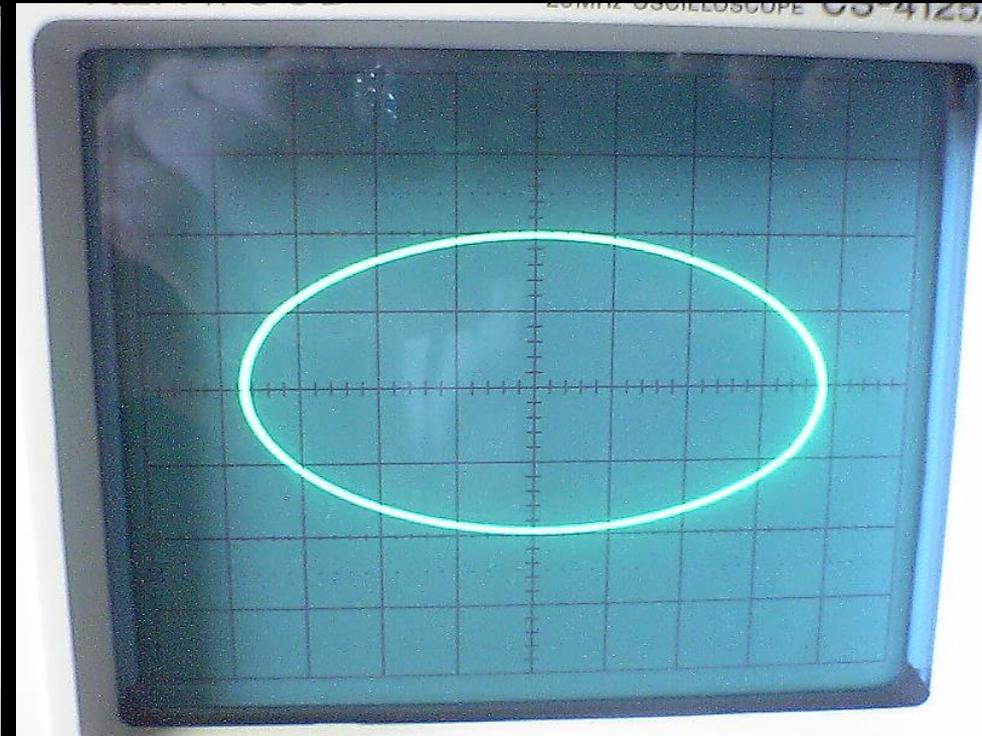
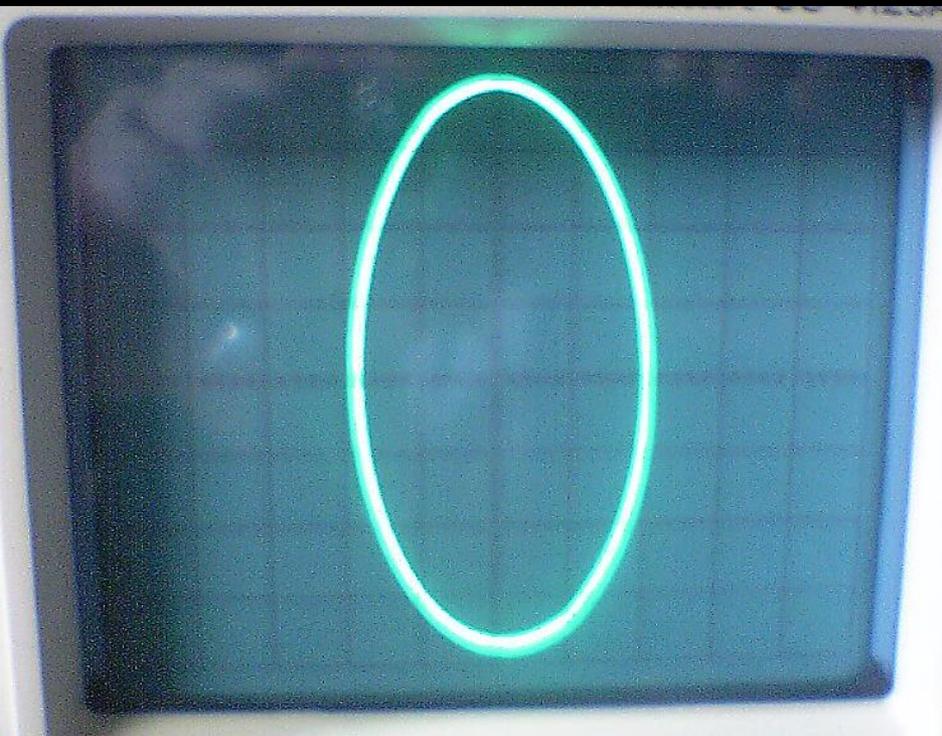
X-Y ボタンを押すと、縦軸に CH1 (抵抗電圧)、
横軸に CH2 (コンデンサ電圧) のリサージ曲線が出る。
円が描画される。
(位置は、HORIZONTAL POSITION で調整して下さい。)



円が描画される理由（コンデンサ電圧が抵抗電圧よりも位相が 90° 遅れる理由）をレポートして下さい。

また、遮断周波数よりも周波数を高くすると、上下に長い楕円に変形し、低くすると左右に長い楕円に変形する。

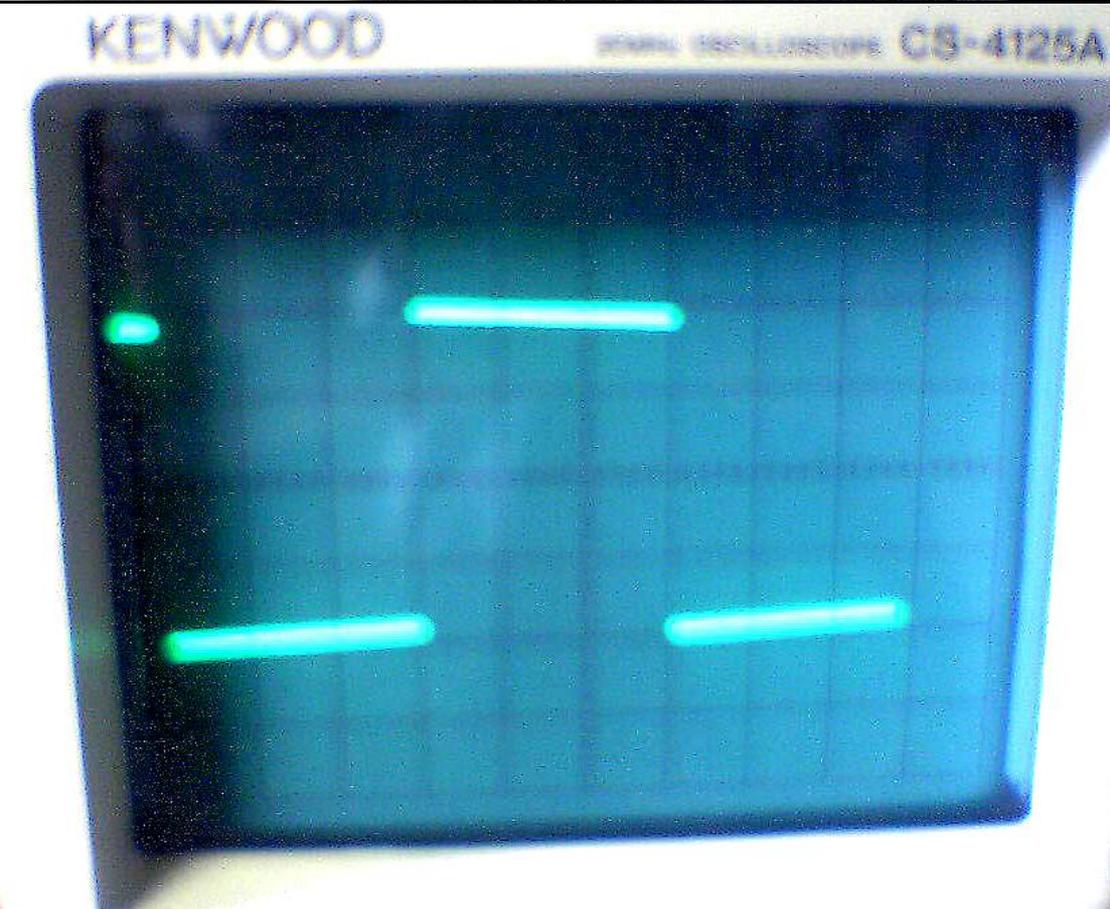
この理由も、各自考えてレポートして下さい。





実験 4

矩形波に対する CR結合回路の応答



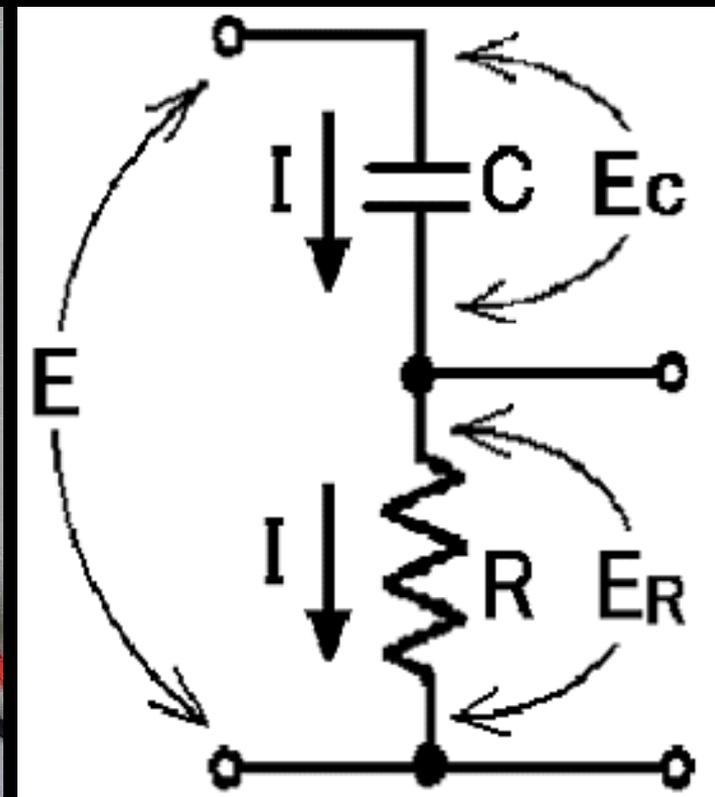
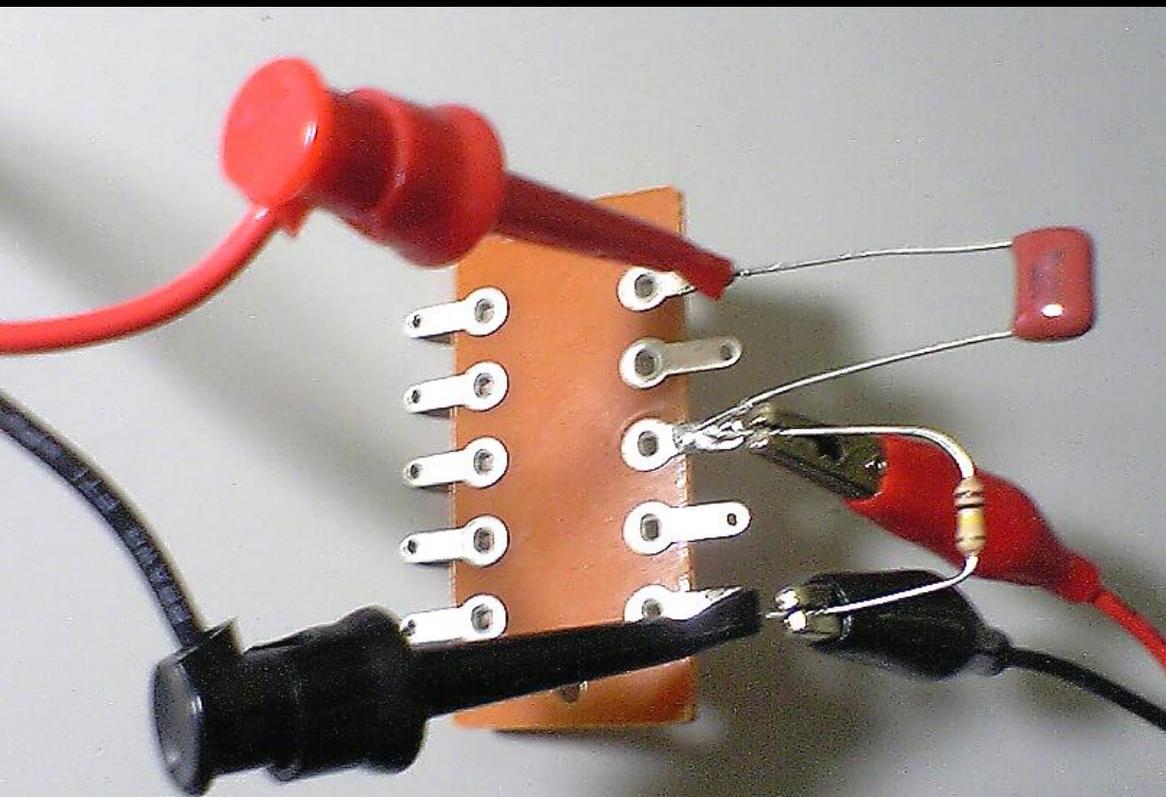
発振器の波形を矩形波
に切り替え、
オシロスコープの CH1
に接続。

周波数を遮断周波数に
設定し、振幅を 2cm、
波長を 6cm に調整。

矩形波に対する CR結合回路の抵抗電圧

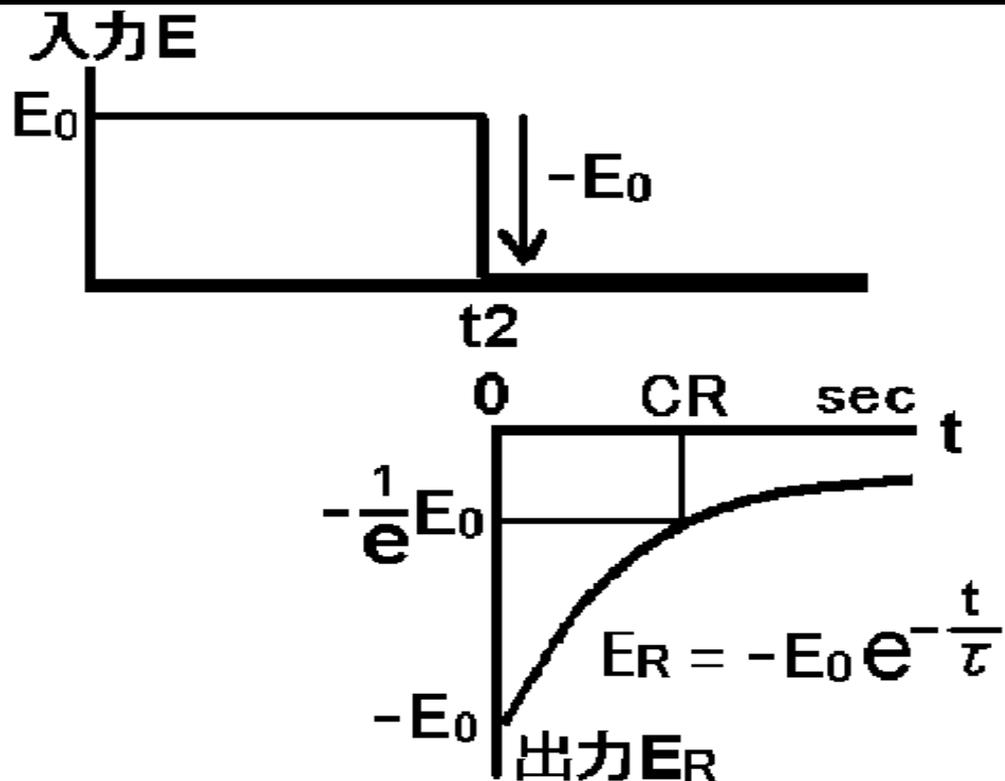
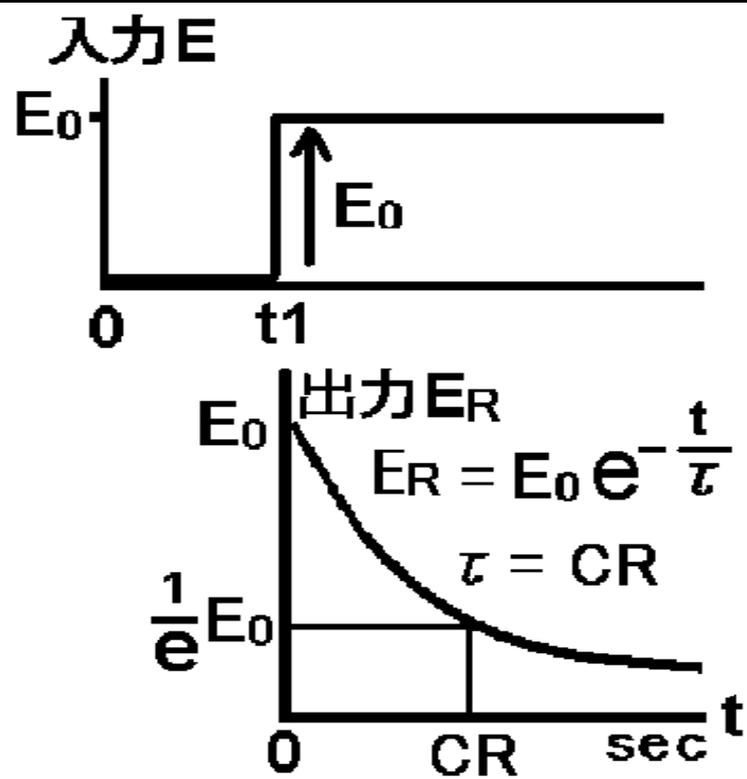
発振器の出力を、CR結合回路の両端につなぐ。

抵抗両端の電圧を、オシロスコープの CH1 につなぐ。





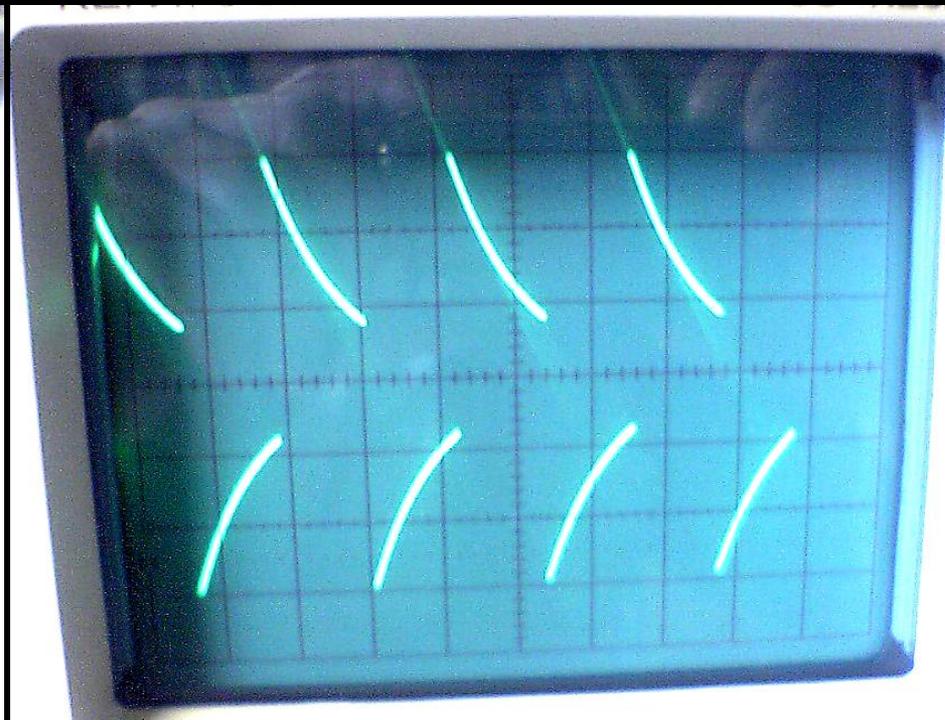
表示される波形を観察し、
スケッチして、
理論式と比較する。



周波数を遮断周波数より低くすると、
電圧が変化する瞬間のみ電圧の絶対値が大きく、速やかに 0V に
収束することを確認し、スケッチする。(微分回路)

周波数を遮断周波数より高くすると、
電圧が緩やかに変化し、0V に収束する前に、次の矩形波に対する
反応が出現することを確認し、スケッチする。

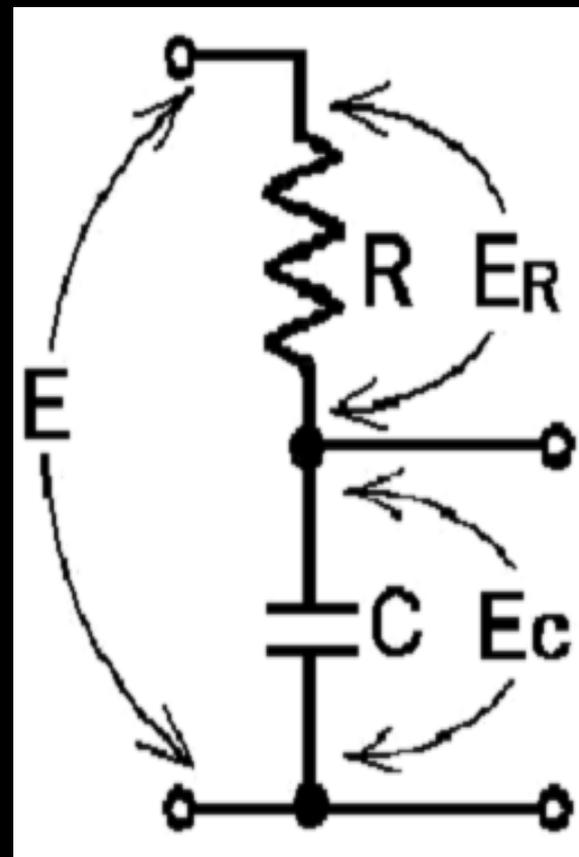
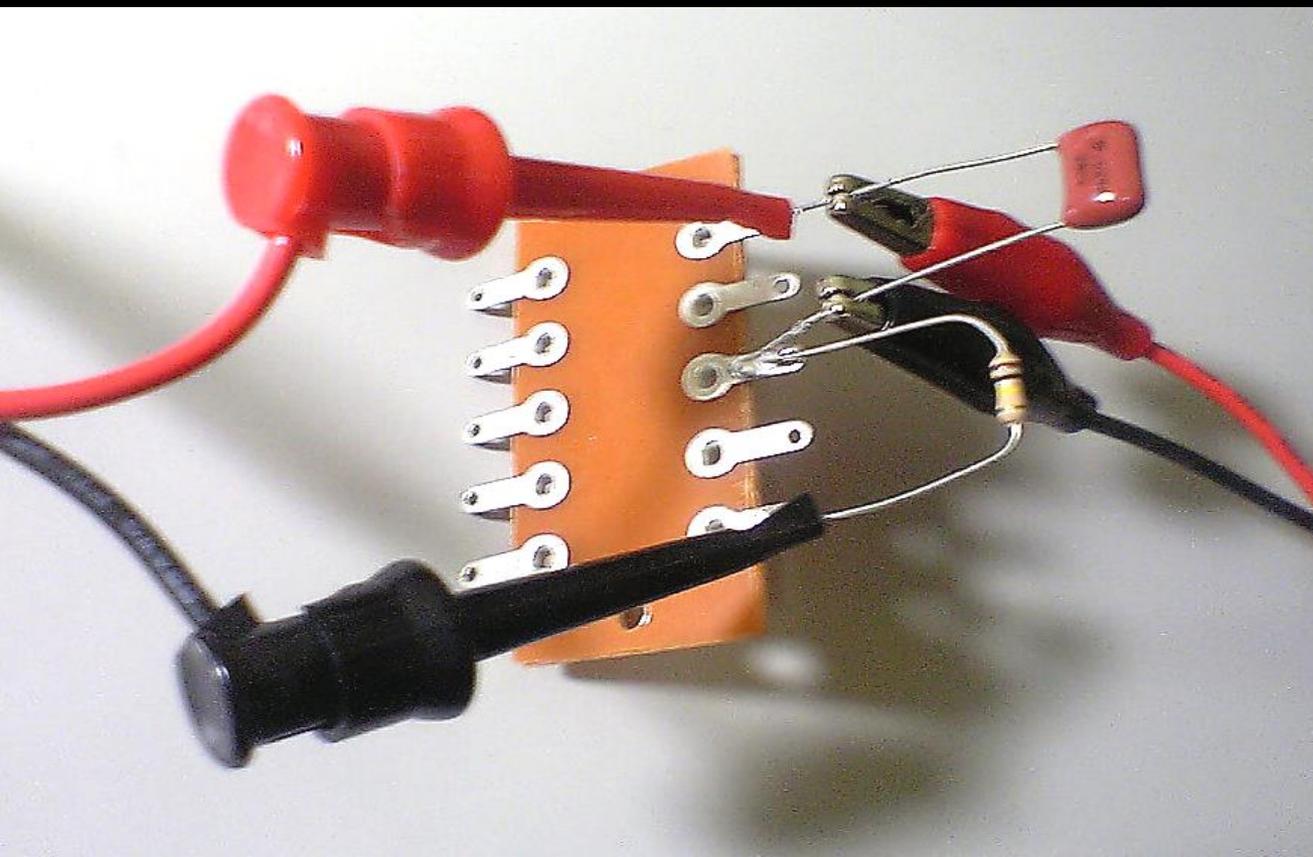
これらの結果を理論的に説明し、レポートして下さい。



矩形波に対する CR結合回路のコンデンサ電圧

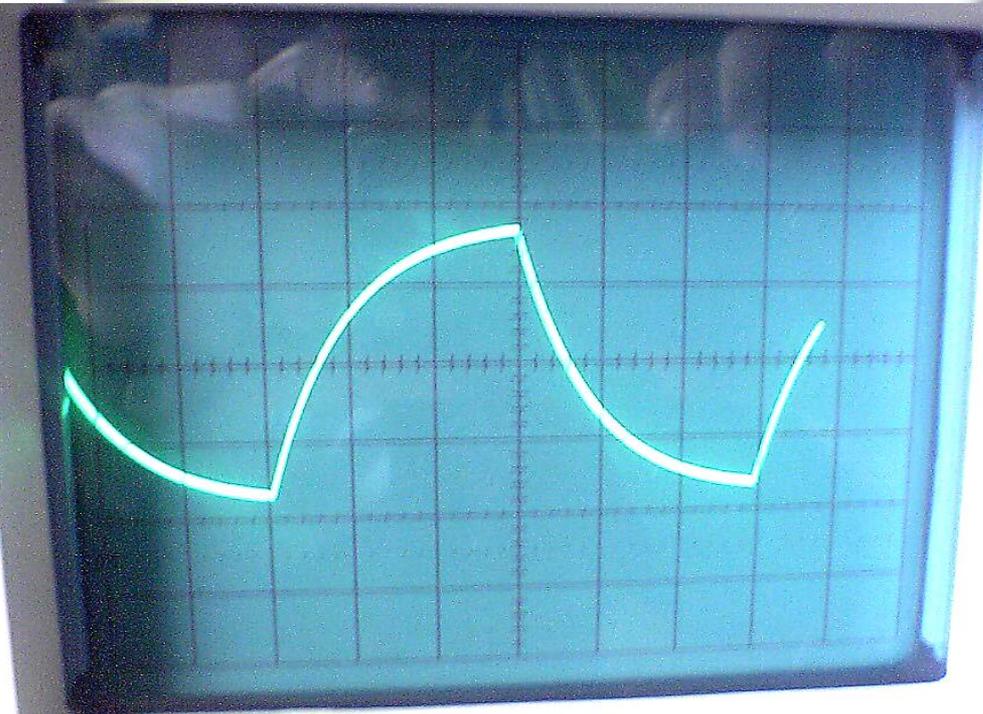
再度、発振器の周波数を遮断周波数にする。
振幅を 2cm、波長を 6cm に調整。

発振器の出力を、CR結合回路の両端につなぐ。
抵抗両端の電圧を、オシロスコープの CH1 につなぐ。



KENWOOD

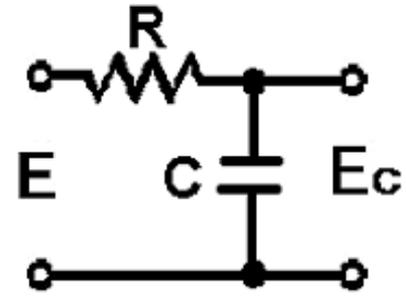
GENERAL PURPOSE OSCILLOSCOPE CS-4125A



表示される
コンデンサ電圧波形を
観察し、スケッチして、
理論式と比較する。

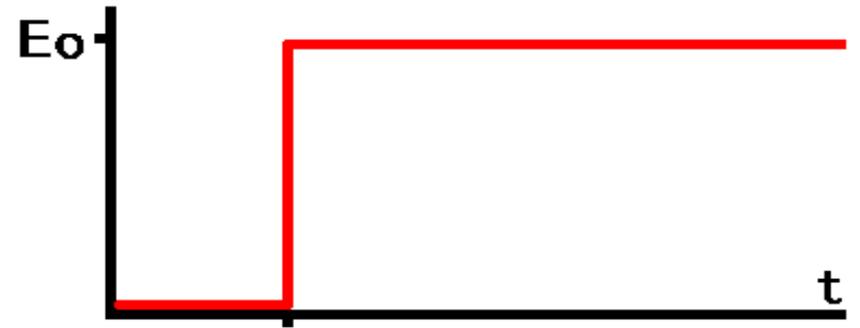
CR 結合回路のコンデンサ電圧 E_c

$$E_c = E - E e^{-\frac{t}{CR}} = E \left(1 - e^{-\frac{t}{CR}}\right) \quad \text{時定数 } \tau = CR$$

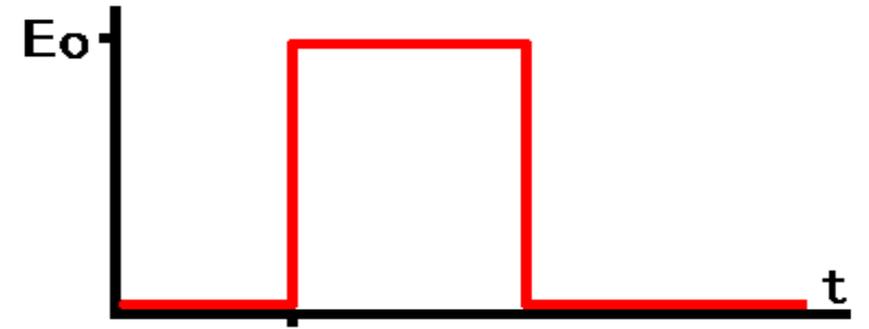


入力電圧が変動した τ 秒後の E_c は
変動電圧の 63% を示す。

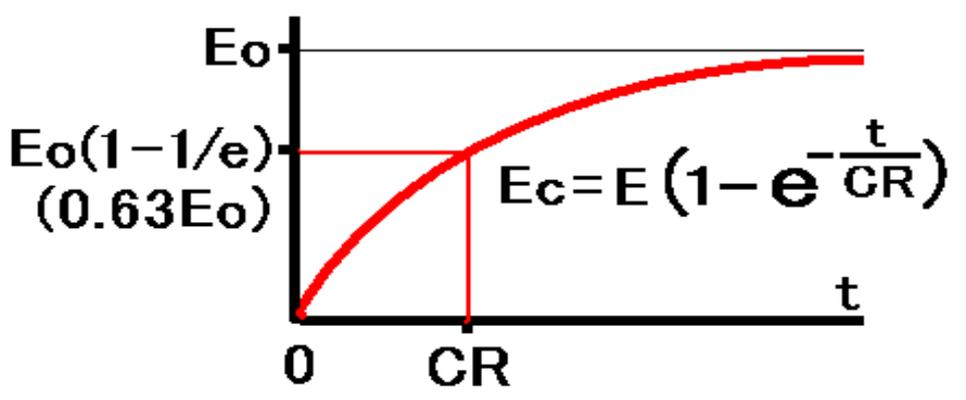
入力電圧 E



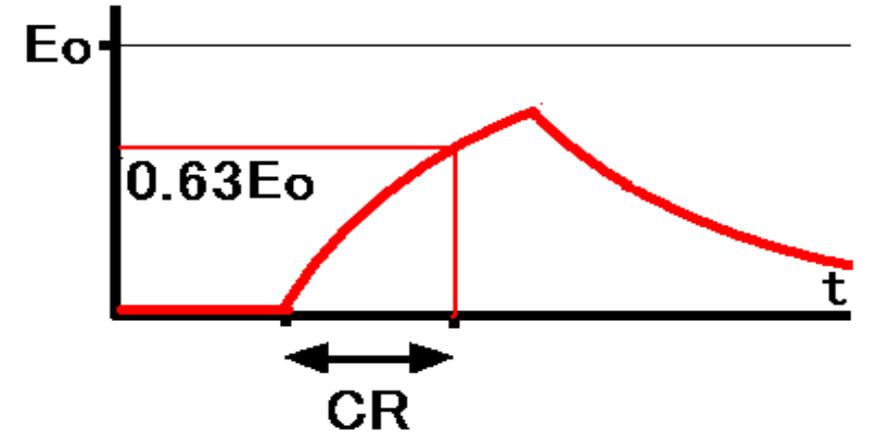
入力電圧 E



出力電圧 E_c



出力電圧 E_c



周波数を遮断周波数より低くすると、
電圧が変化すると、速やかに入力電圧に収束することを確認し、
スケッチする。

周波数を遮断周波数より高くすると、
電圧が緩やかに変化することを確認し、スケッチする。
(積分回路)

これらの結果を理論的に説明し、レポートして下さい。

