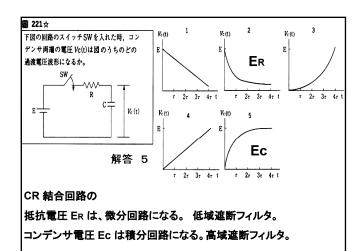
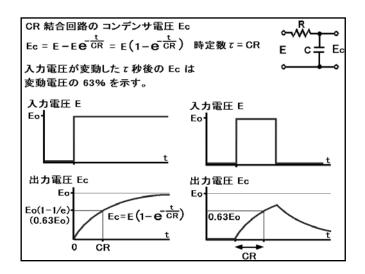
実験2

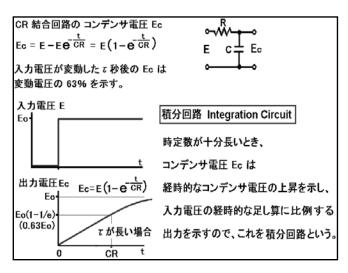
令和6年度は、スライドを見て 実験を疑似体験して下さい。

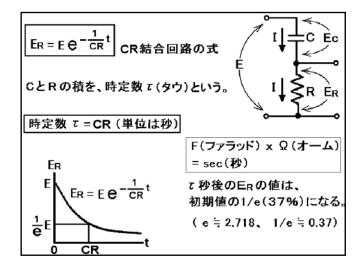
CR結合回路のはたらき (交流信号の周波数を変えたときの反応や、 パルス波に対する反応)

LC共振回路のはたらき (交流信号の共振周波数に対する反応) などの知識を、整理、復習して下さい。



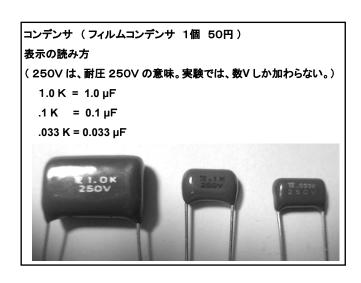


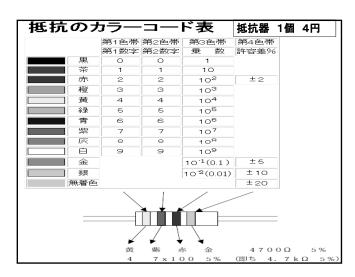




CR結合回路の実験

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。

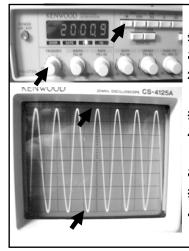




自分の選択した抵抗器の値を、カラーバーから読んで、 それを確認するために、テスタで測定してください。 測定プラグは、赤を1番右、黒を右から2番目のソケットに差し込む。 測定選択つまみを Ω にして、抵抗両端の抵抗値を測る。



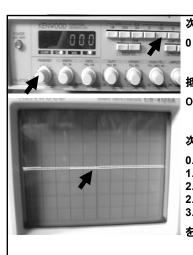
実験 1 CR結合回路の抵抗電圧 発振器の出力を、CR結合回路の両端につなぐ。 抵抗両端の電圧を、オシロスコープの CH1 につなぐ。



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。

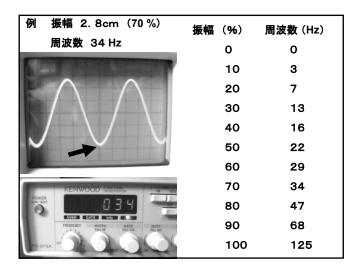


次に、発振器の周波数を、 0 Hz (直流)にする。

抵抗電圧の振幅がCRT上で Ocmになることを確認する。

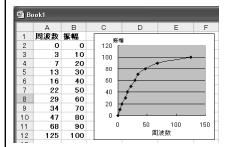
次第に周波数を上げ、振幅が

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%)

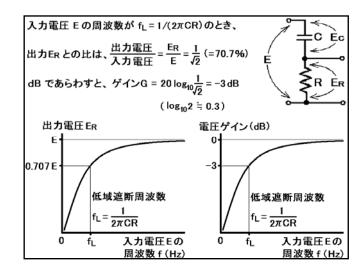


この結果を Excel で表にして下さい。

(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。



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。

CR結合回路の遮断周波数

 $f=1/(2 \pi \tau)$ 時定数 $\tau = CR$

C: ファラッド(F) R: オーム(Ω)

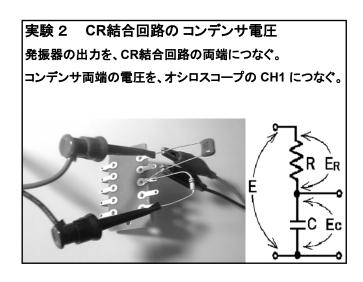
例: $C = 0.047 \mu$ F、 $R = 100 k \Omega$ $\tau = 0.0047$ sec

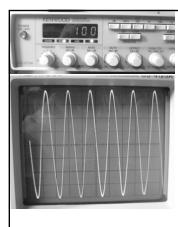
低域遮断周波数 f を求める。

(電圧振幅を1/√2=70.7%にする周波数)

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。





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Ocmになることを 確認する。

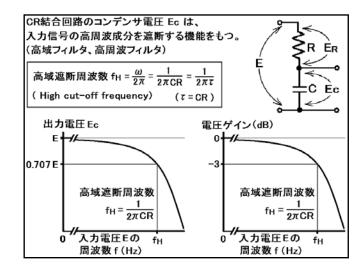
次第に周波数を下げ、振幅が

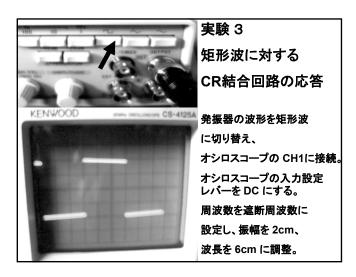
0.4cm (10%)、0.8cm (20%)、 1.2cm (30%)、1.6cm (40%)、 2.0cm (50%)、2.4cm (60%)、 2.8cm (70%)、3.2cm (80%)、 3.6cm (90%)、4.0cm (100%) を示す周波数を記録する。 実験 1 と同じく、結果を Excel で表にして下さい。

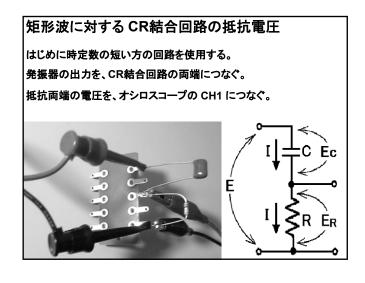
CR結合回路のコンデンサ電圧出力は、高周波を遮断することを確認し、理解して下さい。

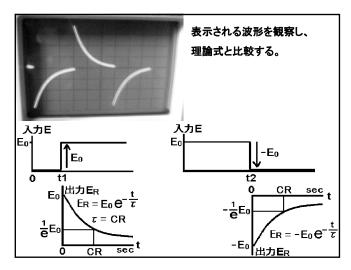
|高域遮断周波数 f を求める。 |(電圧振幅を 1 / √2 = 70.7% にする周波数)

実験結果をみて、適切な結果が得られたか確認する。

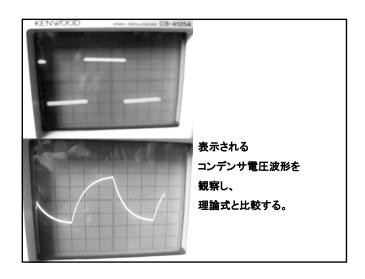


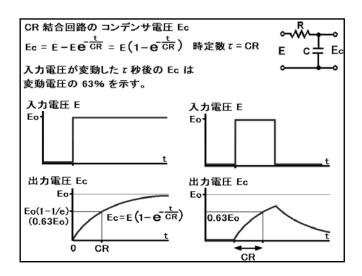


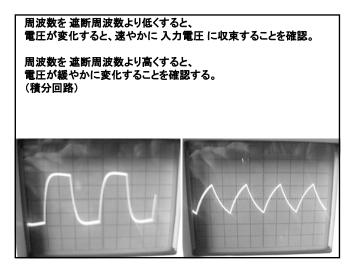


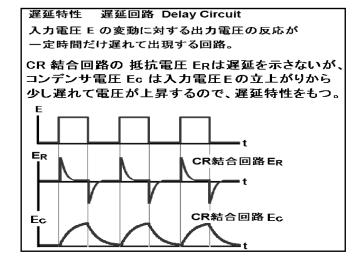


矩形波に対する CR結合回路のコンデンサ電圧 再度、短い時定数の回路を使用し、 発振器の周波数を遮断周波数にする。 振幅を 2cm、波長を 6cm に調整。 発振器の出力を、CR結合回路の両端につなぐ。 コンデンサ両端の電圧を、オシロスコープの CH1 につなぐ。









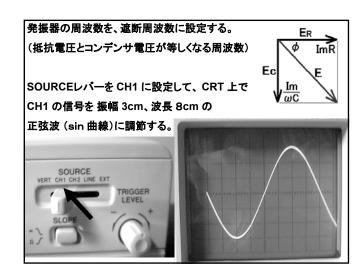
実験 4 抵抗電圧とコンデンサ電圧の位相差CR 結合回路の両端に発振器の出力電圧をつなぎ、オシロスコープのCH1に抵抗電圧をつなぎ、CH2にコンデンサ電圧をつなぐ。CH1、CH2のマイナス(黒)電極は、オシロスコープ内で電気的につながっているので、同じ部位をつなぐ。(黒電極は、抵抗とコンデンサが結合している部位に。)

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。 コンデンサ電圧信号の波形が反転表示されている。

これを解決するボタンがオシロスコープに用意され ている。 (CH2 INVERT ボタン;

CH2信号のプラスマイナスを反転させる)

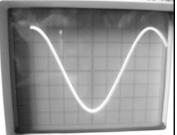




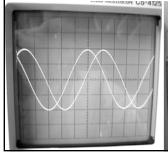
SOURCEレパーを CH2 にすると、CRT 上に CH2 の信号が表示される。振幅 3cm、波長 8cm の 余弦波の反転波形(-cos 曲線) が表示される。

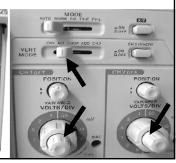
コンデンサ電圧は、抵抗電圧より、90°位相が遅れている(1/4波長遅い)ことが確認できる。





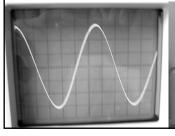
VERT MODE スイッチを、ALT または CHOP に切り替えると、CH1(抵抗電圧)と CH2(コンデンサ電圧)が、同時表示される。 遮断周波数に設定した状態で、CH1と CH2の波形の振幅が ともに2cmになるように、CH1とCH2の振幅を調整してください。 周波数を遮断周波数から少しずらすと振幅に差が生じることを確認して下さい。





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。

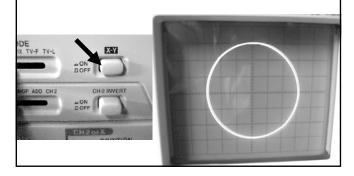
遮断周波数に設定した状態で、振幅がともに 2cm のCH1と CH2の和の信号の振幅が、4cmにならないことを確認して下さい。 理論上、2cm の√2 倍になることを理解して下さい。





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 リサージュ曲線が出る。 遮断周波数では、円が描画される。

(位置は、HORIZONTAL POSITION で調整して下さい。)



リサージュ図形(波形) Lissajous' curve

互いに直角方向に振動する二つの単振動(正弦波) を合成して得られる曲線図形。

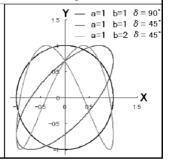
1855年にフランスの科学者J.A. Lissajousが考案。

x = sin (2πa t) y = sin (2πb t + δ)

a:X軸正弦波の周波数

b:Y軸正弦波の周波数

t:時間 δ:位相差



横軸 X が 余弦波 X = cos (2πft) = sin (2πft + 90°) 縦軸 Y が 正弦波 Y = sin (2πft)

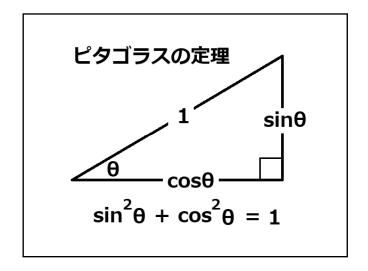
の リサージュ曲線 は、円 になる.

 ${\cos(2\pi ft)}^2 + {\sin(2\pi ft)}^2 = 1$ なので、 X² + Y² = 1 = 1²

点(X、Y)は、原点(0、0)から 常に距離 1 の 位置 に存在するので、半径 1 の 円 を描く.

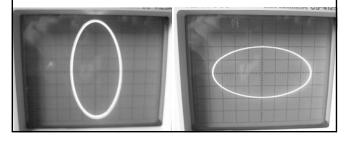
横軸 と 縦軸 の 正弦波 の 振幅 と 周波数 が 等しい場合は、 位相が 90° ずれると、リサージュ曲線は、円になる.

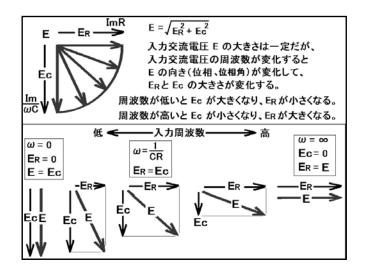
つまり、横軸と縦軸に波形データを入れて、オシロスコープで 円が描出されたら、波形の位相が90度ずれていると判断できる。

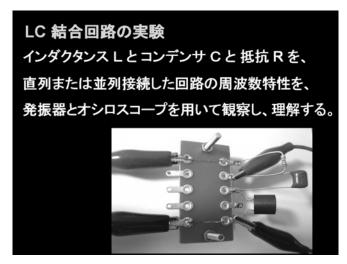


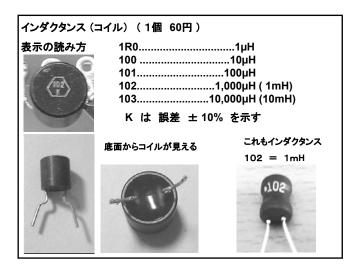
円が描画される理由は、

抵抗電圧が cos波とすれば、コンデンサ電圧は sin波になる。 (コンデンサ電圧が抵抗電圧よりも位相が90° 遅れる) X軸(CH1)に cos波、Y軸(CH2)に sin波を入力すれば、 リサージュ曲線は、円になる。 (cos² +sin² = 1 だからこれは 円) また、遮断周波数よりも周波数を上下させると、 リサージュ図形は楕円に変形する。

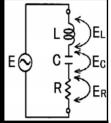








LCR 直列回路 (直列共振回路) インダクタンス(コイル)L(H)、 キャパシタンス(コンデンサ)C(F)、E 🌣 レジスタンス(抵抗) $R(\Omega)$ が



直列に接続された回路。

入力交流信号 (電圧 E) の周波数 を解析、弁別することができる。

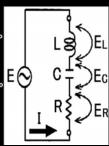
ラジオの周波数設定(選局、チューニング)、 周波数解析装置などに利用される回路。

入力交流信号 E (周波数 f, 角速度 ω = 2π f) が 加わると、 L、C、R の各素子は直列なので、等しい電流 I が 各素子に流れる($I=I_L=I_C=I_R$)が、 各素子に発生する電圧 $E_{L_x}E_{C_x}E_R$ は 位相が異なる。

E_Lの 大きさは IX_L=IωL 位相は電流よりπ/2(90°)進んでいる。

Ecの 大きさは IXc=I/ωC 位相は電流よりπ/2(90°)遅れている。<mark>Ε</mark>��

ERの 大きさは IR 位相は、電流と同じ。



コンデンサに交流電流が流れるときの現象

静電容量(キャパシタンス)が C (F) のコンデンサに、 交流電流Iが流れ込むと、コンデンサの電荷Qが増加する。 電流とは1秒あたりの電荷の移動量なので

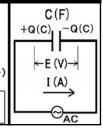
I = dQ / dt

コンデンサに発生する電圧 E(V)と電流 I(A)の関係は、

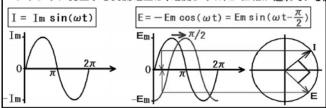
I=Imsin(ωt) とすると、

$$E = \frac{1}{C} \int I dt = \frac{Im}{C} \int sin(\omega t) dt$$
$$= -\frac{Im}{\omega C} cos(\omega t) = \frac{Im}{\omega C} sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

 $E = E_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$ $(E_m = \frac{Im}{\omega C})$



コンデンサに発生する交流電圧は、電流よりπ/2 位相が遅れている。



コンデンサに電流が流れ込んでから電圧が発生し、電流が流出した後 に電圧が減衰する。 風船に出し入れする空気量と圧力の関係と同じ。

オームの法則(電圧=電流 x 抵抗)と、 $Em = Im / \omega C$ から、 交流電流に対するコンデンサの抵抗(インピーダンス)XC は、 $XC=1/\omega C$ (単位 Ω)。 これを 容量リアクタンス という。 静電容量Cが大きいほど、XCは小さい。

(大きい風船ほど発生する圧力が小さい)reactance 【名】〔電気〕 誘導抵抗

インダクタンス(コイル)に交流電流が流れるときの現象

インダクタンス L(H)の コイルに(n回巻きの総和でLとする)。 交流電流 I (A)を流したとき、発生する電圧 E(V) は、

E = L dI/dt

I = Im sin (ωt)を代入すると、

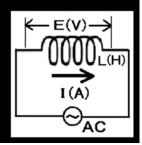
 $E = Im \omega L \cos(\omega t)$

= Im ω L sin (ω t + $\pi/2$)

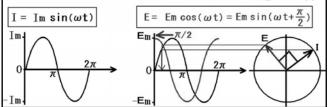
= $Em cos(\omega t)$

= Em sin (ω t + $\pi/2$)

(Em = Im ω L)

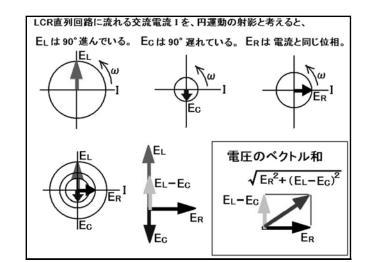


コイルに発生する交流電圧は、電流よりπ/2 位相が進んでいる。



コイルに電流が流れ始めると、それを阻止する方向に電圧が発生し、 電流の増加率が下がると、それを阻止する方向に逆電圧が発生する。 電磁誘導は、自然が変化を嫌うために生じる現象。

オームの法則(電圧=電流 x 抵抗)と、Em = ImωL から、 交流電流に対するコイルの抵抗(インピーダンス)XL は、 $XL = \omega L$ (単位 Ω)。 これを 誘導リアクタンス という。 巻き数が多い(誘導係数 L が大きい) ほど、XLは大きい。







 $E_R = IR$ $E_L = I \omega L$

Ec = I / ωC を代入すると

 $E = I \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$

LCR直列回路の インピーダンス Z は、 $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$

resonator【名】[電気]共振回路.

resonance【名】(電気)(波長の)同調,共振;

 ω L- $\frac{1}{\omega C}$ が 0 になる周波数で、回路のインピーダンスが 最小になる。

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$$
 $\omega^2 = \frac{1}{LC}$ $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ $f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

数種類の周波数の交流電気信号が入っているとき、

周波数 $f(=1/(2\pi\sqrt{LC}))$ の交流信号にのみ、インピーダンスが低い。 LCR直列回路は、特定の周波数 f の交流信号だけよく通す。

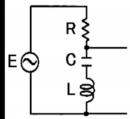
これを共振周波数という。(Resonant Frequency)

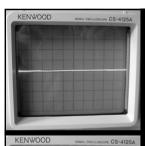
LC 直列共振回路

LCR直列回路の両端に、発振器信号を接続。

LC直列回路の両端を、オシロスコープに接続。 抵抗 R がないと、発振器信号が直接オシロスコープに 入力されてしまう。









発振器の周波数を、計算で求めた 共振周波数に設定する。

LC直列電圧が、0 になることを確認。

次に、共振周波数から周波数を上げる、 または 下げることによって、

振幅が最大になる周波数を見つけて 振幅を4cmに設定する。

装置の性能上、極端に低い周波数、 高い周波数では 振幅が下がるので 注意してください。

発振器の周波数を、再度、共振周波数に設定する。 振幅が 0cm になることを確認する。

次第に周波数を下げ、振幅が

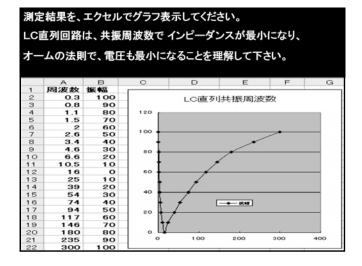
0.4cm (10%), 0.8cm (20%), 1.2cm (30%), 1.6cm (40%), 2.0cm (50%), 2.4cm (60%), 2.8cm (70%), 3.2cm (80%), 3.6cm (90%), 4.0cm (100%)

を示す周波数を記録する。

また共振周波数に戻してから、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。



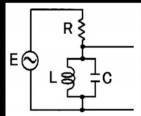
LC 並列共振回路 実験 2

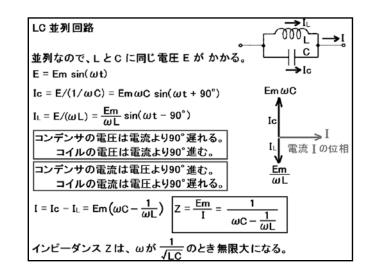
インダクタンス とコンデンサ を並列に接続する。

LCR回路の両端に、発振器信号を接続。

LC並列回路の両端を、オシロスコープに接続。 抵抗 R がないと、発振器信号が直接オシロスコープに 入力されてしまう。







コイルは交流電流が大嫌い と覚えれば簡単。

コイルに交流電流が入り始めると、 それを阻止する電圧が、電流より 90度はやく生じて止めようとする。

コイルの電圧は電流より90°進んでいる。 コンデンサは、その逆である。



発振器の周波数を、再度、共振周波数に設定する。 振幅が 4cm になることを確認する。

次第に周波数を下げ、振幅が

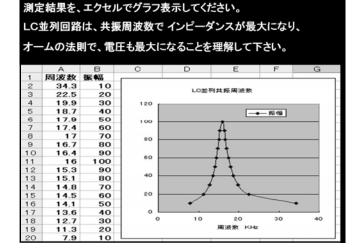
3.6cm (90%), 3.2cm (80%), 2.8cm (70%), 2.4cm (60%), 2.0cm (50%), 1.6cm (40%), 1.2cm (30%), 0.8cm (20%), 0.4cm (10%)

を示す周波数を記録する。

また共振周波数に戻してから、周波数を上げ、振幅が

3.6cm (90%), 3.2cm (80%), 2.8cm (70%), 2.4cm (60%), 2.0cm (50%), 1.6cm (40%), 1.2cm (30%), 0.8cm (20%), 0.4cm (10%)

を示す周波数を記録する。



ゲルマラジオ

最も基本的なAMラジオの回路。

数十メートルの電線で、アンテナを張る。 様々な周波数の電磁波がアンテナを 伝って LC並列回路に入る。

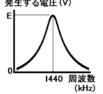
可変コンデンサを調節して、共振周波数が 1440kHzになればSTVラジオから発信された 電磁波に比例した電圧が発生する。

LC並列回路の共振周波数に一致する電磁波ではインピーダンスが最大になるので、その周波数に信号があれば オームの法則で、 受信信号に比例する電圧を効率よく発生する。

(理論式では共振周波数でインピーダンスは 無限大になるが、実際にはコイルなどに電気 抵抗があるので、抵抗を含む回路になり、 最大インピーダンスは有限の値になる。)

アンテナ ゲルマニウム ダイオード グリスタル イヤホン

> LC並列回路に 発生する電圧(V)



並列回路で接続された部品は、同じ電圧がかかり、 入力交流電圧を Em sin(ωt) として計算します。

直列回路で接続された部品は、同じ電流がかかり、 入力交流電流を Im sin(ωt) として計算します。

LC並列回路の解析では、電圧が基準になります。

(キルヒホッフの法則で、コンデンサとコイルにかかる電圧は等しい。) コイルに発生する交流電流は、入力交流電圧に対して90度遅れます。 つまりベクトル図では、下向きのベクトルになります。

ベクトル図は左回りに回転していると理解してください。

(位相が90度進むと上向き、90度遅れると下向きになる。)

インピーダンスとは、単純に、電気抵抗ですが、

交流電圧や交流電流に対する電気抵抗が少し面倒なことになります。 抵抗器では交流電圧と交流電流との位相がずれないのに対し、

コンデンサやコイルでは交流電圧と交流電流との位相がずれることを 理解すれば、ベクトルでインピーダンスを計算する理由が わかると 思います。 コンセントに送られる交流電源が、

発電所の発電機(コイルが磁石の中で回転して 交流電圧を発生している)から供給されていることを 理解すれば、交流電源は回転から発生していることを 理解できると思います。

それがわかればベクトル図が何を表現しているか分かると思います。

LC回路の解析で、ピタゴラスの定理が不要なのは、

抵抗器が入っていないので、入力電圧または入力電流に対して 90度進んだ電流または電圧と、90度遅れた電流または電圧との ベクトル計算になるので、一直線上の計算、

つまり単なるスカラ一計算で解析が可能になります。

回路内に抵抗器がある場合は、

交流電圧に対する抵抗器の電流の位相は変化しないので、 抵抗電圧や抵抗電流は、横向きのベクトルになります。 (位相変化ゼロの向きを右向きベクトルとするのが普通の表示法)

これにコンデンサやコイルが加わると上向き、下向きのベクトルが 現れるので、ピタゴラスの定理で合成ベクトルの長さを算出します。