### LC 並列回路

並列なので、LとCに同じ電圧Eが かかる。

$$E = Em sin(\omega t)$$

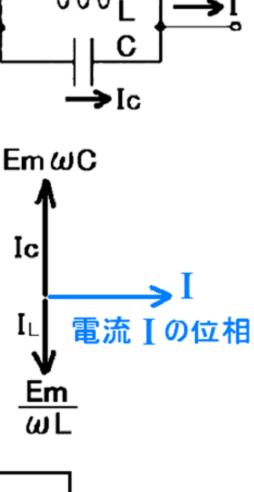
Ic = E/(1/
$$\omega$$
C) = Em $\omega$ C sin( $\omega$ t + 90°)

$$I_L = E/(\omega L) = \frac{Em}{\omega L} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

コイルの電流は電圧より90°遅れる。
$$I = Ic - I_L = Em(\omega C - \frac{1}{\omega L})$$

$$Z = \frac{Em}{I} = \frac{1}{\omega C - \frac{1}{\omega L}}$$

インピーダンス Z は、 $\omega$  が  $\frac{1}{\sqrt{\Gamma C}}$  のとき 無限大になる。



- 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。

Emは、回路に入力される電源の電圧です。 Emのmは、max を意味します。交流電源なので電圧が変動するので その最大電圧が Em です。交流電源の周波数は f で、  $\omega$ は、その角速度です。  $\omega$  = 2 $\pi$ f の関係性(公式)があります。

コンデンサのインピーダンス(抵抗値)は 1/(ωC)で、 コイルのインピーダンス(抵抗値)は ωLです。

L,C,Rのベクトルの長さは、この抵抗値とオームの法則から算出します。 インピーダンスを求めるベクトル計算は、わかればとても簡単です。

コンデンサCの、電圧ベクトルは下向き、電流ベクトルは上向き、 コイルLの、電圧ベクトルは上向き、電流ベクトルは下向き、 抵抗Rの電圧ベクトルは電流ベクトルとおなじで右向きです。

直列回路では電圧のベクトルを使い、 並列回路では電流のベクトルを使います。 これらC,L,Rのベクトル和を幾何学的に求めるだけです。 とても単純で簡単なことです。 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。

- 並列回路の解析なので、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。

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ー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、

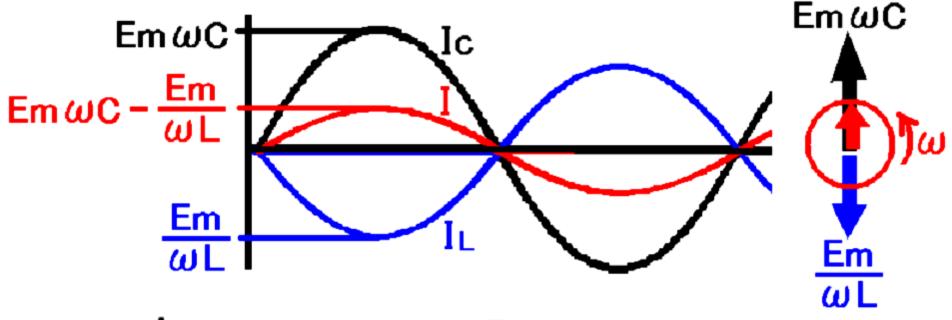
交流電圧に対する抵抗器の電流の位相は変化しないので、

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。

### LC 並列回路



$$\omega$$
 が  $\frac{1}{\sqrt{IC}}$  のとき Em $\omega$ C  $-\frac{Em}{\omega L} = 0$  出力電流 I は O

【は、【c と【」が同時に存在する場合と同じ電流信号。 これを 同相信号 という。(同じ位相の信号)

合成ベクトルの大きさは、絶対値のみに意味があるので、

計算で負になる場合は絶対値をとり、位相角を逆向きにする。

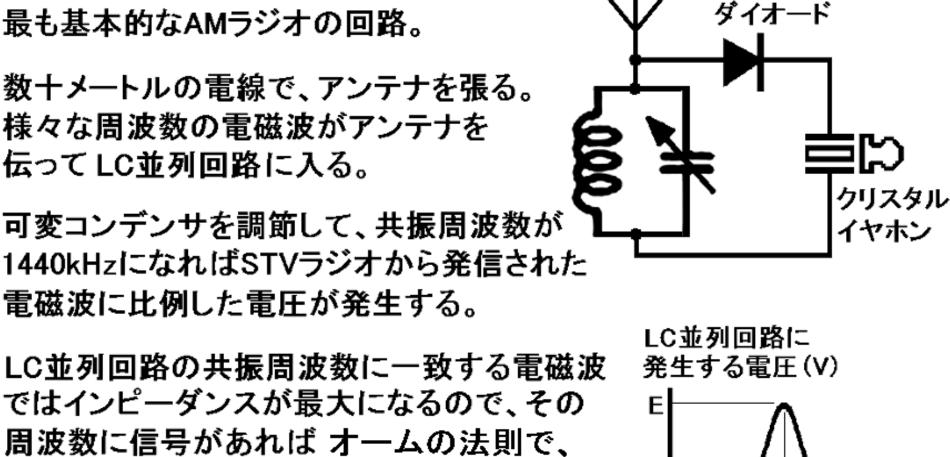
ゲルマラジオ 最も基本的なAMラジオの回路。

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。

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

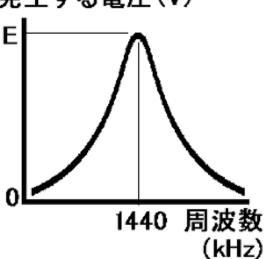
ではインピーダンスが最大になるので、その 周波数に信号があれば オームの法則で、 受信信号に比例する電圧を効率よく発生する。

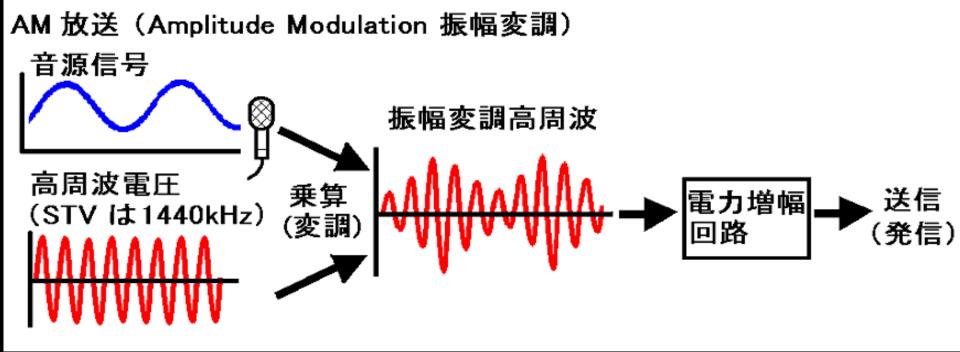
(理論式では共振周波数でインピーダンスは 無限大になるが、実際にはコイルなどに電気 抵抗があるので、抵抗を含む回路になり、 最大インピーダンスは有限の値になる。)

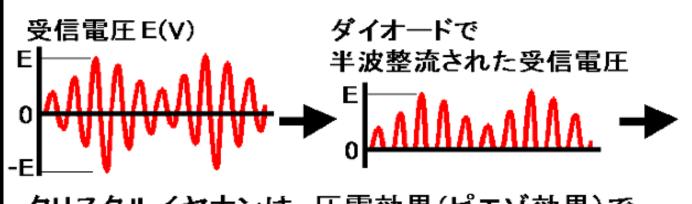


ゲルマニウム

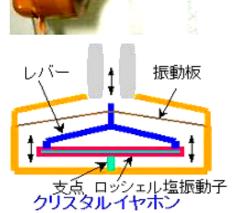
アンテナ



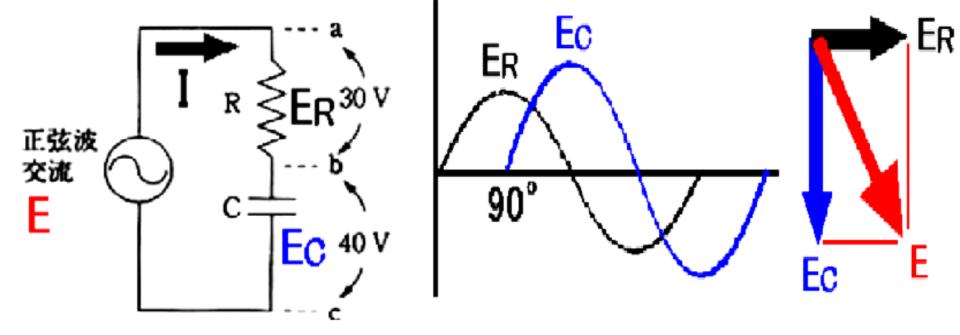




クリスタルイヤホンは、圧電効果(ピエゾ効果)で入力電圧の変動に合わせて振動する振動板で音を出す。高周波は人の耳には聞こえないので、音源信号だけ聞こえる。



図の回路でa-c間は何Vか。



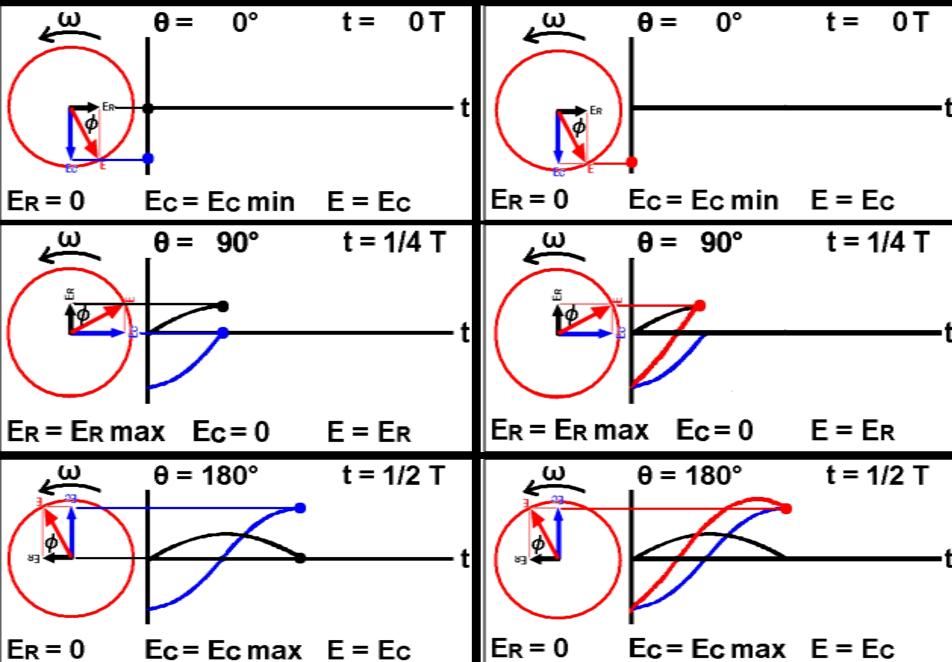
抵抗 R と コンデンサ C は 直列接続なので R と C に流れる電流 I は等しい。 ERと I の位相は同じ。

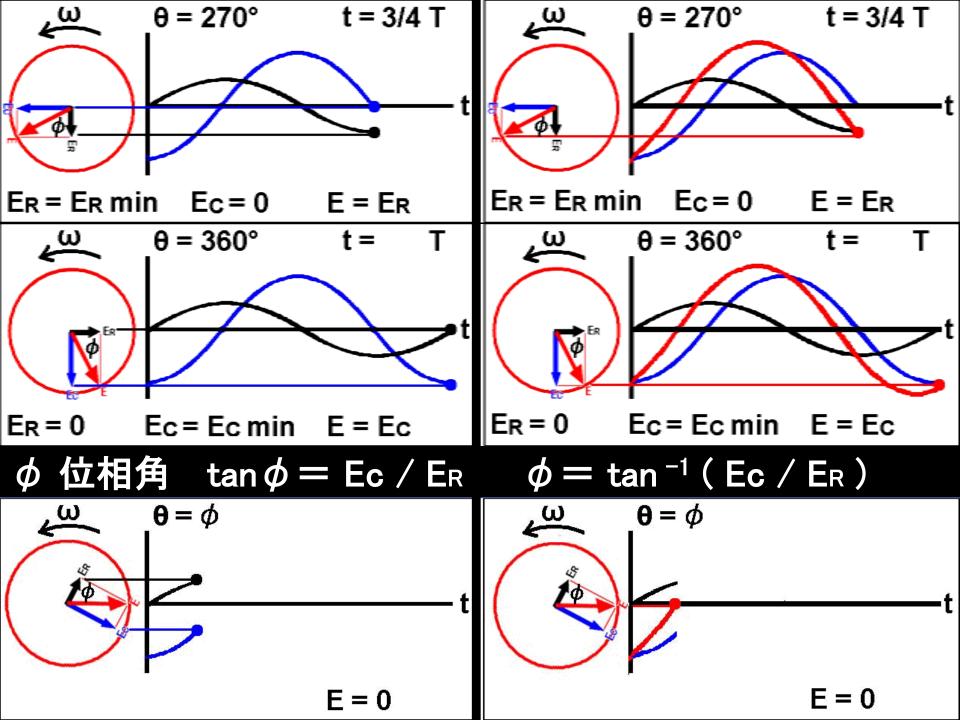
コンデンサの電圧は電流より90°遅れる

Ec の位相は I から90°遅れている。

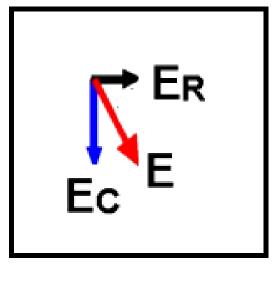
$$E = \sqrt{ER^2 + Ec^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50 \text{ (V)}$$

# 

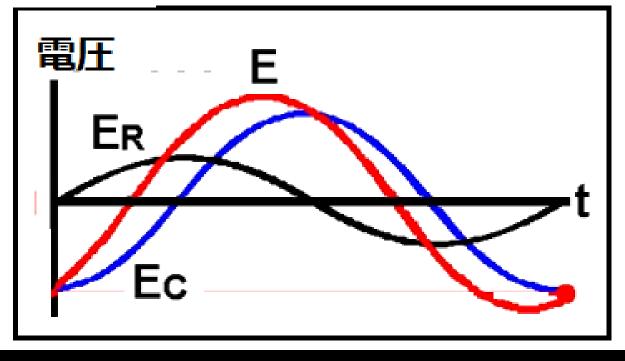




# 図A







図Aのベクトル図は、図Bの3本の交流曲線の図と同じことを示している、ということを理解して下さい。

図Bに示す3本の交流曲線を描くのは面倒なので、 図Aのベクトル図で代用していることを理解して下さい。 図Aのベクトル図が左回りに回転して交流を表現している。 RLC 直列回路のインピーダンス[Ω]は。

ただし、抵抗器の抵抗値は4Ω、

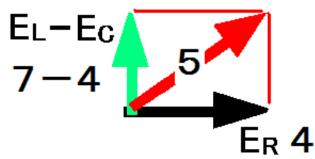
誘導性リアクタンスは7Ω、

容量性リアクタンスは4Ωとする。

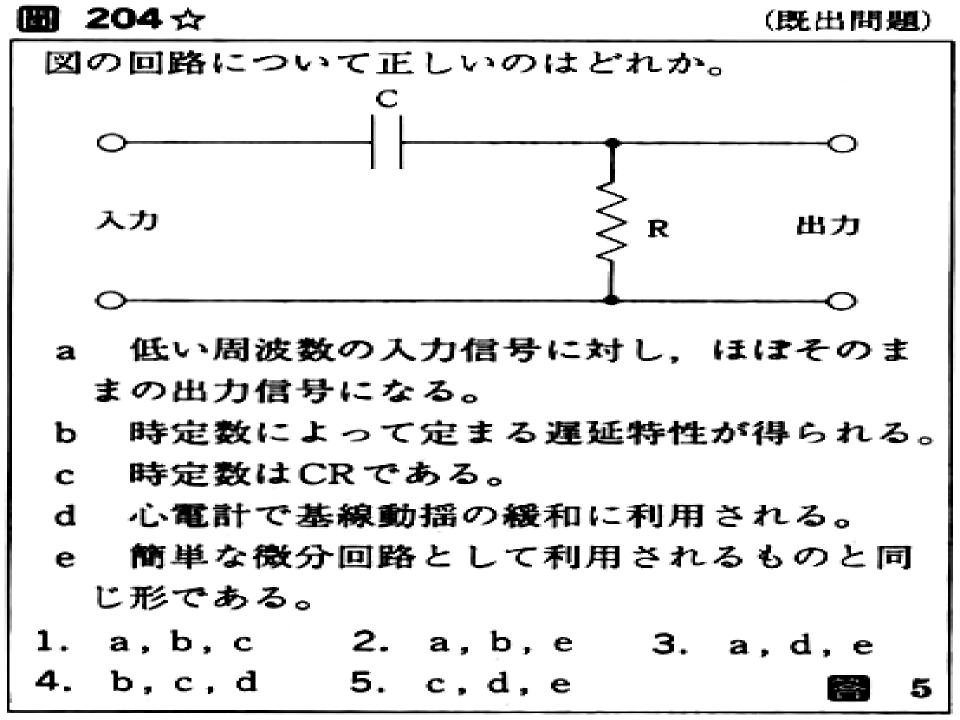
1. 2 3. 7 5. 15

2. 5 4. 11

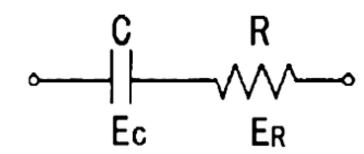
 $\sqrt{\mathsf{E_R}^2 + (\mathsf{E_L} - \mathsf{E_C})^2}$ 



電圧のベクトル和



### CR 直列回路 (CR 結合回路)



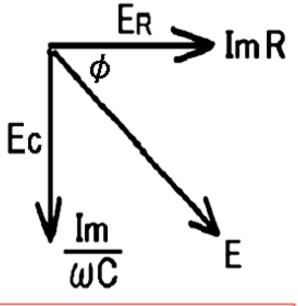
直列なので、CとRに同じ電流Iが流れる。

$$I = Im sin(\omega t)$$

$$E_R = Im R sin(\omega t)$$

$$E_{\rm C} = \frac{I_{\rm m}}{\omega C} \sin(\omega t - 90^{\circ})$$

$$E = Im \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$



コンデンサの電圧の位相は、 電流より90°遅れる。

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\mu C}\right)^2}$$
 インピーダンス Z は、ωと反比例する。

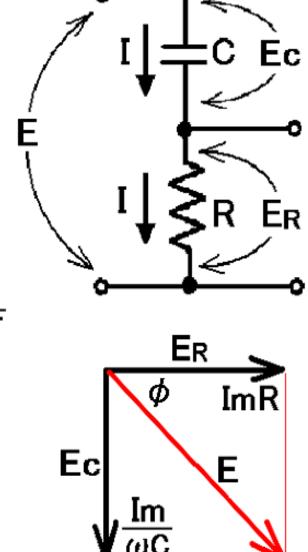
CR 結合回路に交流電圧 E を入力したときの 出力電圧 ER を求める。

抵抗 R に流れる電流 I は、 I = E / Z

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad \text{を代入して} \quad I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

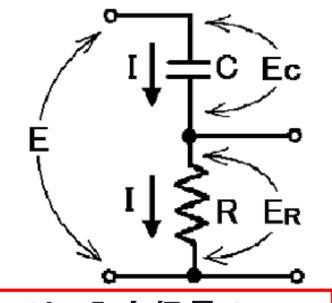
出力電圧 ER は、

$$E_R = I R = \frac{ER}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{E}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega CR}\right)^2}}$$



 $Ec \, ER \, が、同じ値になる 入力電圧の周波数では、$  $出力電圧 <math>ER \, は、入力電圧 E \, の 1/\sqrt{2} \, 倍になる。$  入力E の 周波数が f = 0 (直流)のときは、 コンデンサ C に電流が通らないので 出力電圧 ER は 0。

入力 E の 周波数が極めて高いときは、 コンデンサ C のインピーダンスは、ほとんど 0 なので、出力電圧 ERは 入力と同じになる。



したがって、CR結合回路の抵抗の電圧 ER は、入力信号の 低周波成分を 遮断する機能をもつ。(低域フィルタ、低周波フィルタ)

ある周波数から急に通り難くなる周波数を、遮断周波数という。

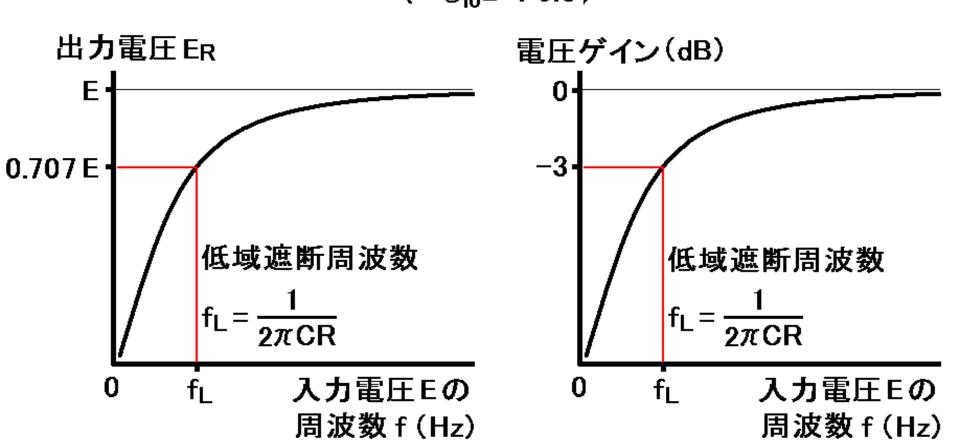
EcとERが同じ大きさになって、出力ERが入力の1/√2 倍になる周波数 flを、

CR結合回路の低域遮断周波数(Low cut-off frequency)という。

ER = ImR、Ec = 
$$\frac{\text{Im}}{\omega \text{C}}$$
 なので、Ec = ER となるときは、 $\omega = \frac{1}{\text{CR}} = \frac{1}{\tau}$ 

低域遮断周波数 
$$f_L = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi CR} = \frac{1}{2\pi T}$$

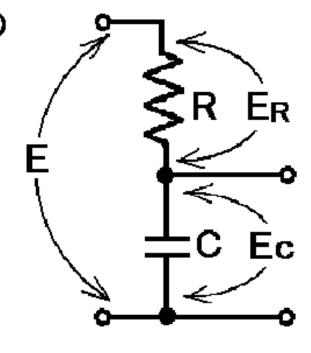
入力電圧 E の周波数が  $f_L = 1/(2\pi CR)$  のとき、 出力ER との比は、 $\frac{出力電圧}{入力電圧} = \frac{ER}{E} = \frac{1}{\sqrt{2}} (=70.7\%)$  dB であらわすと、ゲイン $G = 20 \log_{10} \frac{1}{\sqrt{2}} = -3 \, dB$   $(\log_{10} 2 = 0.3)$ 



CR 結合回路に交流電圧 E を入力したときのコンデンサの出力電圧 Ec を求める。

入力信号 E が直流 (f = 0) のときは、 コンデンサに電流が流れないので 出力電圧 Ec は E と等しい。

入力信号 E の周波数が高いときは、 コンデンサのインピーダンスが低いので 出力電圧 Ec は小さい。



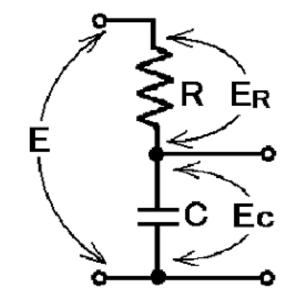
CR結合回路のコンデンサ電圧 Ec は、 入力信号の高周波成分を遮断する機能をもつ。 (高域フィルタ、高周波フィルタ)

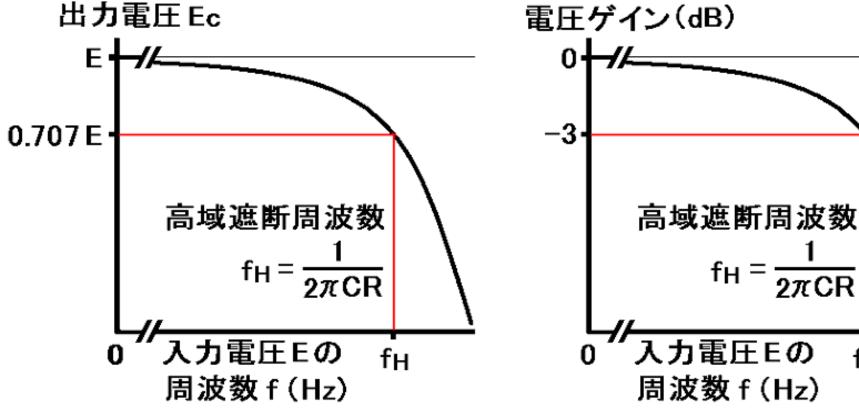
高域遮断周波数 
$$f_H = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi CR} = \frac{1}{2\pi T}$$
  
( High cut-off frequency)

CR結合回路のコンデンサ電圧 Ec は、

入力信号の高周波成分を遮断する機能をもつ。 (京様フィルタ、京田波フィルタ)

高域遮断周波数 
$$f_H = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi CR} = \frac{1}{2\pi T}$$
  
( High cut-off frequency)  $(\tau = CR)$ 





心電計や脳波計に時定数回路が用いられる主 な理由はどれか。

- 交流障害(ハム)を軽減させるため
- 弁別比を向上させるため
- 患者が電撃を受けないようにするため
- 一定間隔の刻時パルスを発生させるため
- 5. 基線動揺を軽減させるため



CR結合回路の時定数( $\tau$  time constant)  $\tau$ (sec)=C(F) x R( $\Omega$ )

遮断周波数(Hz) =  $1/(2\pi CR)$ 

(抵抗電圧では、低周波遮断周波数)

(コンデンサ電圧では、高周波遮断周波数)

一般的に、抵抗電圧を使って

低周波遮断フィルタ(=微分回路)として

利用する場合が多い(時定数回路)。

(測定したい波形よりも緩やかな波形(ドリフト)を除去する)

心電計や脳波計に CR結合回路が利用されている。

心電計の時定数は3秒(教科書的には3.2秒以上) 遮断周波数= $1/(2\pi \times 3) = 0.053 \text{ Hz}$ 

0.053 とは約 1/20 = 3/60 (60秒間で3回の振動) 1分に3回以下の振動しか示さない緩い波は、 心臓からの信号ではなく、呼吸等によるドリフト雑音 なので、CR結合回路(時定数回路)で除去する。

## 脳波計の時定数は、O.3秒 遮断周波数= $1/(2\pi \times O.3) = O.53$ Hz

0.5 とは 1/2 = 30/60。1分間に30回以下しか振動しない緩い波は、脳波ではないので除去する。

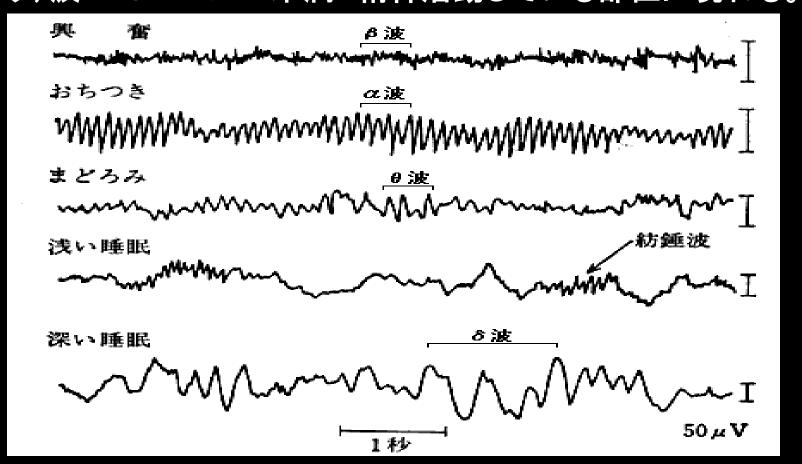
#### 脳波の種類

δ(デルタ)波 0.5~4Hz 未満 ぐっすり寝ている時に現れる。

θ(シータ)波 4~8Hz 未満 とろとろと眠くなって来た時に現れる。

 $\alpha(アルファ)波 8~13Hz 未満 脳の休めている部位に現れる。$ 

β(ベータ)波 13~40Hz 未満 精神活動している部位に現れる。



脳波周期が θ 波であるのはどれか。

1秒間 は 1000 ms

50 ms

= 1秒間で 50ms は20回 = 20 Hz ß波

**2** . 120 ms

|= 1秒間で 120ms は約8回= 約 8 Hz  $\alpha$ 波

= 1秒間で 240ms は約4回= 約 4 Hz θ波 **3** . 240 ms

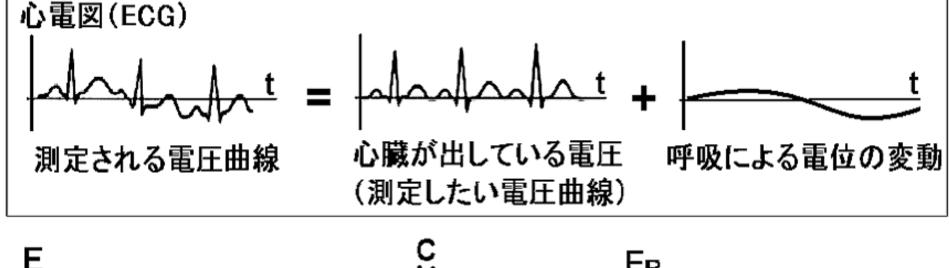
|= 1秒間で 550ms は約2回= 約 2 Hz る 波 **4**. 550 ms

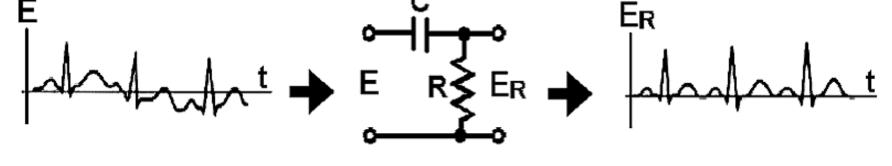
5. 730 ms = 1秒間で 730ms は約1.3回=約 1.3Hz δ波

脳波の周波数

デルタ波 熟睡状態 δ 約 2 Hz 軽眠状態 約 5 Hz シータ波  $\theta$ 安静状態 約 10 Hz アルファ波  $\alpha$ 活発状態 ベータ波 B 約 20 Hz

昏睡、爆睡状態でも 0.5Hz(2秒で1回振動)以下の脳波は無い。 O.5Hz 以下の交流信号は、CR結合回路で脳波信号から除去する。





心電図などでは、呼吸による電位変動が低周波雑音として加わっているので、

(心臓と電極との距離が呼吸で変動するため) 測定値そのままでは、基線動揺(基線変動)が認められる。

このような低周波ノイズを、<mark>ドリフト雑音</mark>という。

適切な時定数のCR結合回路を入れて 抵抗電圧を取り出すと、

低周波成分が遮断されて、基線が平坦化する。

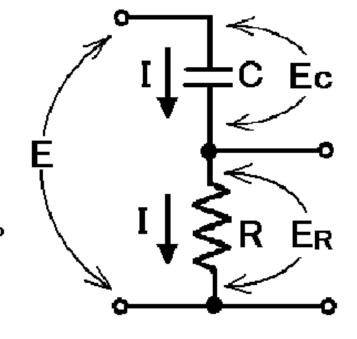
drift 【名】 漂うこと、吹き流されること、あてもなくあちこち動くこと、 いつの間にか流されること、成り行き。

ドリフト雑音 Drift noise 低域遮断フィルタで除去できる。

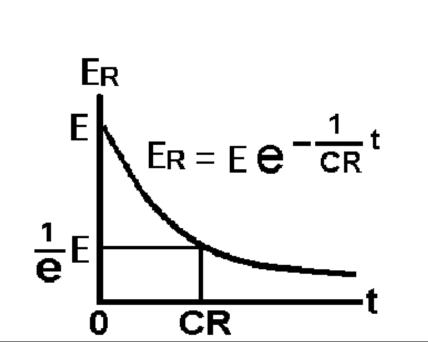
センサの電極端子と、測定対象臓器との間の距離やインピーダンスが、呼吸などの緩やかな動きで変動することに伴う低周波ノイズ。 基線の変動、動揺を生じる。

その他、測定装置を長時間使っていると、 装置の温度上昇によって、回路で使われている電子素子の 電気特性が微妙に変化して、測定結果に少しずつ変動や 誤差が加わっていくこと。

CとRの積を、時定数 τ (タウ)という。



時定数 τ = CR (単位は秒)

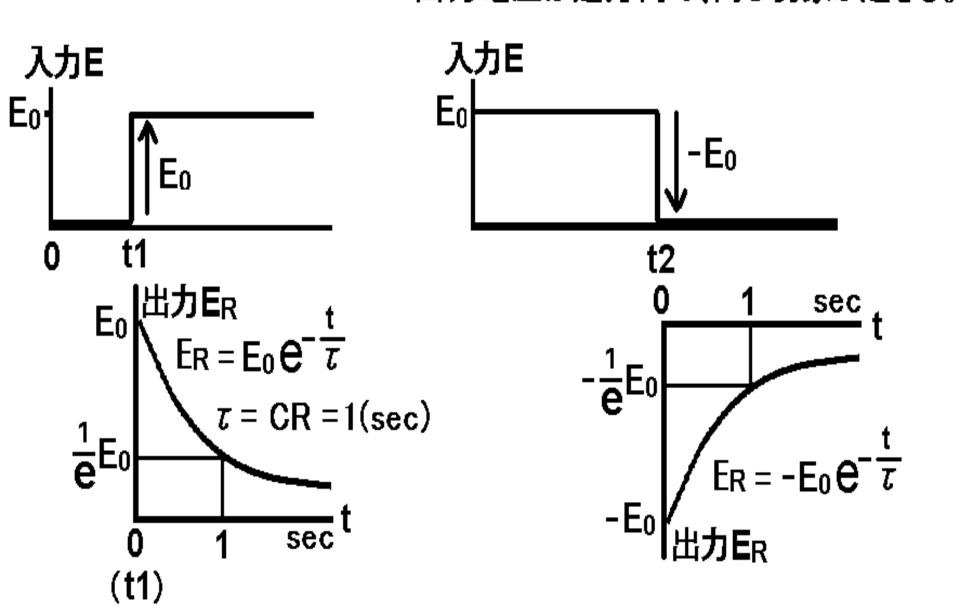


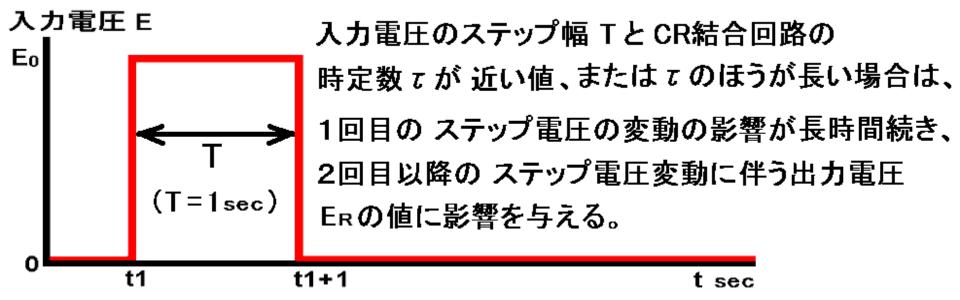
τ 秒後のE<sub>R</sub>の値は、 初期値の1/e(37%)になる。 ( e ≒ 2.718、 1/e ≒ 0.37) 右図の CR結合回路の時定数  $\tau$  は、  $\tau = CR = 1(\mu F) \times 1(M \Omega)$   $= 1 \times 10^{-6} (F) \times 1 \times 10^{6} (\Omega) = 1 (sec)$ 時間 t1 で、入力電圧が 0 から Eo に上がると、フェップ電圧 (短形波

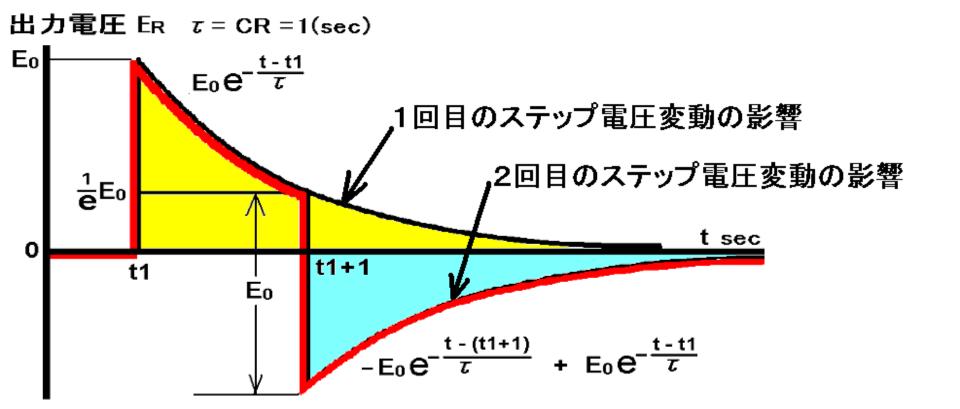
時間 t1 で、入力電圧が 0 から Eo に上がると、ステップ電圧(矩形波) 急激な電流の変化で、時間 t1 の一瞬だけ E (方形波) コンデンサの電気抵抗(容量リアクタンス)は Eo (方形波) 0 になる。 (電圧が加わる直前まで、コンデンサには電荷が 0 t1 t 0なので容易に電流が流れ込む。) (極めて周波数の高い交流が一瞬流れるのと同様な現象。)

時間 t1 での出力電圧は、コンデンサの抵抗が0なので入力電圧と同じ。 時間 t1 から継続的にコンデンサに電荷が蓄積されていくので、 次第に抵抗に流れる電流が減少し、オームの法則で、出力電圧も減少。 このときの出力電圧の減衰曲線が、時定数1秒の指数曲線になる。 電圧の急激な上昇E<sub>0</sub>

電圧の急激な減少-Eo が生じると 出力電圧は逆方向で、同じ現象が起きる。

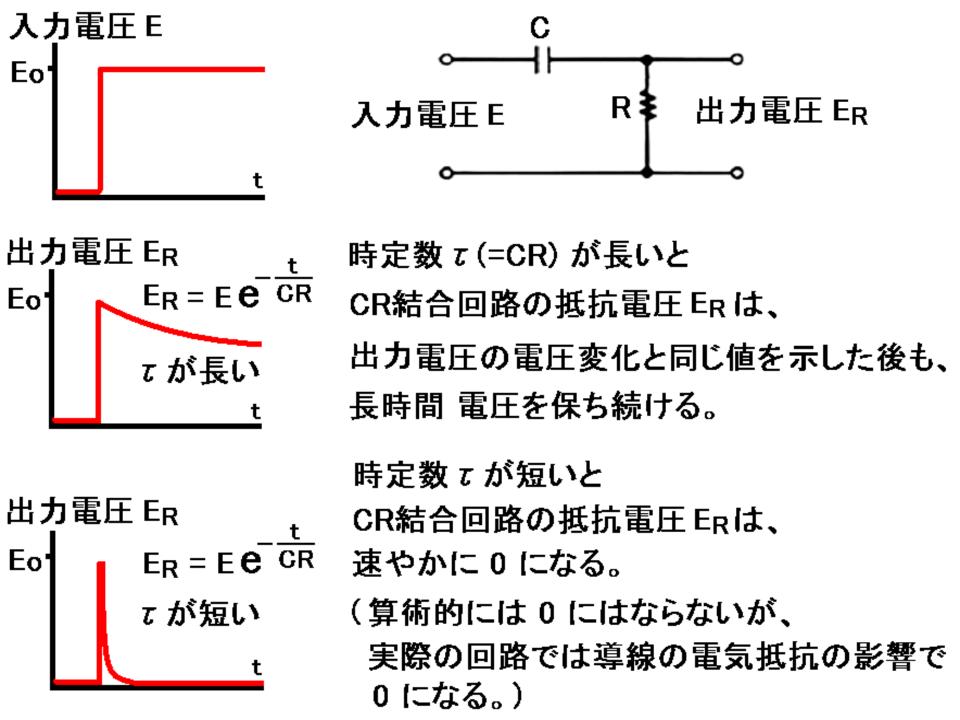






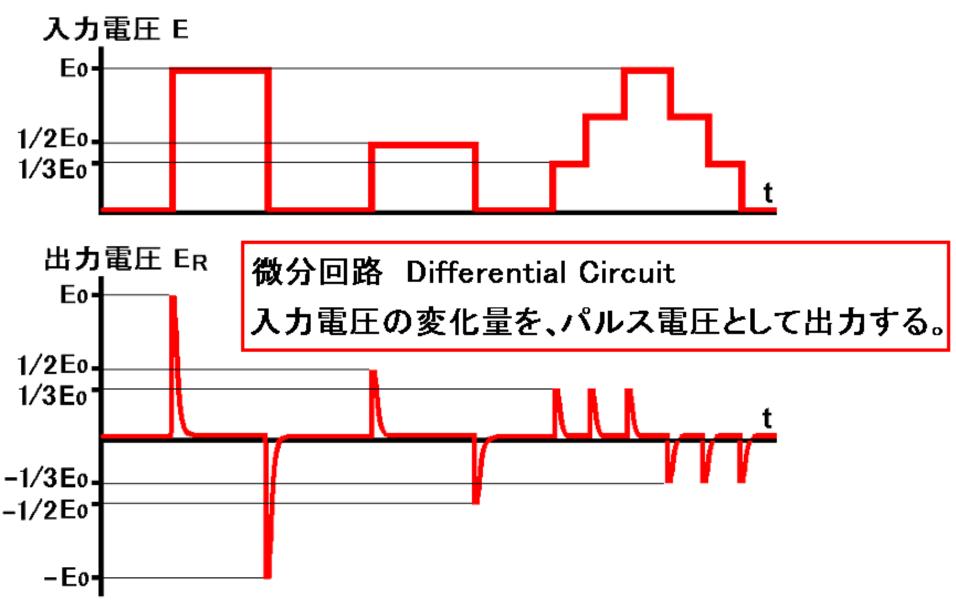
時定数がとても短い場合はどうなるか。 1 μ F 右図の CR結合回路の時定数 t は、 出力 1kΩ  $\tau = CR = 1(\mu F) \times 1(k\Omega)$  $\mathsf{E}_\mathsf{R}$ =  $1 \times 10^{-6}$  (F) x 1x  $10^{3}$  ( $\Omega$ ) = 1x $10^{-3}$  (sec) ステップ電圧 入力E ステップ電圧 入力E  $E_0$ E<sub>0</sub> 出力ER 出力ER パルス電圧  $E_0$  $\tau = 1 \times 10^{-3} (sec)$  $\tau = 1 \times 10^{-3} (sec)$ -E<sub>0</sub>· パルス電圧 時定数が非常に短い場合は、ステップ電圧に対して

ERは、瞬間の電圧変化量を示すパルス電圧を出力する。



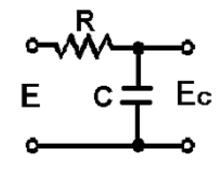
入力電圧 E の変動する時間に比べて、時定数が十分短い CR結合回路の 抵抗電圧 ERは、入力電圧が変化した瞬間の変動値を出力する。

これは算術的に入力信号を微分しているのと同じなので、微分回路という。

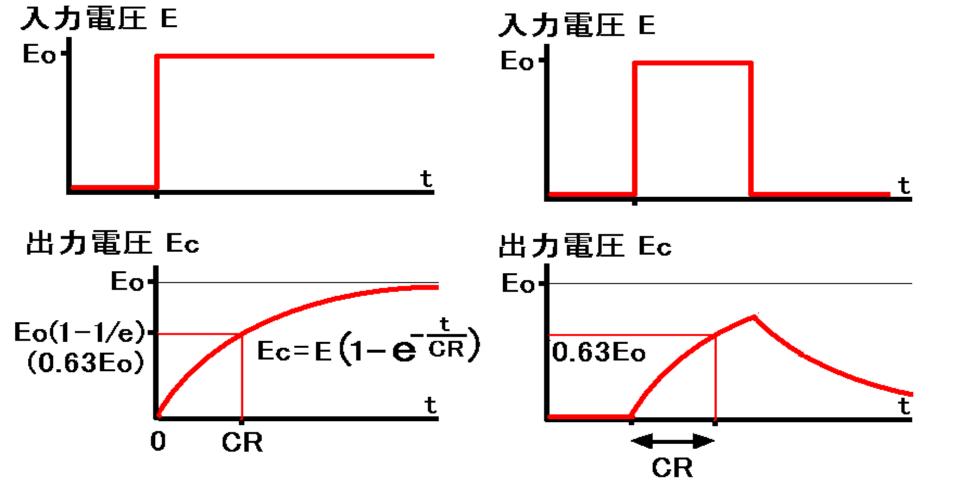


CR 結合回路の コンデンサ電圧 Ec

$$E_{c} = E - E e^{-\frac{t}{CR}} = E(1 - e^{-\frac{t}{CR}})$$
 時定数  $\tau = CR$ 



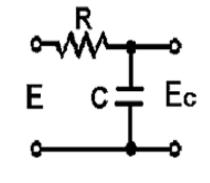
入力電圧が変動した τ 秒後の Ec は 変動電圧の 63% を示す。

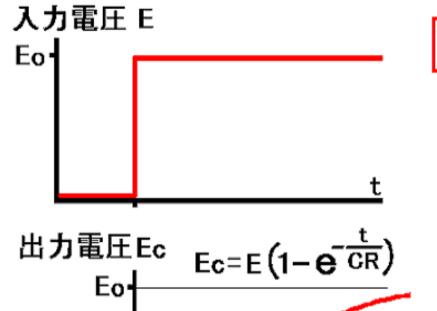


CR 結合回路の コンデンサ電圧 Ec

$$Ec = E - Ee^{\frac{t}{CR}} = E(1 - e^{\frac{t}{CR}})$$

入力電圧が変動した τ 秒後の Ec は 変動電圧の 63% を示す。





r が長い場合

CR

Eo(1-1/e)-

 $(0.63E_0)$ 

積分回路 Integration Circuit

-**、 -**、 u = c - u

時定数が十分長いとき、

コンデンサ電圧 Ec は

入力電圧の経時的な足し算に比例する

経時的なコンデンサ電圧の上昇を示し、

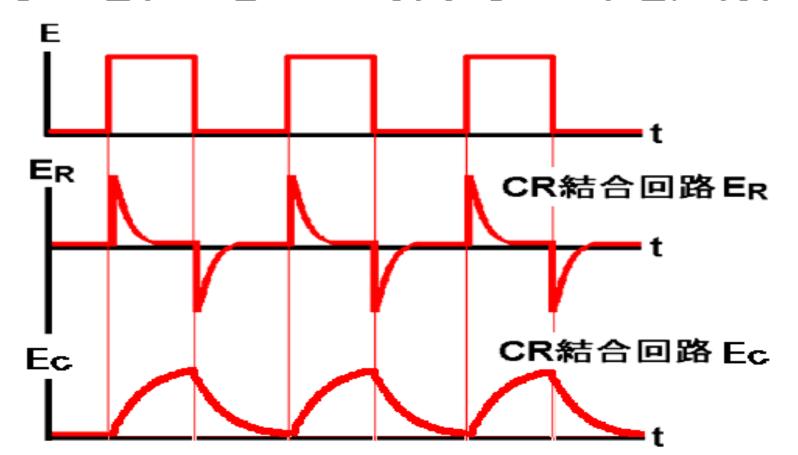
出力を示すので、これを積分回路という。

入力電圧 E の変動に対する出力電圧の反応が 一定時間だけ遅れて出現する回路。

遅延特性

遅延回路 Delay Circuit

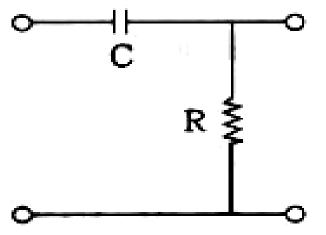
CR 結合回路の 抵抗電圧 ERは遅延を示さないが、 コンデンサ電圧 Ec は入力電圧Eの立上がりから 少し遅れて電圧が上昇するので、遅延特性をもつ。



#### 225 ☆

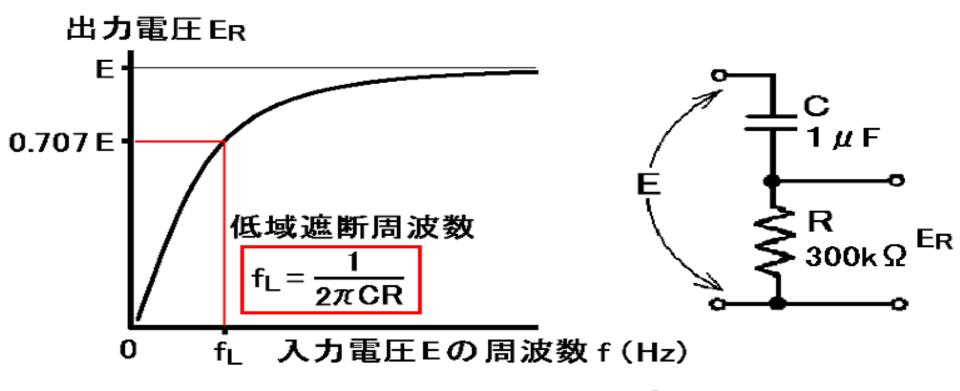
図の回路において、コンデンサの容量Cが $1\mu$ F, また、抵抗値Rが300  $k\Omega$ の時の遮断周

波数はどれか。



- 1. 0.02 Hz
- 2. 0.1 Hz
- 3. 0.5 Hz
- 4. 5 Hz
- 5. 10 Hz



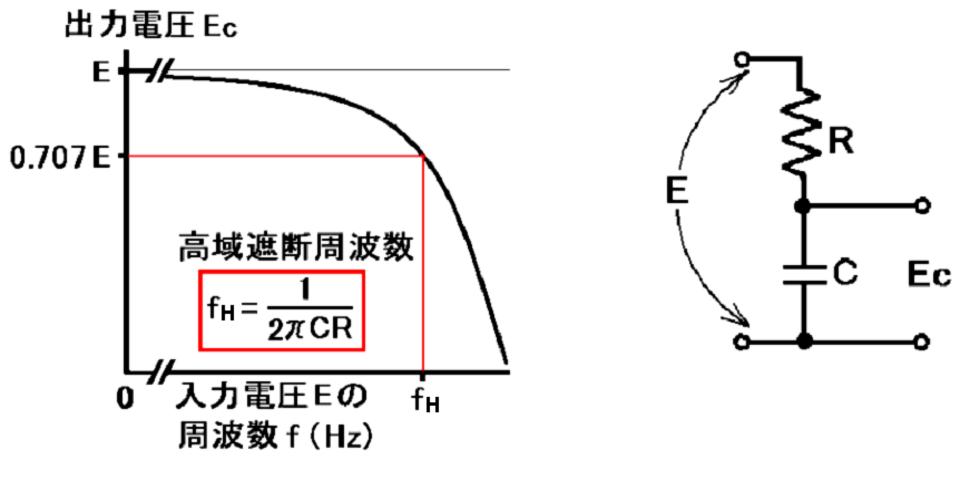


回路の時定数τは、CR = 1x10¯6×300x10<sup>3</sup> = 0.3 (sec)

低域遮断周波数 fLは、1/(2 x 3.14 x 0.3) = 0.53 (Hz)

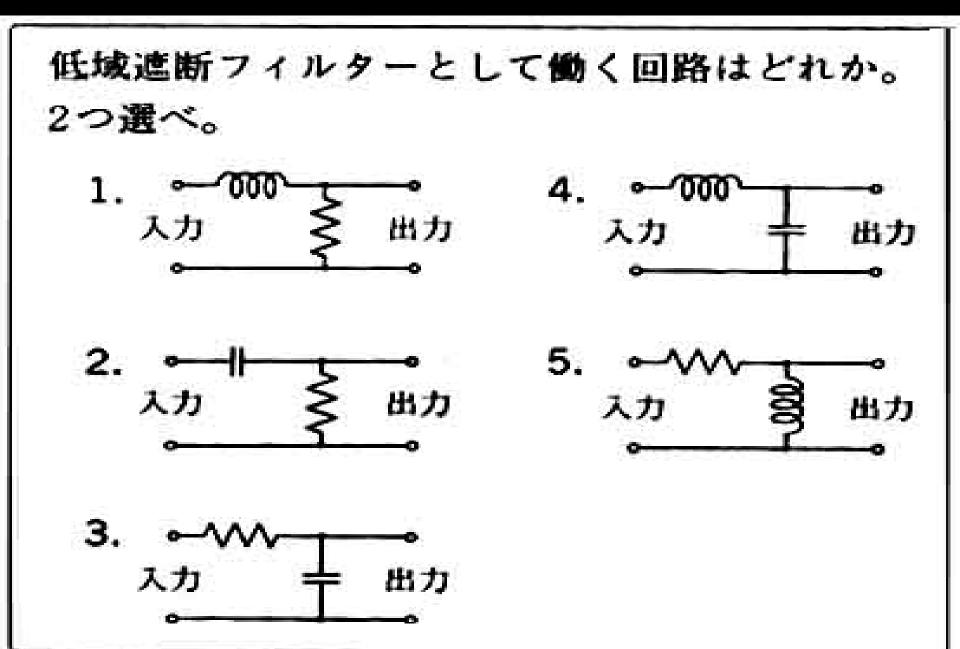
CR 結合回路の 抵抗電圧出力 ERは、 低周波遮断フィルタ(Low cut filter = High pass filter) かつ、微分回路である。

微分回路は、低周波遮断フィルタの特性をもつ。



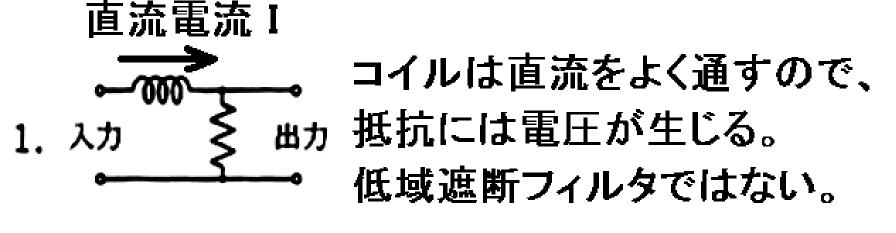
CR 結合回路の コンデンサ電圧出力 Ec は、 高周波遮断フィルタ (High cut filter = Low pass filter) かつ、積分回路である。

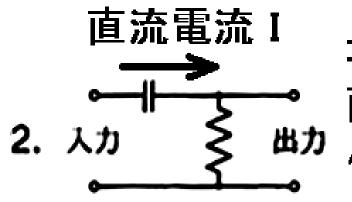
積分回路は、高周波遮断フィルタの特性をもつ。



どれが低域遮断フィルタの特性をもつか。(低周波、直流を通さないものはどれか)

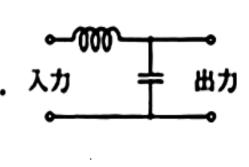
簡単な考え方は、直流を入力したときに 出力に電圧がでないものを捜す。





コンデンサは直流を通さないので、 直流では出力電圧は出ない。 低域遮断フィルタである。 直流電流「

抵抗は直流を通す。 さらに出力端子につながった コンデンサは直流を通さないので、 直流を入れると出力電圧がある。 低域遮断フィルタではない。



これは、LC直列回路なので、 特定の周波数  $f=1/(2\pi\sqrt{LC})$  の信号だけ よく通す共振回路である。 低域遮断フィルタではない。

直流電流 I

抵抗は直流電流を通す。 ところが、コイルも直流電流をよく通すので、 2つの出力端子間のインピーダンスが 0 に なるので、直流の入力では出力電圧は出ない。 低域遮断フィルタである。 CR 結合回路の 抵抗電圧出力 ERは、 低周波遮断フィルタ (Low cut filter = High pass filter) かつ、微分回路である。

微分回路は、低周波遮断フィルタの特性をもつ。

CR 結合回路の コンデンサ電圧出力 Ec は、 高周波遮断フィルタ (High cut filter = Low pass filter) かつ、積分回路である。

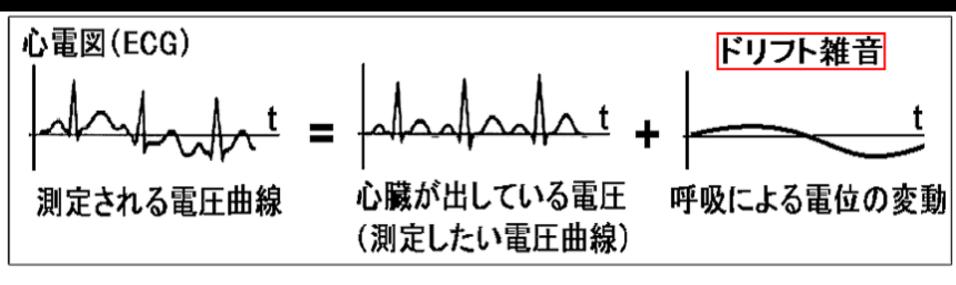
積分回路は、高周波遮断フィルタの特性をもつ。

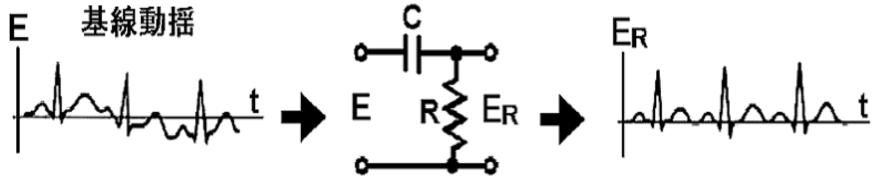
抵抗とコンデンサとの組合せによるフィルタについて 正しいのはどれか、

- 1. 遮断周波数は増幅度が1/√2となる周波数である。
- 2. 低域遮断フィルタの遮断周波数は1/CRである。
- 3. 低域遮断フィルタは積分回路として使用できる。
- 4. 高域遮断フィルタは微分回路として使用できる。
- 5. 高域遮断フィルタはドリフトを低減できる。

# 低周波遮断回路 = 細かい振動を通す

- = 変動成分を抽出
- = 変化量の抽出 = 微分

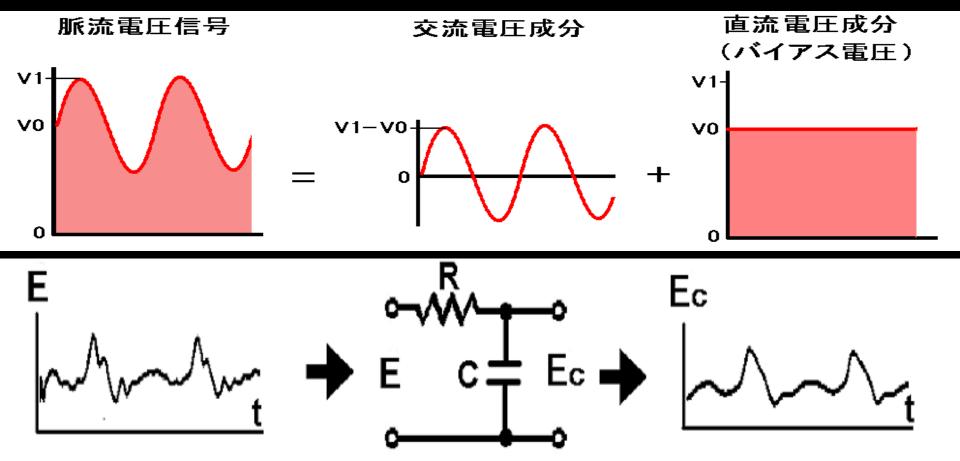




# 高周波遮断回路 = 緩い振動を通す

- = 変化の乏しい成分を抽出
- = バイアスの抽出 = 積分

# バイアス bias 【名】 先入観、偏見、片寄り、偏位



心電計の時定数回路の主な役目はどれか。

- 1. 入力インピーダンスを大きくする。
- 2. 高周波雑音を防ぐ。
- 3. 直流信号を阻止する。
- 4. 商用交流雑音を除去する。
- 5. 増幅度を上げる。

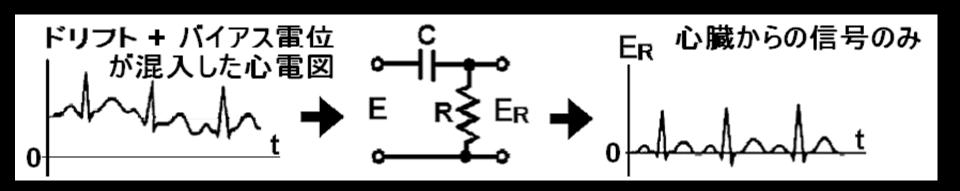
低周波遮断回路は、緩い振動を除去する。

バイアス電位(周波数0の信号=直流信号)

も除去する。 = 心電図の基線の上下移動を除く。

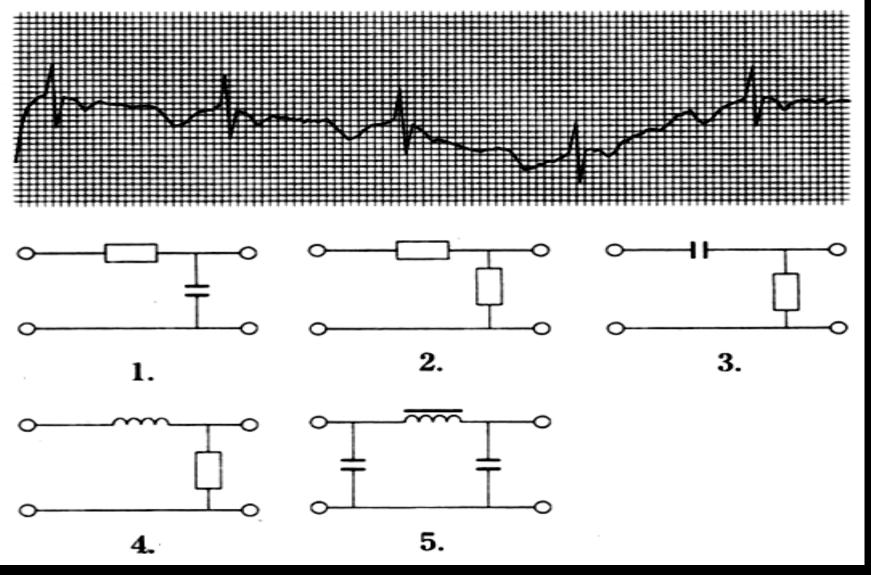
一般的に、医用工学 ME の領域では

# CR結合回路の抵抗電圧出力を、時定数回路という。



バイアス電圧(バイアス電位)(脳波や心電図とは無関係に人体の体表に存在する電圧、電位)や、ドリフトノイズ(呼吸や体動による緩やかなノイズ)など、重大な低周波ノイズが、CR結合回路の抵抗電圧出力で除去できるので、生体信号測定にとって大変重要な回路である。

心電図記録中に図のような基線の動揺がみられた。 この動揺をカットする作用のある回路はどれか。



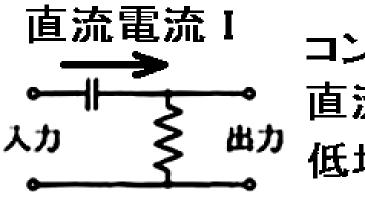
心電図の基線動揺(ドリフト雑音)は、低周波雑音。

低周波信号、直流信号を通さない回路を選ぶ。

CR結合回路の抵抗電圧出力 ER が解答。

どれが低域遮断フィルタの特性をもつか。(低周波、直流を通さないものはどれか)

簡単な考え方は、直流を入力したときに 出力に電圧がでないものを捜す。



コンデンサは直流を通さないので、 直流では出力電圧は出ない。 低域遮断フィルタである。