

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、 ω 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 $1/(\omega C)$ 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 $Em \sin(\omega t)$ 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 $Im \sin(\omega t)$ 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。
(キルヒ霍フの法則で、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。

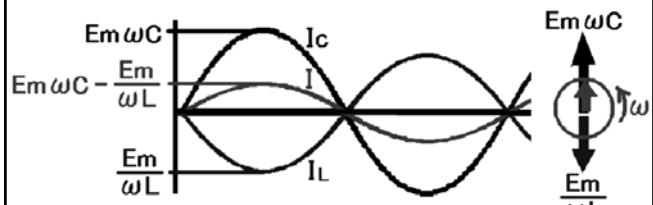
コンセントに送られる交流電源が、発電所の発電機(コイルが磁石の中で回転して交流電圧を発生している)から供給されていることを理解すれば、交流電源は回転から発生していることを理解できると思います。それがわかればベクトル図が何を表現しているか分かると思います。

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



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

I は、 I_c と I_L 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

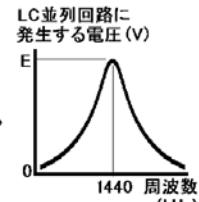
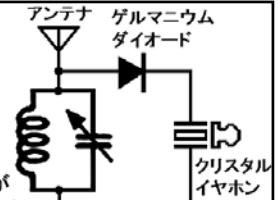
最も基本的なAMラジオの回路。

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。

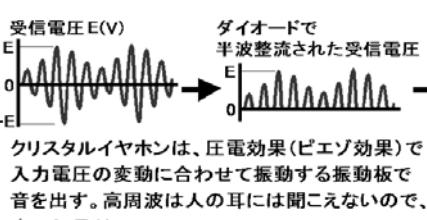
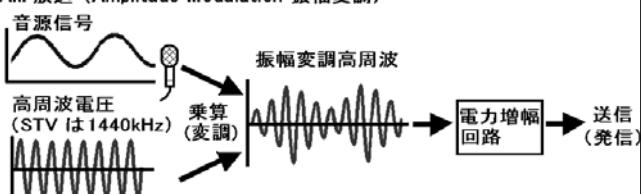
可変コンデンサを調節して、共振周波数が 1440kHz になれば STV ラジオから発信された電磁波に比例した電圧が発生する。

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。

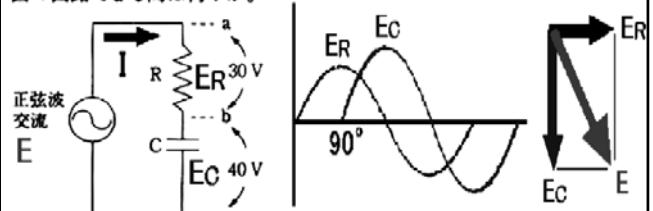
(理論式では共振周波数でインピーダンスは無限大になるが、実際にはコイルなどに電気抵抗があるので、抵抗を含む回路になり、最大インピーダンスは有限の値になる。)



AM 放送 (Amplitude Modulation 振幅変調)



図の回路で a-c 間は何 V か。

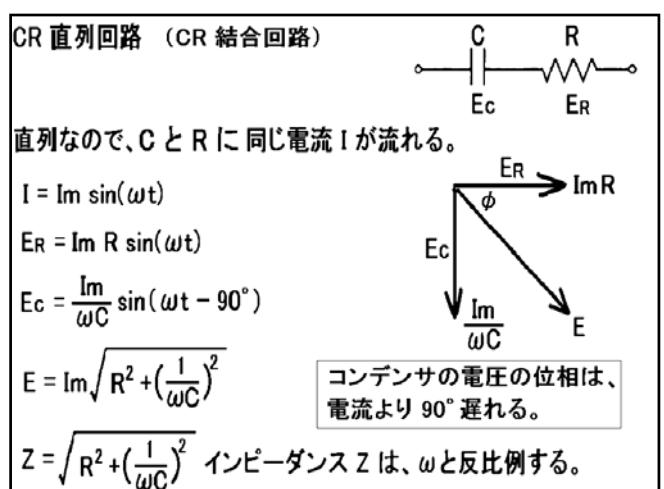
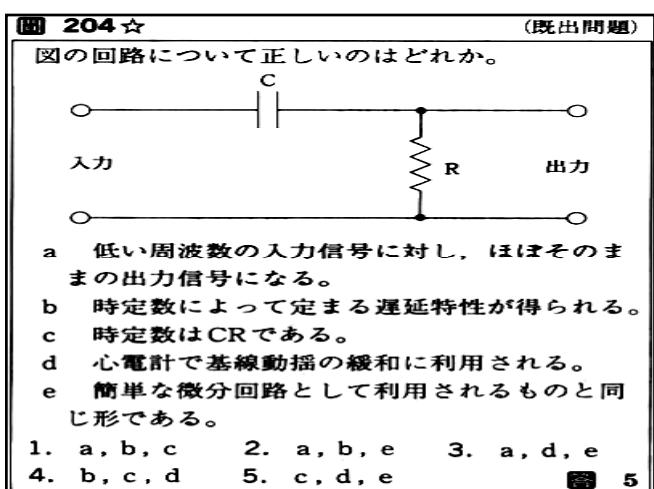
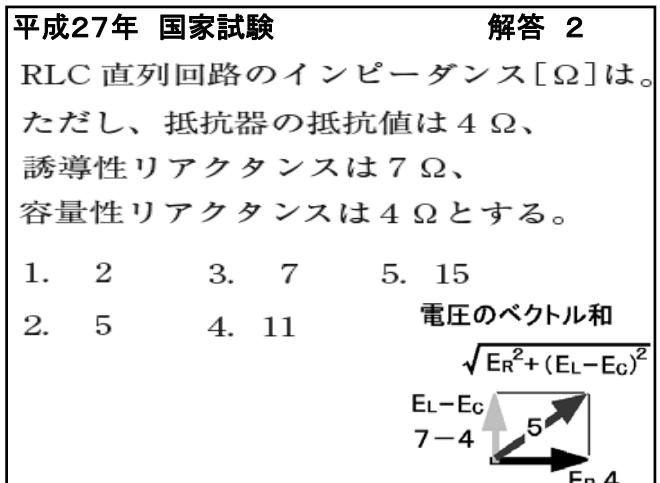
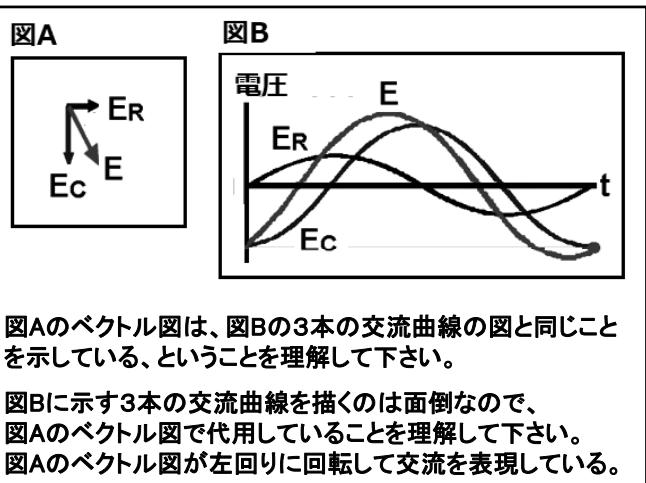
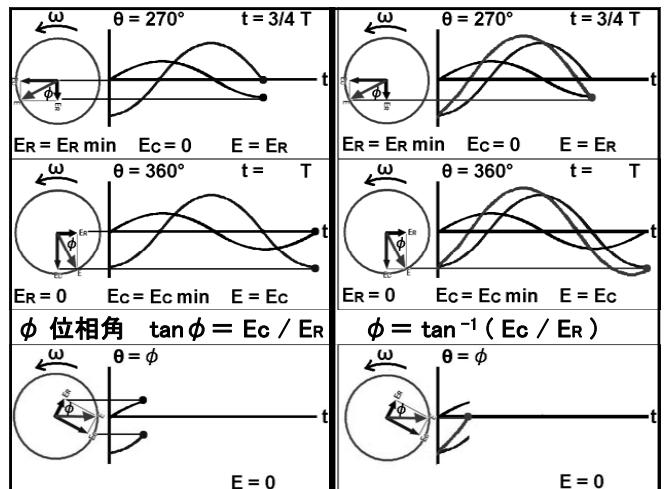
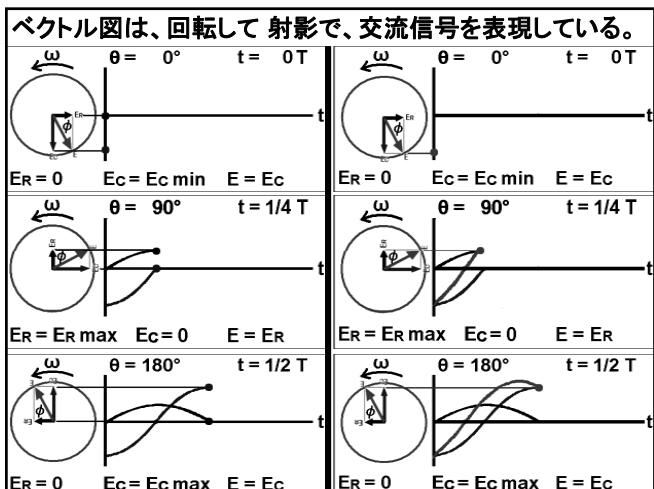


抵抗 R と コンデンサ C は 直列接続なので R と C に流れる電流 I は等しい。
 E_R と I の位相は同じ。

コンデンサの電圧は電流より 90° 遅れる

E_C の位相は I から 90° 遅れている。

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



CR結合回路に交流電圧 E を入力したときの出力電圧 E_R を求める。

入力電圧 $E = E_m \sin(\omega t)$

抵抗 R に流れる電流 I は、 $I = E / Z$

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

出力電圧 E_R は、 $E_R = I R = \frac{ER}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}} = \frac{E}{\sqrt{1 + (\frac{1}{\omega CR})^2}}$

E_C と E_R が、同じ値になる 入力電圧の周波数では、出力電圧 E_R 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 E_R 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 E_R は 入力と同じになる。

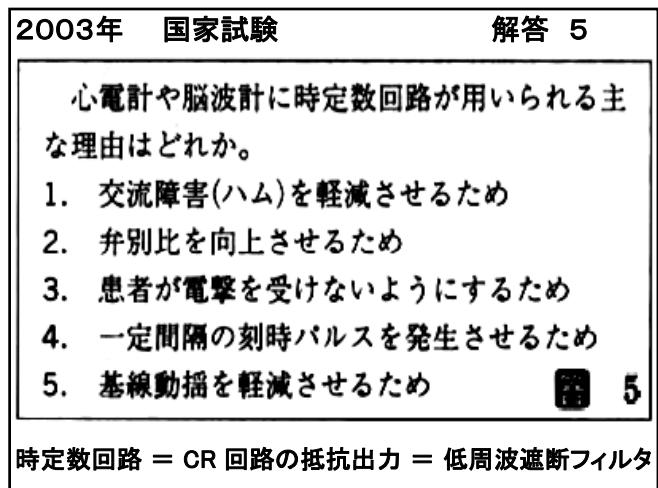
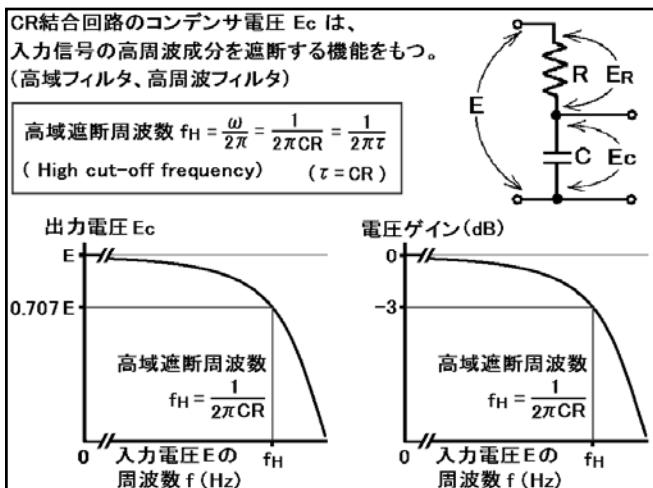
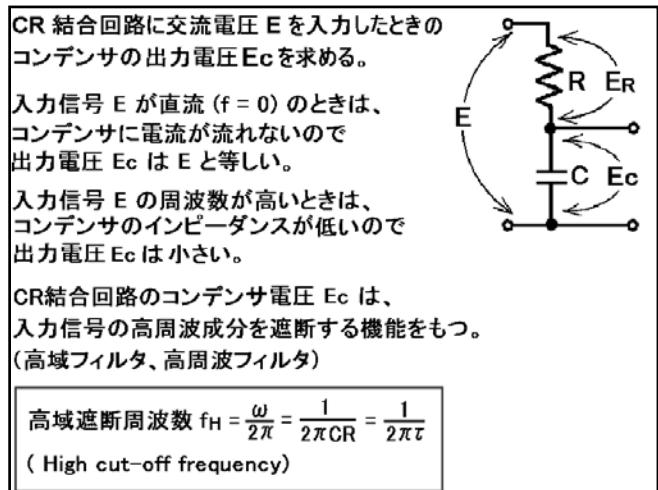
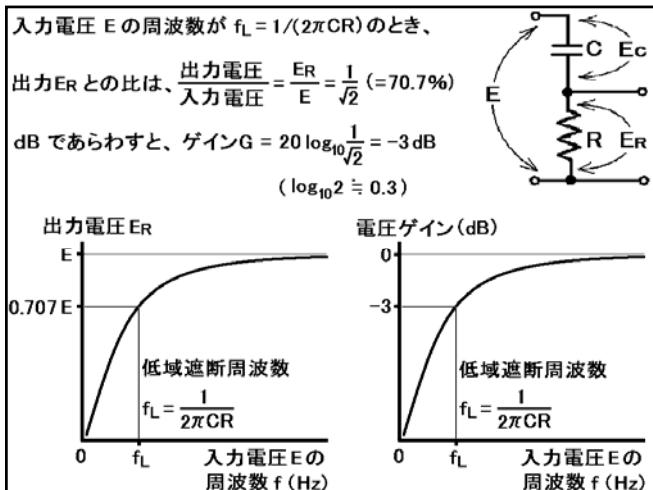
したがって、CR結合回路の抵抗の電圧 E_R は、入力信号の低周波成分を遮断する機能をもつ。(低域フィルタ、低周波フィルタ)

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。

E_C と E_R が同じ大きさになって、出力 E_R が入力の $1/\sqrt{2}$ 倍になる周波数 f_L を、CR結合回路の低域遮断周波数 (Low cut-off frequency) という。

$E_R = ImR$, $E_C = \frac{Im}{\omega C}$ なので、 $E_C = E_R$ となるときは、 $\omega = \frac{1}{CR} = \frac{1}{\tau}$

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



CR結合回路の時定数(τ time constant)

$$\tau (\text{sec}) = C(F) \times R(\Omega)$$

$$\text{遮断周波数(Hz)} = 1 / (2\pi CR)$$

(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)

$$\text{遮断周波数} = 1 / (2\pi \times 3) = 0.053 \text{ Hz}$$

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、0.3 秒

$$\text{遮断周波数} = 1 / (2\pi \times 0.3) = 0.53 \text{ Hz}$$

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。

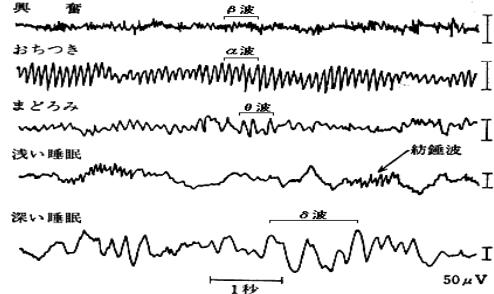
脳波の種類

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 とろとろと眠くなつて来た時に現れる。

α (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。



2009年 国家試験模試 解答 3

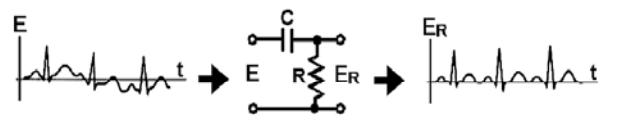
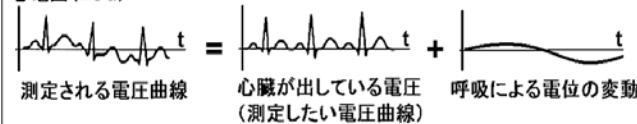
脳波周期が θ 波であるのはどれか。1秒間は 1000 ms

- | | | | |
|----|--------|--------------------------------|------------|
| 1. | 50 ms | = 1秒間で 50ms は20回 = 20 Hz | β 波 |
| 2. | 120 ms | = 1秒間で 120ms は約8回 = 約 8 Hz | α 波 |
| 3. | 240 ms | = 1秒間で 240ms は約4回 = 約 4 Hz | θ 波 |
| 4. | 550 ms | = 1秒間で 550ms は約2回 = 約 2 Hz | δ 波 |
| 5. | 730 ms | = 1秒間で 730ms は約1.3回 = 約 1.3 Hz | δ 波 |

脳波の周波数	熟睡状態	デルタ波	δ	約 2 Hz
	軽睡状態	シータ波	θ	約 5 Hz
	安静状態	アルファ波	α	約 10 Hz
	活発状態	ベータ波	β	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。
0.5Hz 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(ECG)



心電図などでは、呼吸による電位変動が低周波ノイズ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、ドリフト雑音といふ。

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、基線が平坦化する。

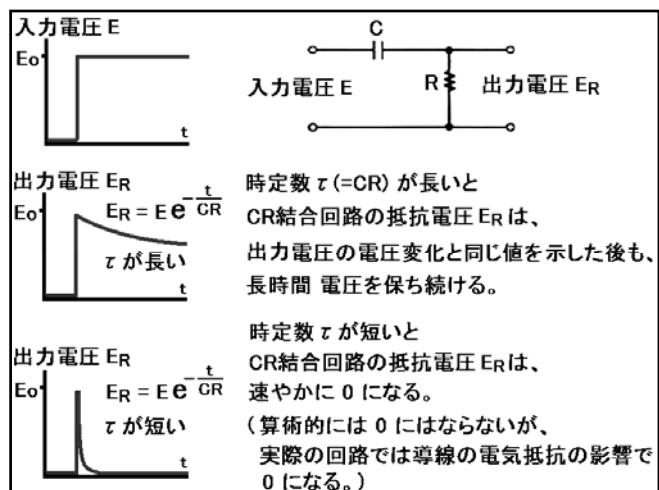
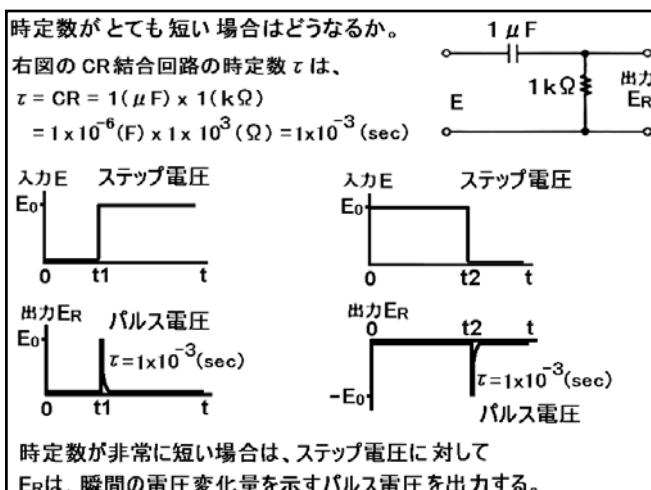
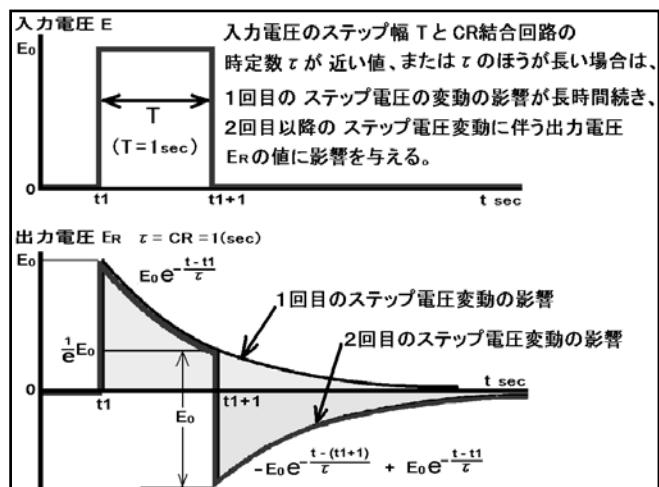
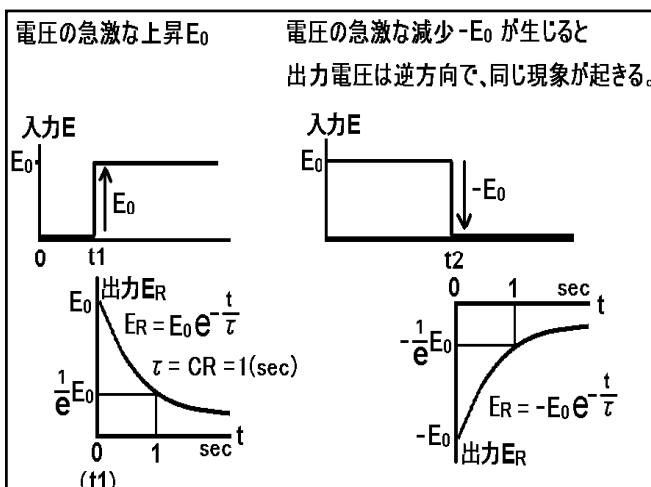
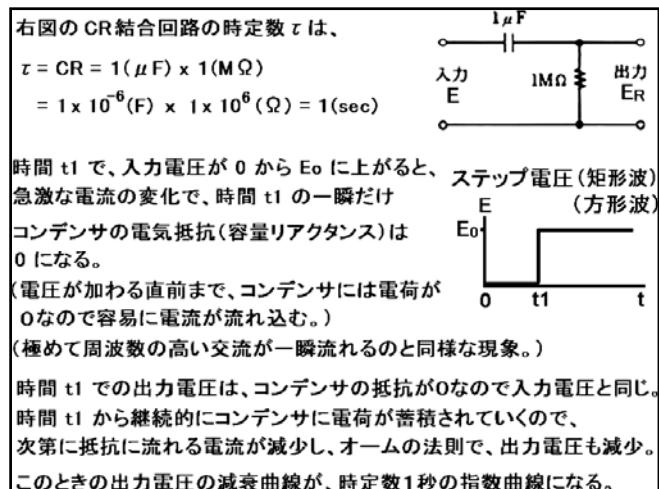
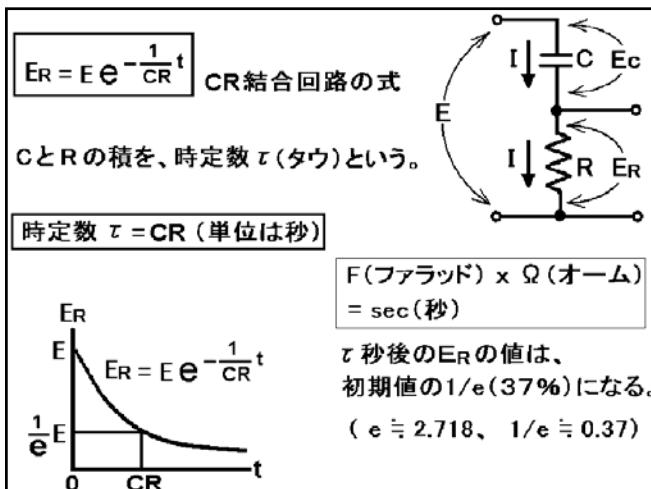
drift 【名】

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、動搖を生じる。

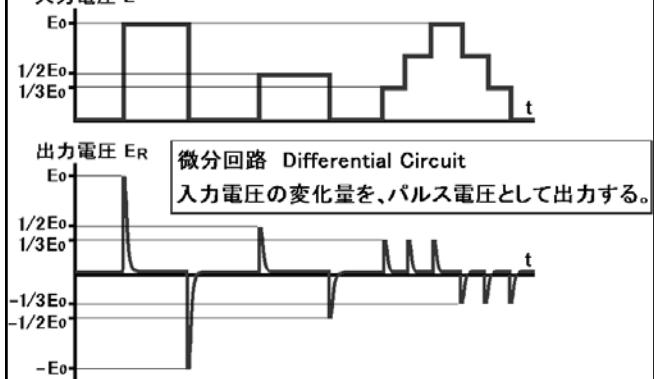
その他、測定装置を長時間使っていると、装置の温度上昇によって、回路で使われている電子素子の電気特性が微妙に変化して、測定結果に少しづつ変動や誤差が加わっていくこと。



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 E_R は、入力電圧が変化した瞬間の変動値を出力する。

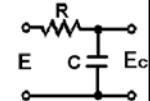
これは算術的に入力信号を微分しているのと同じなので、微分回路という。

入力電圧 E

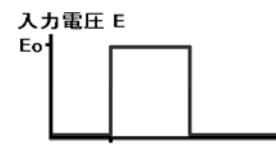
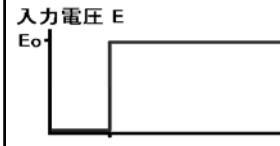


CR 結合回路のコンデンサ電圧 E_c

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

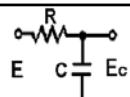


入力電圧が変動した τ 秒後の E_c は
変動電圧の 63% を示す。



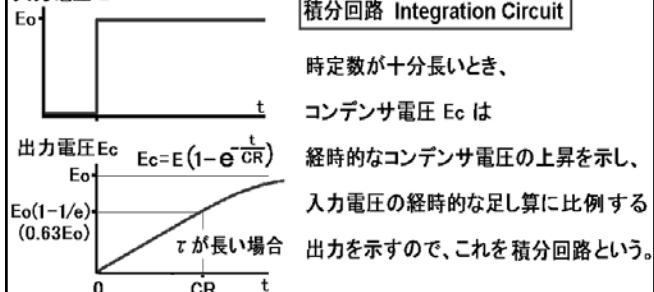
CR 結合回路のコンデンサ電圧 E_c

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



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。

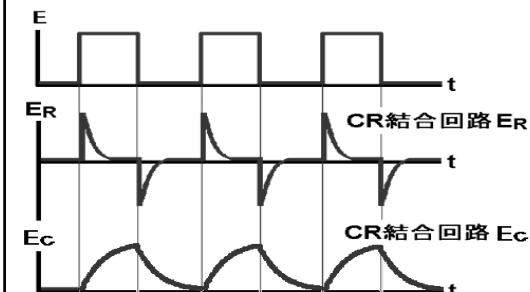
入力電圧 E



遅延特性 遅延回路 Delay Circuit

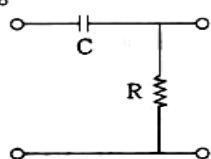
入力電圧 E の変動に対する出力電圧の反応が一定時間だけ遅れて出現する回路。

CR 結合回路の 抵抗電圧 E_R は遅延を示さないが、コンデンサ電圧 E_c 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☆

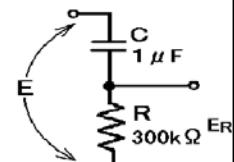
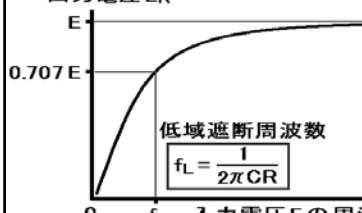
図の回路において、コンデンサの容量 C が $1\mu F$ 、また、抵抗値 R が $300 k\Omega$ の時の遮断周波数はどれか。



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

3

出力電圧 E_R

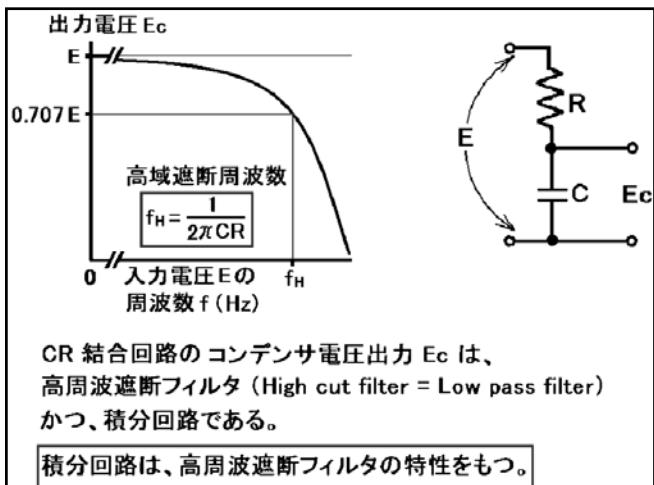


回路の時定数 τ は、 $CR = 1 \times 10^{-6} \times 300 \times 10^3 = 0.3 (\text{sec})$

低域遮断周波数 f_L は、 $1 / (2 \times 3.14 \times 0.3) = 0.53 (\text{Hz})$

CR 結合回路の 抵抗電圧出力 E_R 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。



2003年 国家試験

解答 2, 5

低域遮断フィルターとして働く回路はどれか。2つ選べ。

1. 入力 出力
2. 入力 出力
3. 入力 出力
4. 入力 出力
5. 入力 出力

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
出力に電圧がないものを捜す。

- 直流電流 I**
1. 入力 出力 抵抗には電圧が生じる。
低域遮断フィルタではない。
- 直流電流 I**
2. 入力 出力 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。

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。

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 E_R 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 E_c 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。

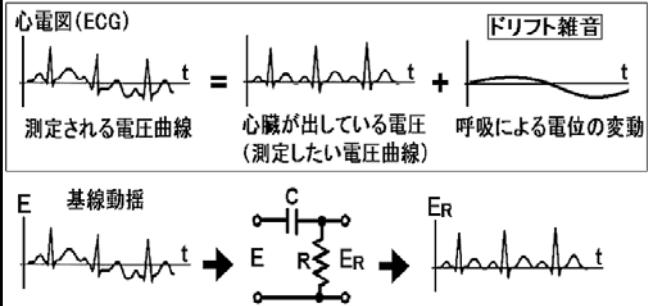
図 80

(2004)

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。

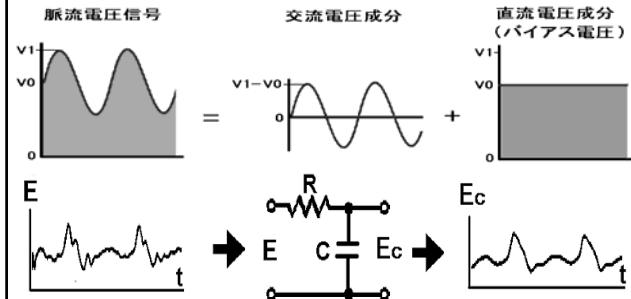
1. 遮断周波数は増幅度が $1/\sqrt{2}$ となる周波数である。
2. 低域遮断フィルタの遮断周波数は $1/CR$ である。
3. 低域遮断フィルタは積分回路として使用できる。
4. 高域遮断フィルタは微分回路として使用できる。
5. 高域遮断フィルタはドリフトを低減できる。

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



2009年 国家試験模試 解答 3

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。

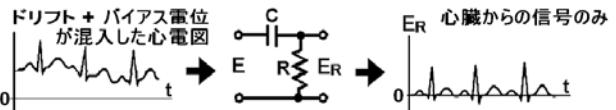
低周波遮断回路 は、緩い振動を除去する。

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

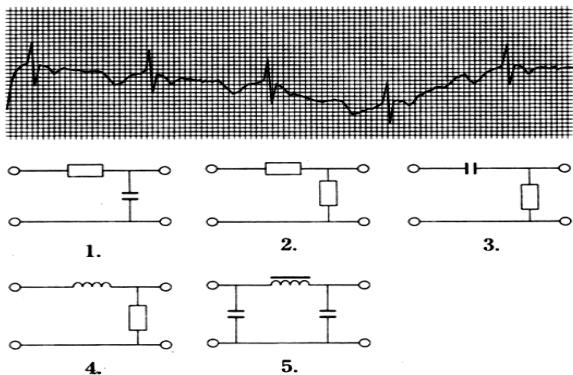
CR結合回路の抵抗電圧出力を、時定数回路という。



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。

2011年 国家試験模試 解答 3

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



心電図の基線動搖(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)

簡単な考え方とは、直流を入力したときに
出力に電圧がないものを捜す。

直流電流 I
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。