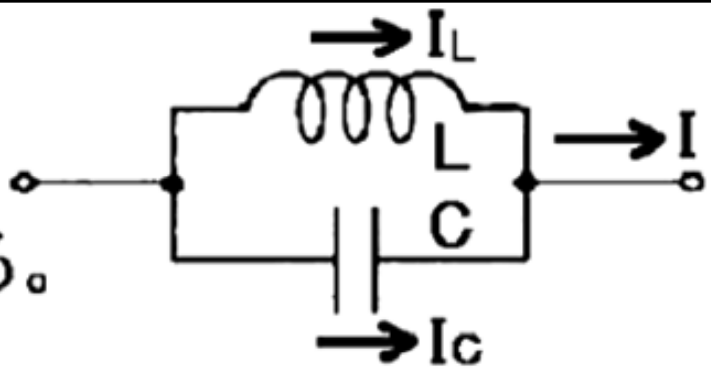
LC 並列回路

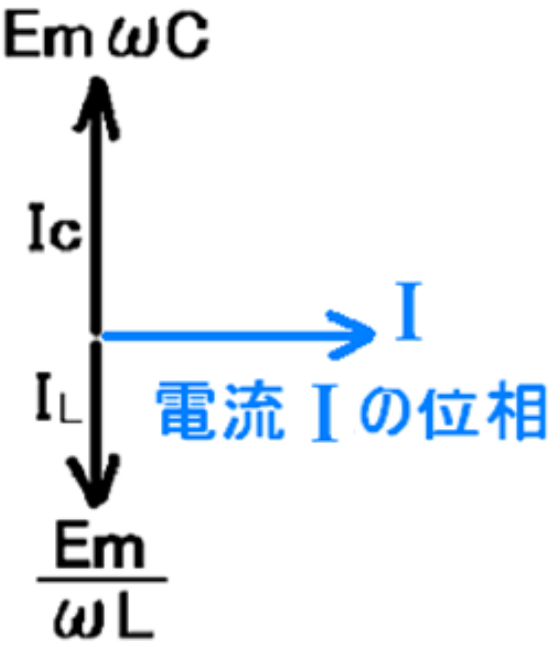


並列なので、L と C に同じ電圧 E が かかる。

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

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

$I_L = E/(\omega L) = \dfrac{Em}{\omega L} \sin(\omega t - 90°)$



コンデンサの電圧は電流より90°遅れる。
コイルの電圧は電流より90°進む。

コンデンサの電流は電圧より90°進む。
コイルの電流は電圧より90°遅れる。

$I = Ic - I_L = Em\left(\omega C - \dfrac{1}{\omega L}\right)$

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

インピーダンス Z は、ω が $\dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ 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、

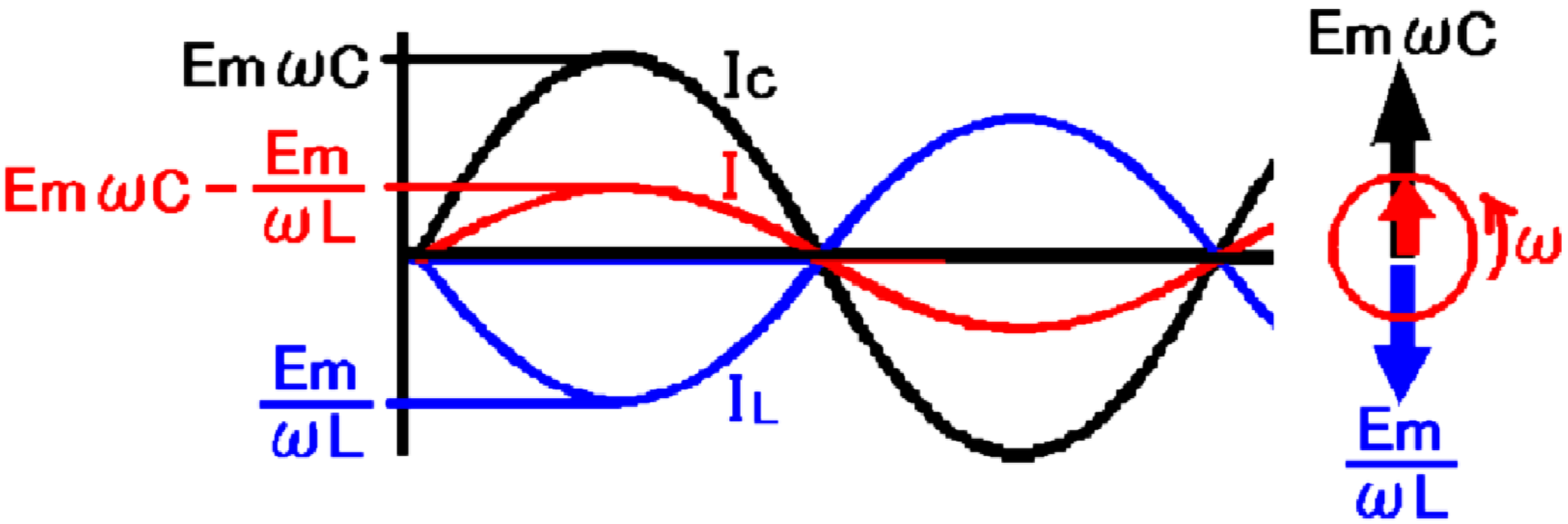
それを阻止する電圧が、電流よりはやく生じて

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。

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、Ic と I_L が同時に存在する場合と同じ電流信号。

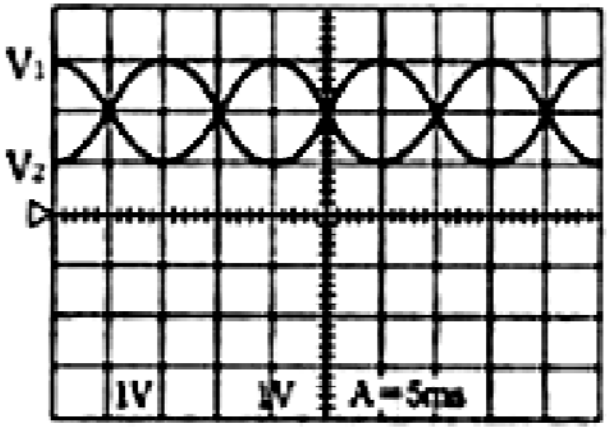
これを 同相信号 という。（同じ位相の信号）

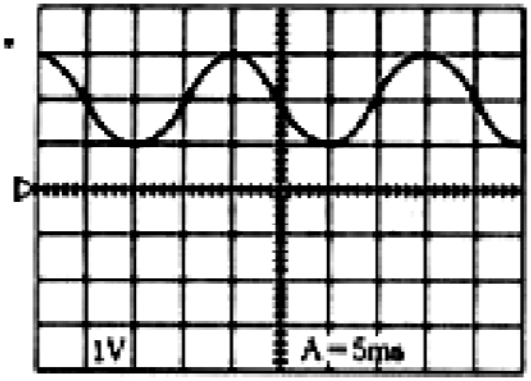
合成ベクトルの大きさは、絶対値のみに意味があるので、

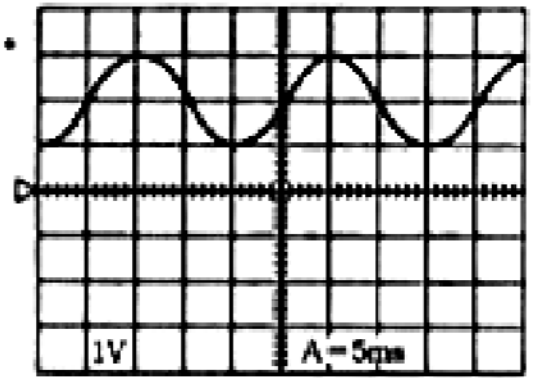
計算で負になる場合は絶対値をとり、位相角を逆向きにする。

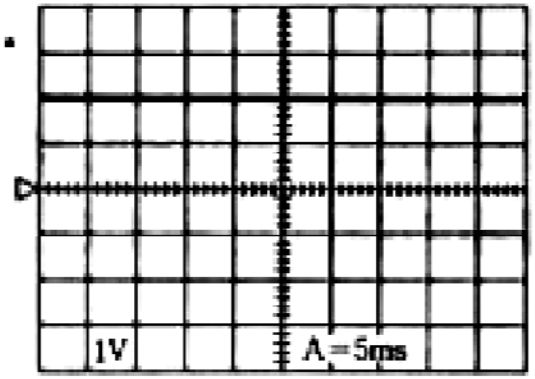
問 215☆ (2001)

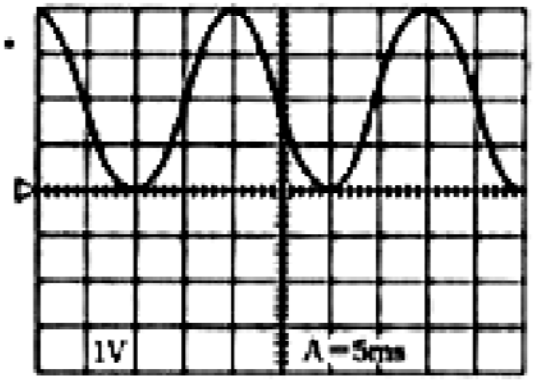
図の電圧信号V_1，V_2の同相成分はどれか。
ただし，垂直および水平感度は同じである。

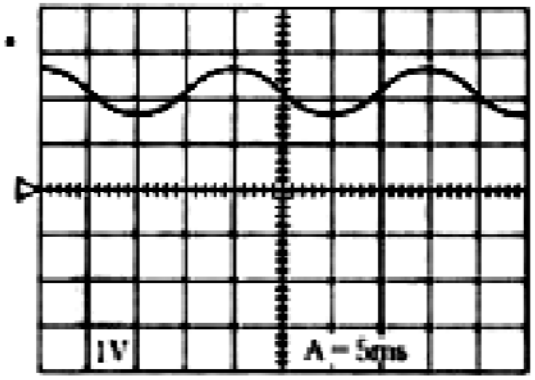


1.


2.


3.


4.


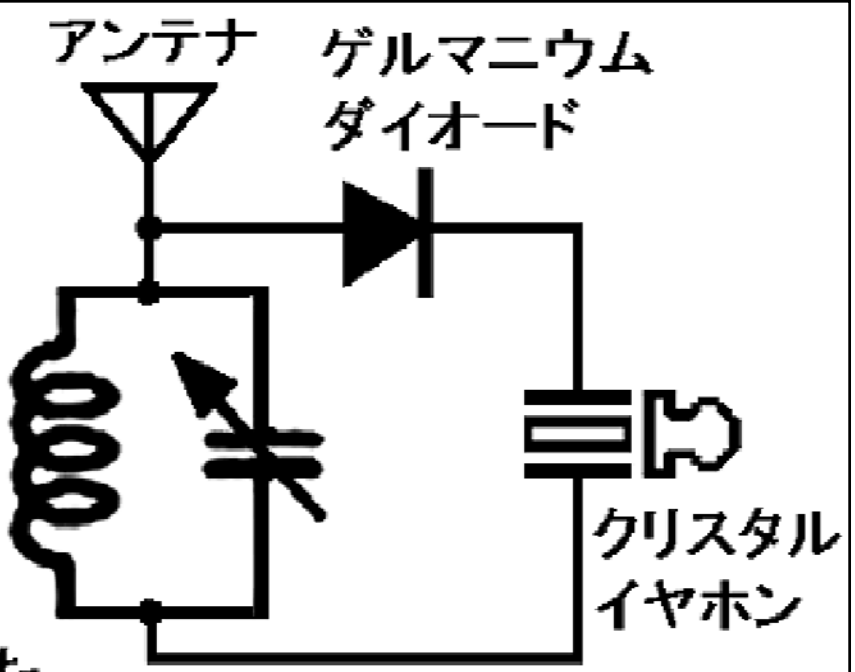
5.


答 3

電圧信号V_1とV_2を合成した成分はフラット信号となり，解答3の成分と一致する。

ゲルマラジオ

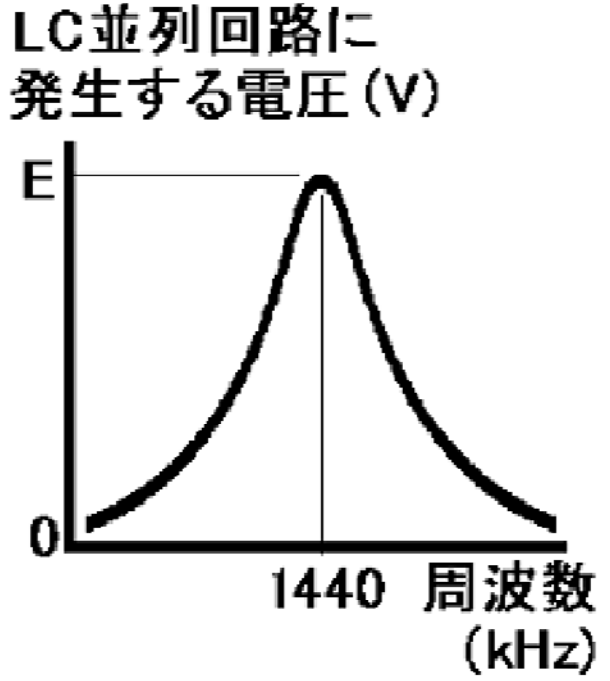
最も基本的なAMラジオの回路。



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。

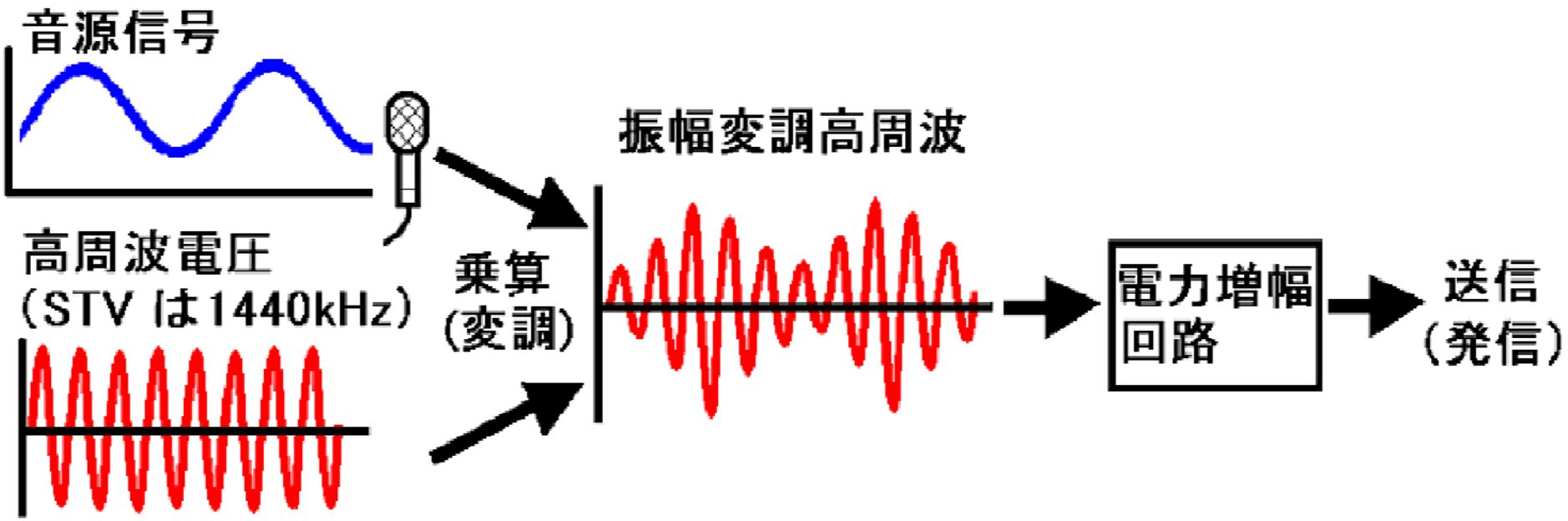
可変コンデンサを調節して、共振周波数が
1440kHzになればSTVラジオから発信された
電磁波に比例した電圧が発生する。

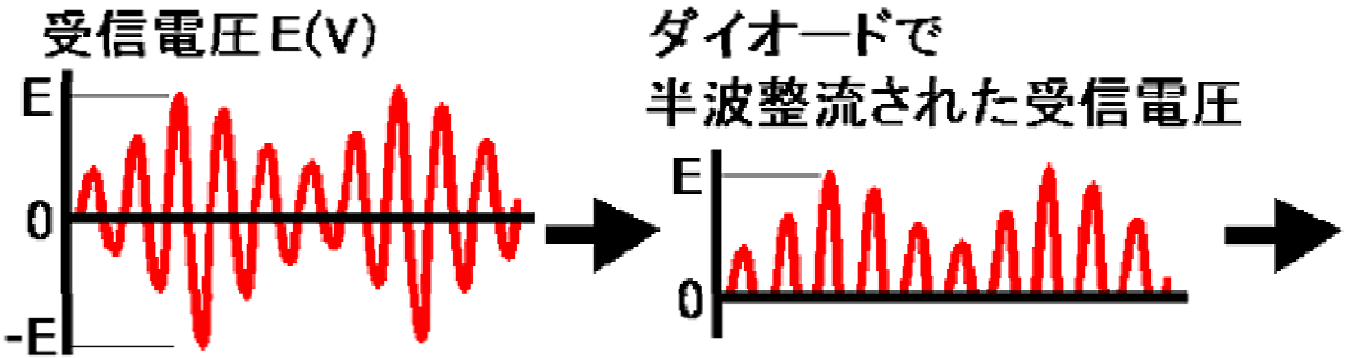
LC並列回路の共振周波数に一致する電磁波
ではインピーダンスが最大になるので、その
周波数に信号があれば オームの法則で、
受信信号に比例する電圧を効率よく発生する。

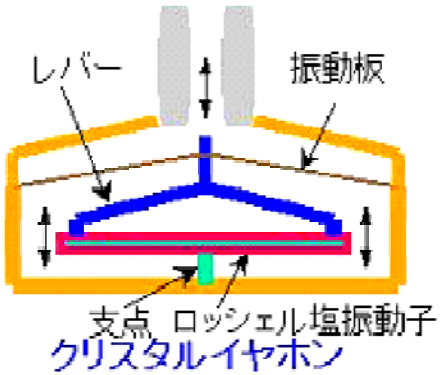


(理論式では共振周波数でインピーダンスは
無限大になるが、実際にはコイルなどに電気
抵抗があるので、抵抗を含む回路になり、
最大インピーダンスは有限の値になる。)

AM 放送（Amplitude Modulation 振幅変調）

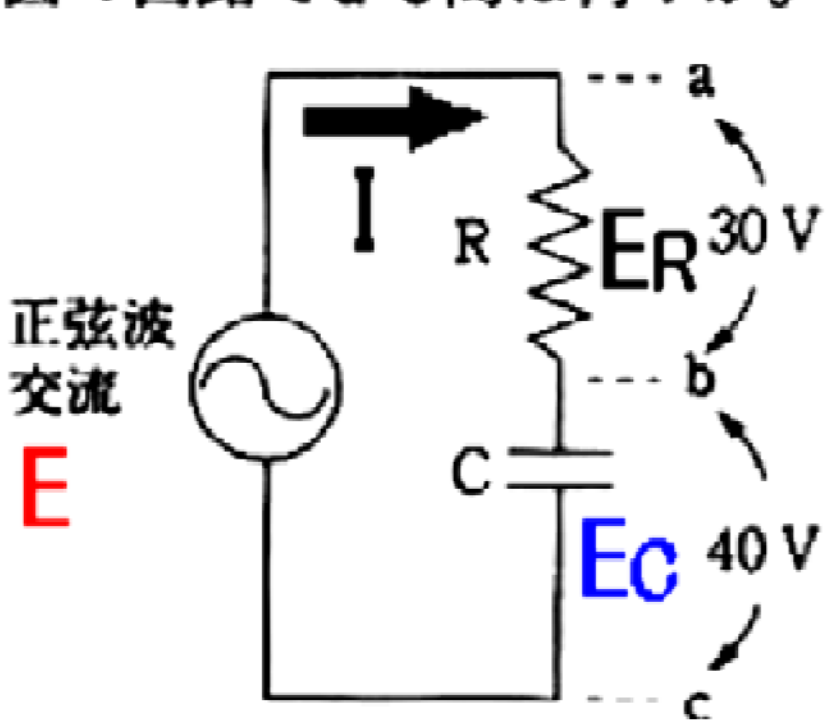


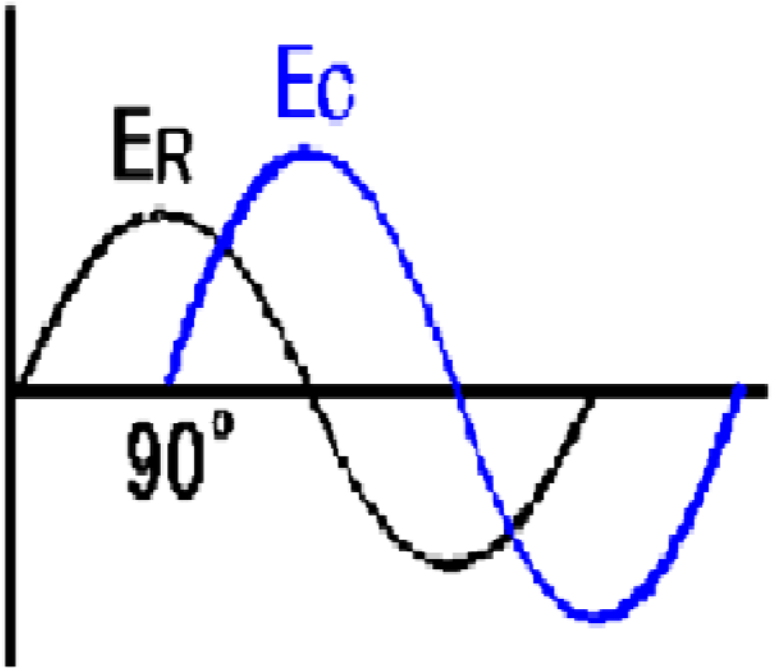


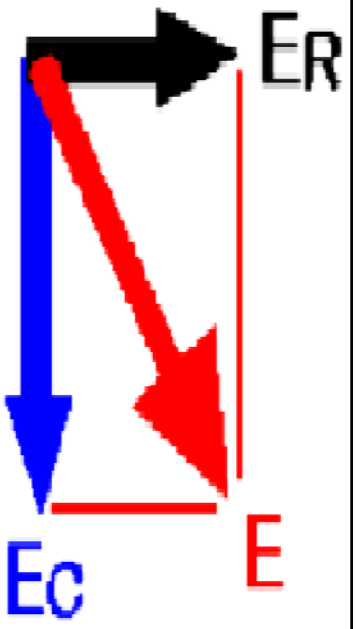


クリスタルイヤホンは、圧電効果（ピエゾ効果）で
入力電圧の変動に合わせて振動する振動板で
音を出す。高周波は人の耳には聞こえないので、
音源信号だけ聞こえる。

図の回路でa-c間は何Vか。







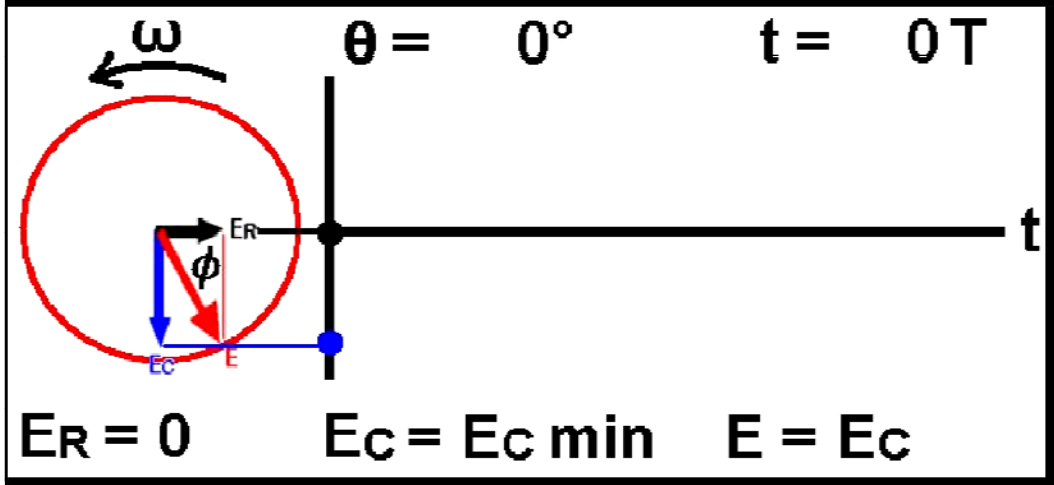
抵抗 R と コンデンサ C は 直列接続なので
R と C に流れる電流 I は等しい。
E_R と I の位相は同じ。

コンデンサの電圧は電流より90°遅れる

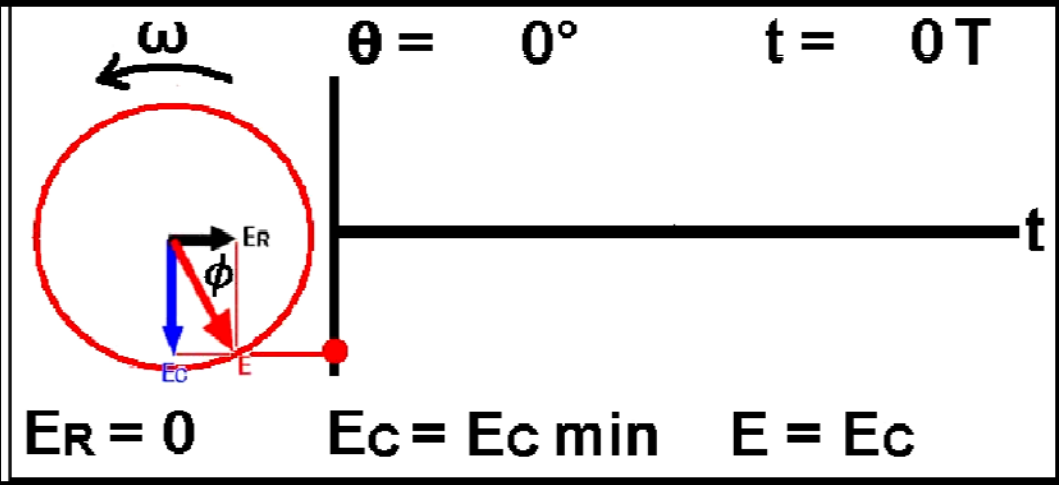
E_C の位相は I から90° 遅れている。

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

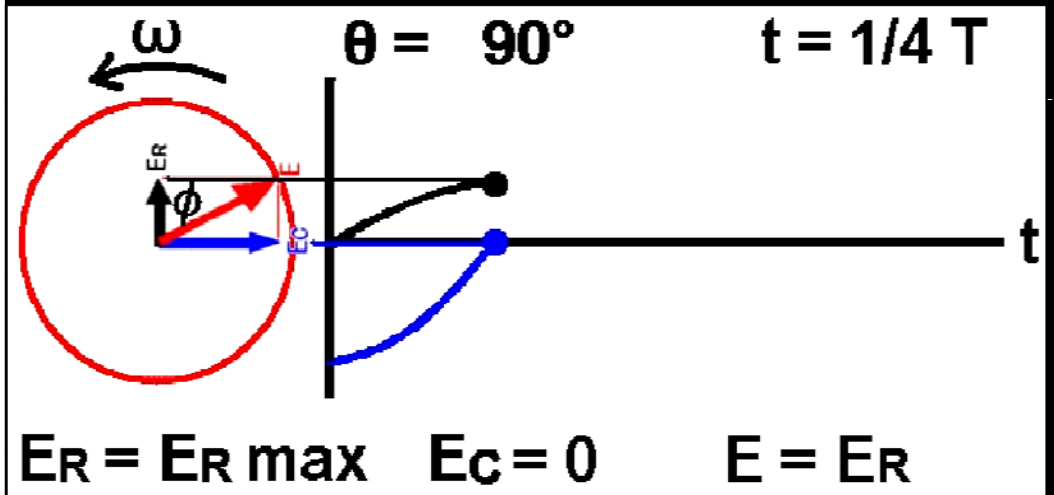
ベクトル図は、回転して 射影で、交流信号を表現している。



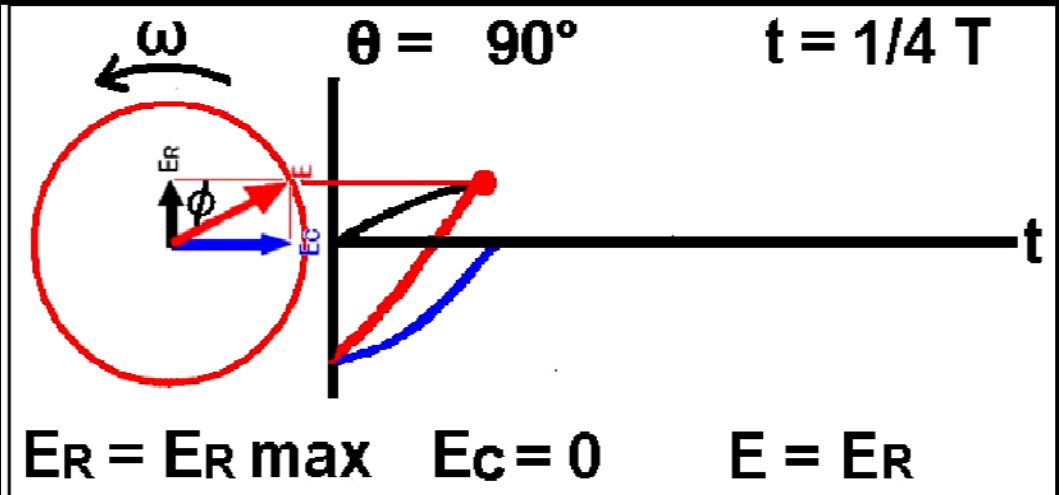
ER = 0　　Ec = Ec min　　E = Ec



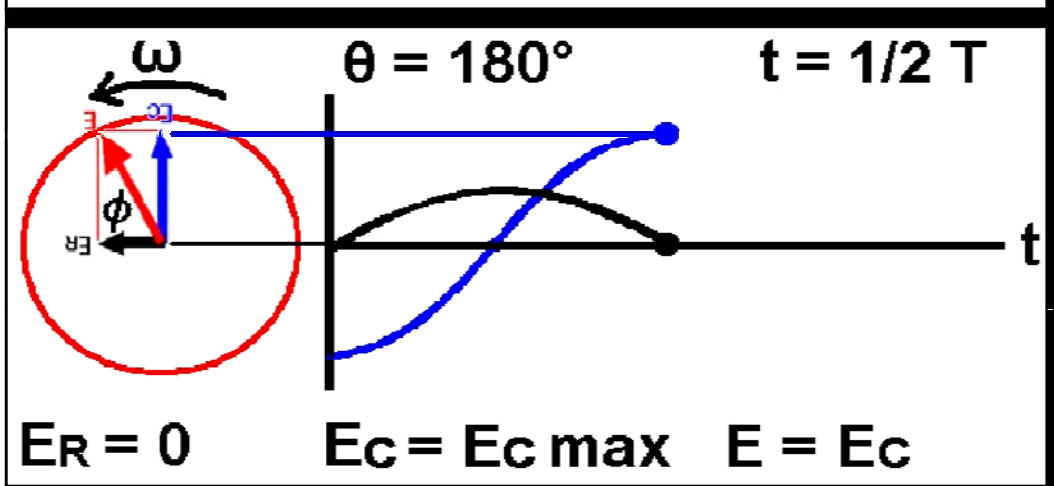
ER = 0　　Ec = Ec min　　E = Ec



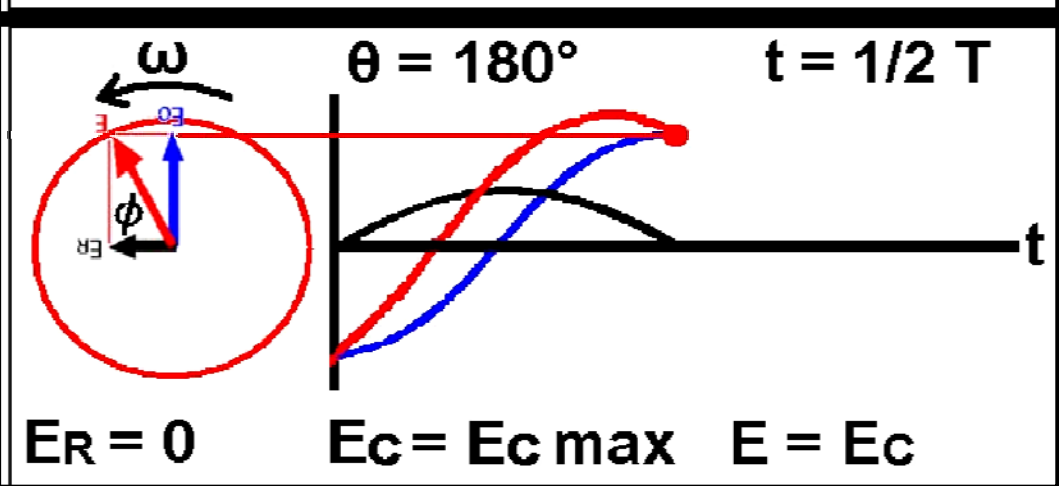
ER = ER max　　Ec = 0　　E = ER



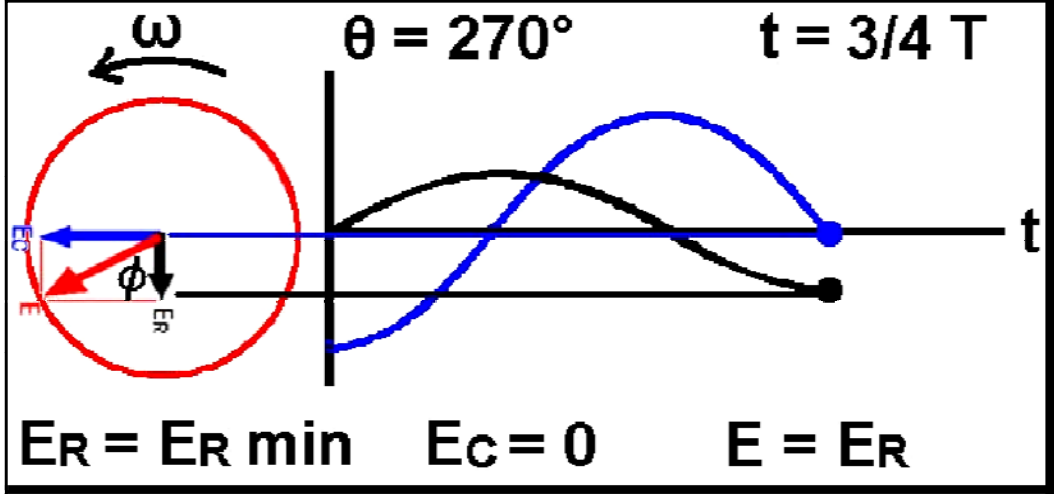
ER = ER max　　Ec = 0　　E = ER

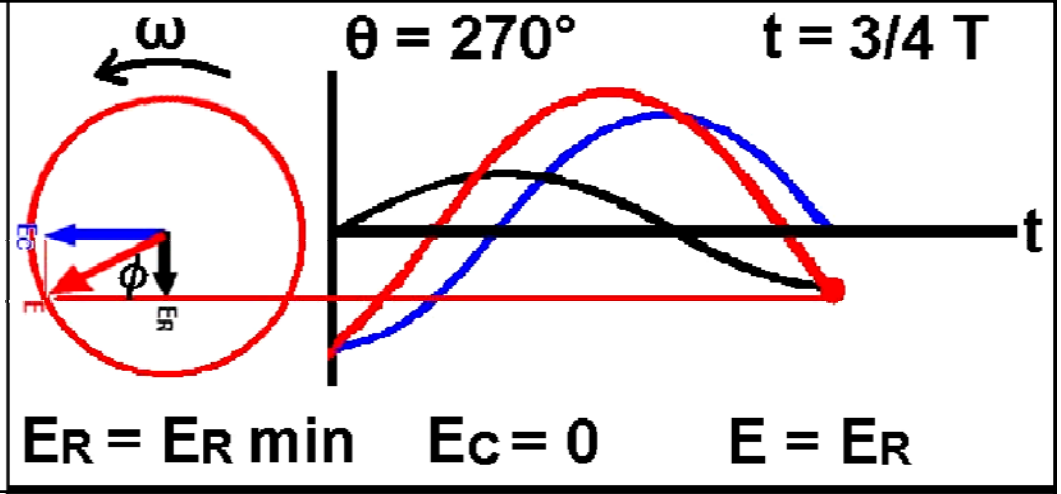


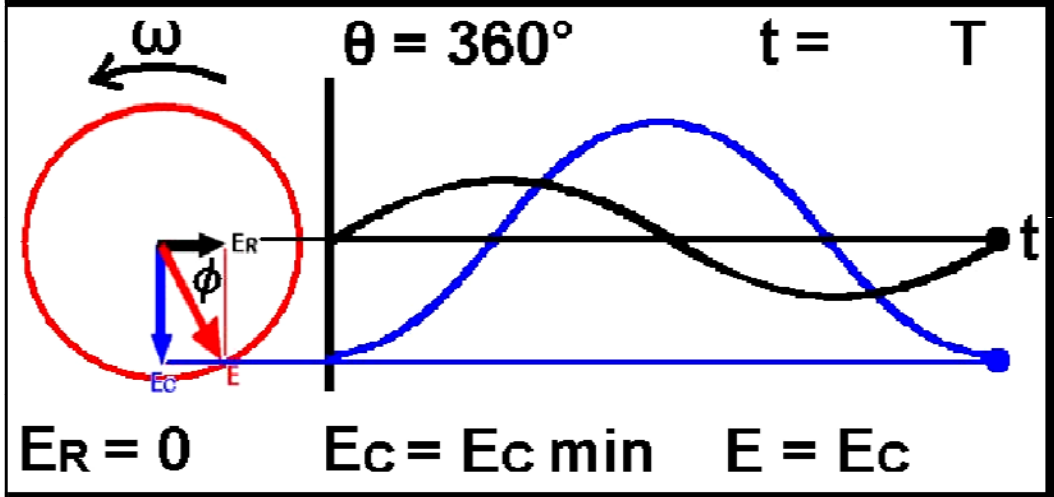
ER = 0　　Ec = Ec max　　E = Ec

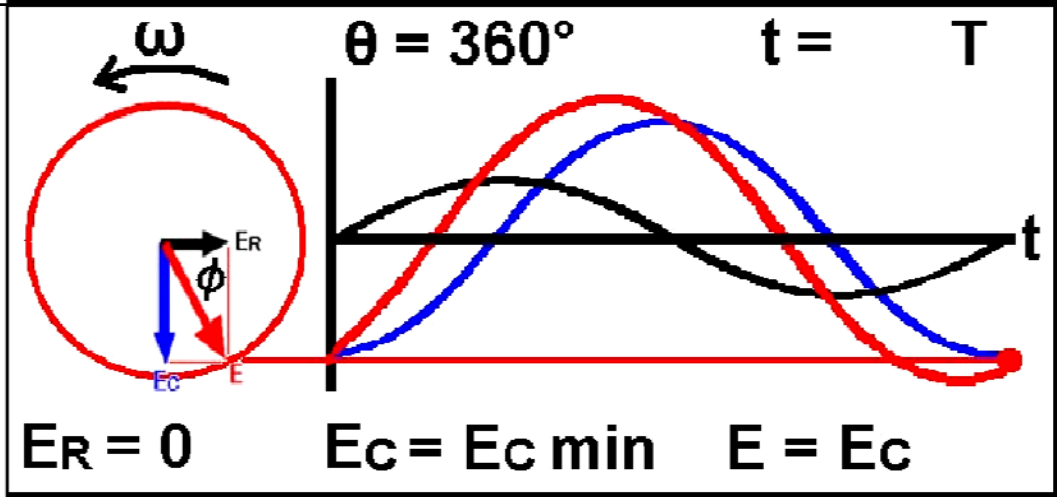


ER = 0　　Ec = Ec max　　E = Ec

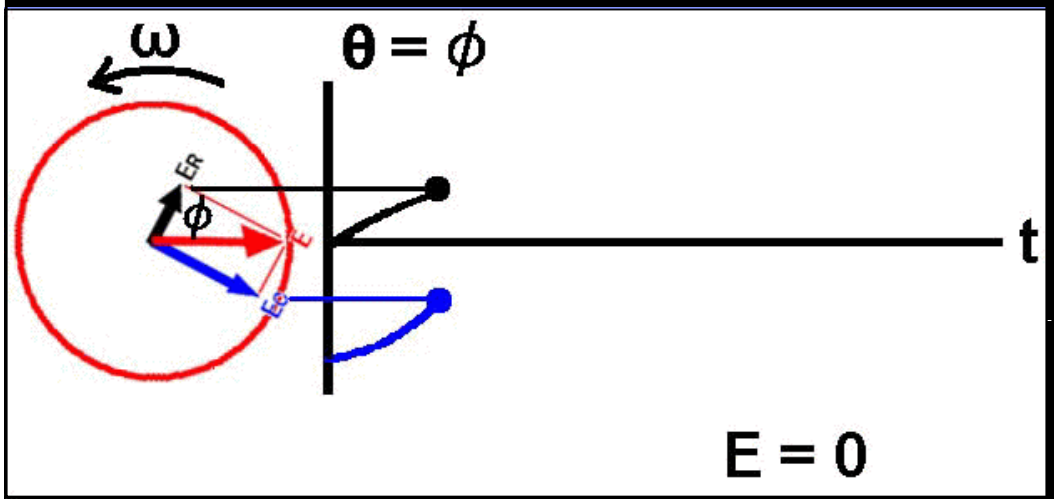


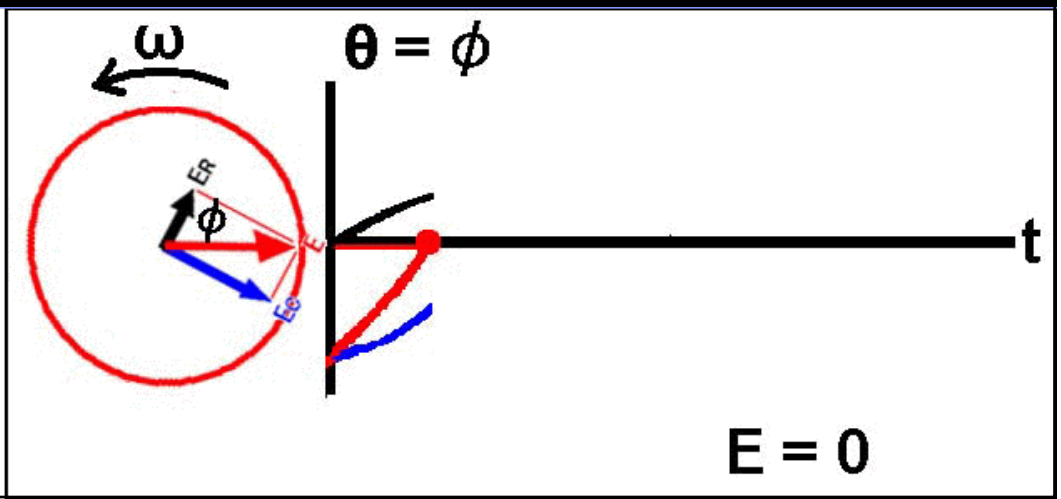






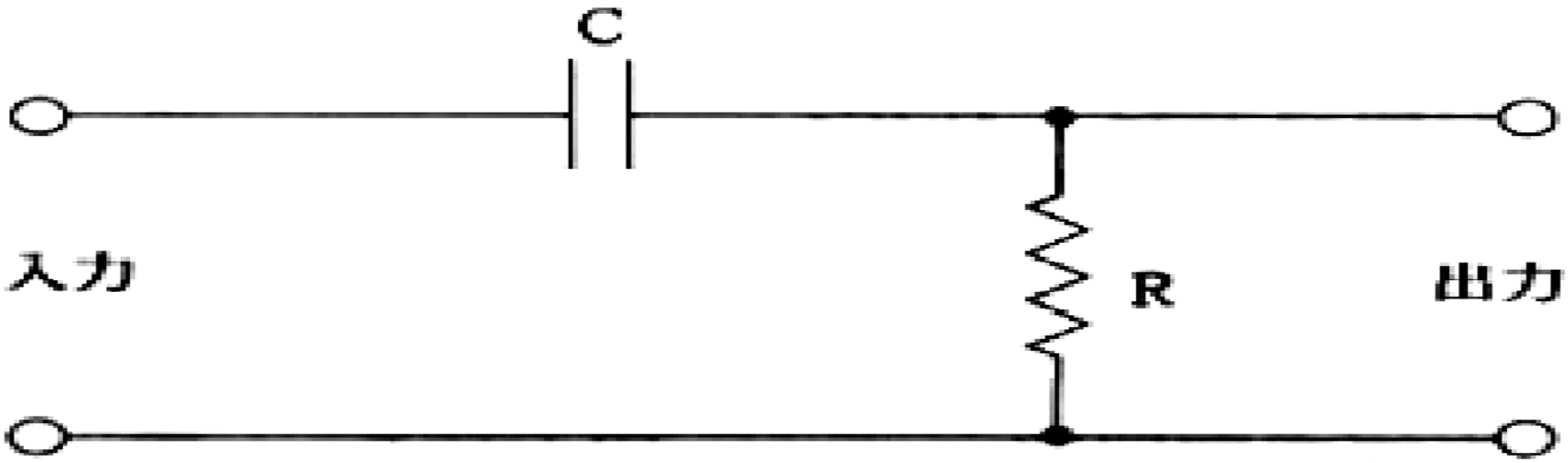
ϕ 位相角　$\tan\phi = Ec / ER$　　$\phi = \tan^{-1}(Ec / ER)$





問 204☆ （既出問題）

図の回路について正しいのはどれか。



a　低い周波数の入力信号に対し，ほぼそのままの出力信号になる。

b　時定数によって定まる遅延特性が得られる。

c　時定数はCRである。

d　心電計で基線動揺の緩和に利用される。

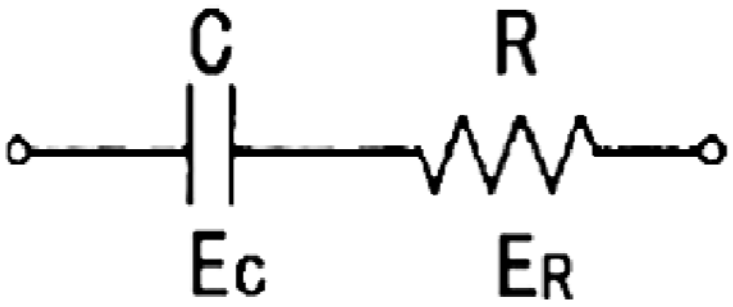
e　簡単な微分回路として利用されるものと同じ形である。

1. a，b，c　　2. a，b，e　　3. a，d，e

4. b，c，d　　5. c，d，e

答 5

CR 直列回路　（CR 結合回路）



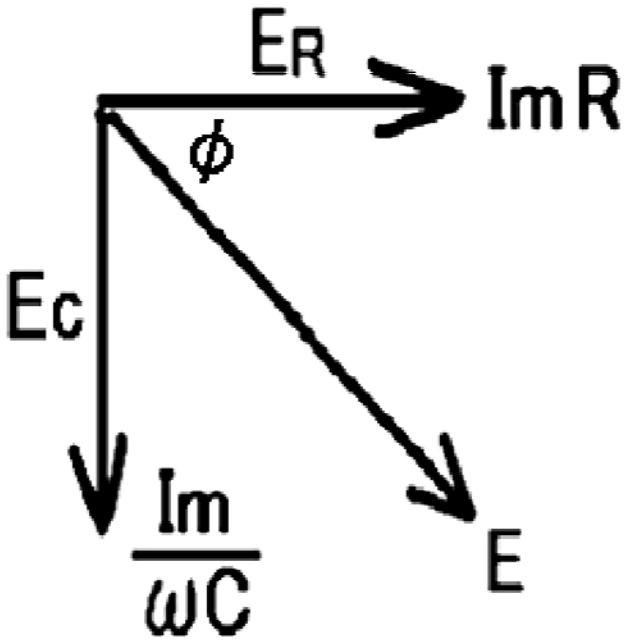
直列なので、C と R に同じ電流 I が流れる。

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

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

$$E_c = \frac{Im}{\omega C} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

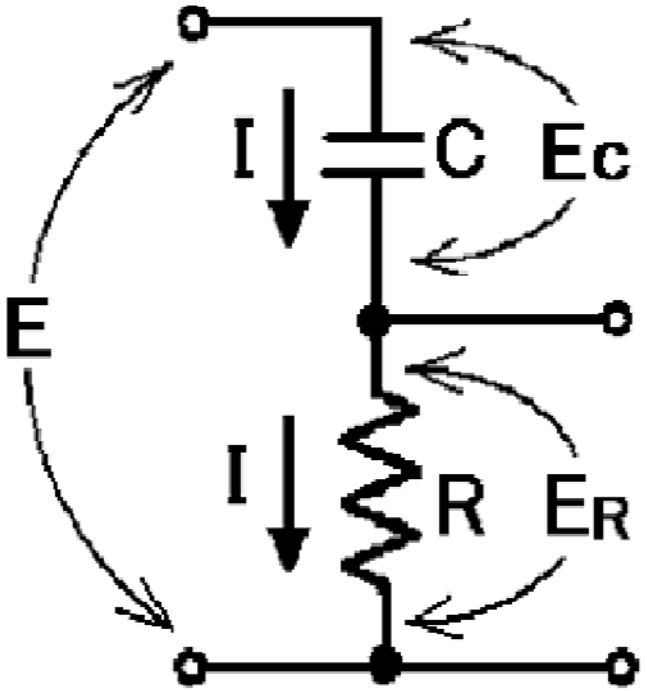
$$E = Im\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$



コンデンサの電圧の位相は、
電流より 90° 遅れる。

$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$ 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 E_R を求める。



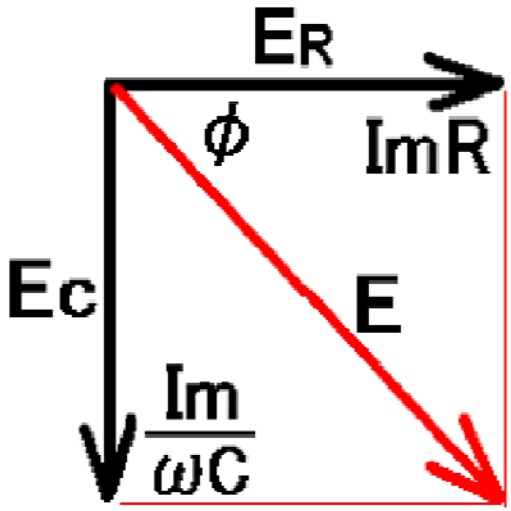
入力電圧 $E = Em \sin(\omega t)$

抵抗 R に流れる電流 I は、 $I = E / Z$

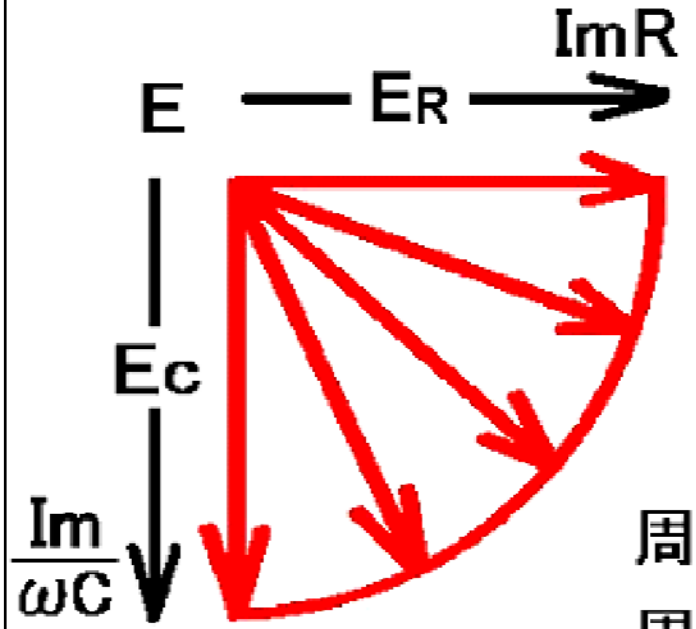
$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$ を代入して $I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$

出力電圧 E_R は、

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



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。



$$E = \sqrt{E_R^2 + E_c^2}$$

入力交流電圧 E の大きさは一定だが、
入力交流電圧の周波数が変化すると
E の向き（位相、位相角）が変化して、
E_R と Ec の大きさが変化する。

周波数が低いと Ec が大きくなり、E_R が小さくなる。

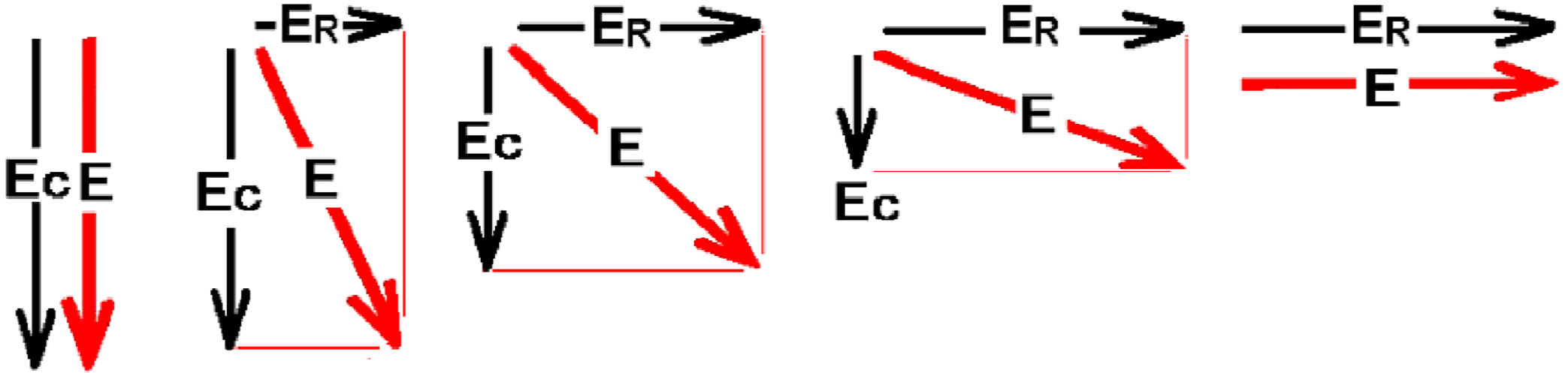
周波数が高いと Ec が小さくなり、E_R が大きくなる。

低 ⟵ 入力周波数 ⟶ 高

$\omega = 0$
$E_R = 0$
$E = E_c$

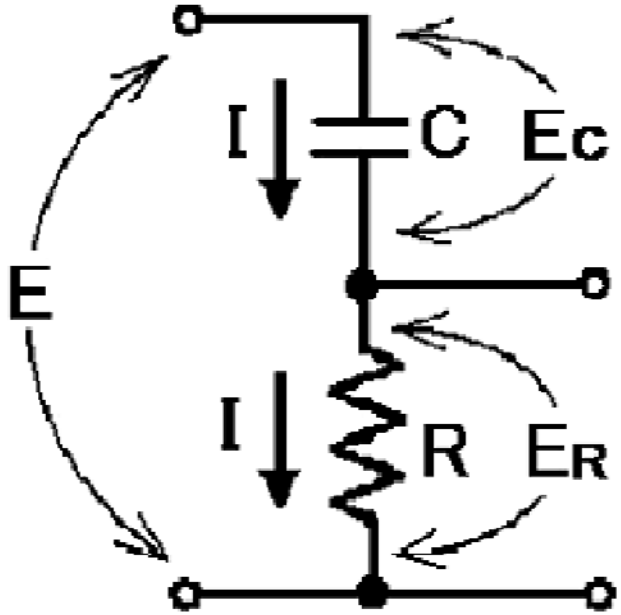
$\omega = \frac{1}{CR}$
$E_R = E_c$

$\omega = \infty$
$E_c = 0$
$E_R = E$



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。
EcとERが同じ大きさになって、出力ER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。

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

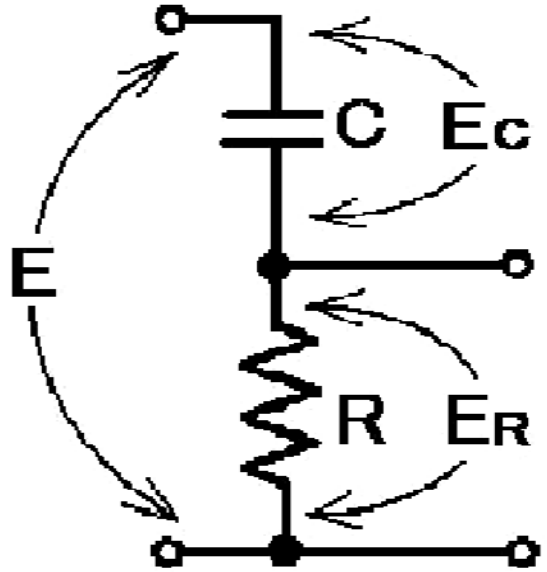
低域遮断周波数 $f_L = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi CR} = \frac{1}{2\pi\tau}$

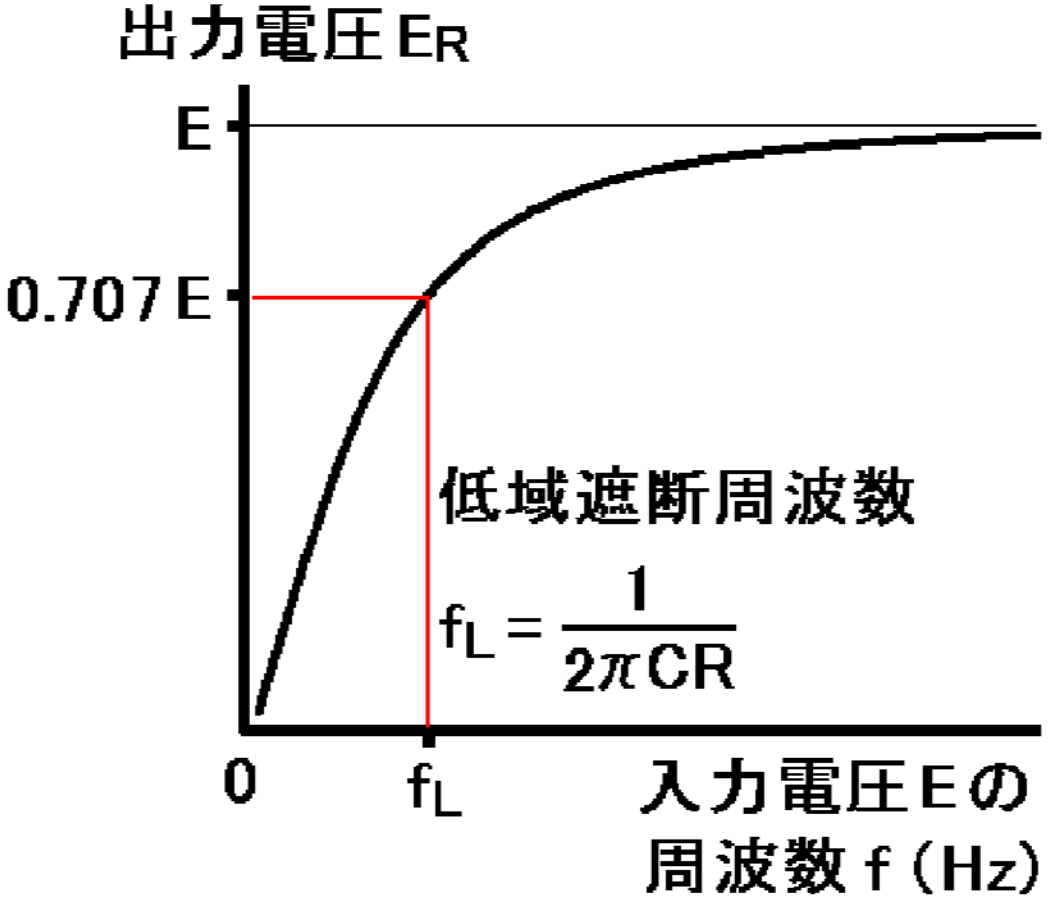
入力電圧 E の周波数が $f_L = 1/(2\pi CR)$ のとき、

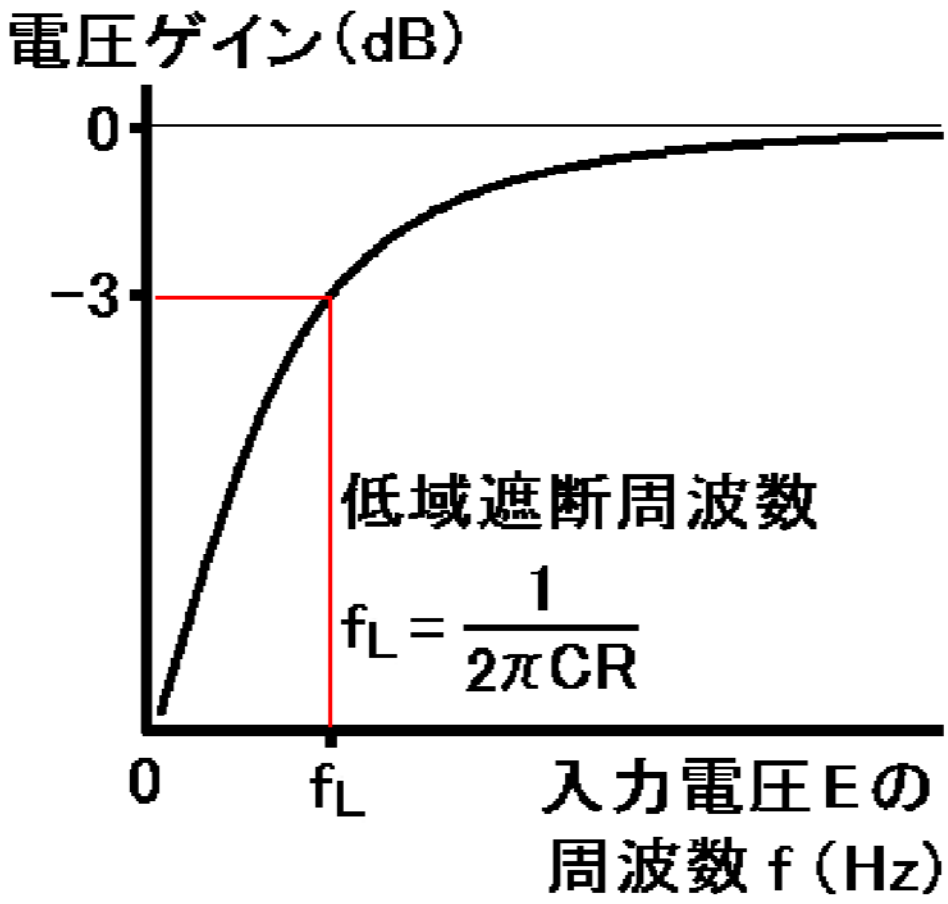
出力E_Rとの比は、$\dfrac{\text{出力電圧}}{\text{入力電圧}} = \dfrac{E_R}{E} = \dfrac{1}{\sqrt{2}}$ (=70.7%)

dB であらわすと、ゲイン $G = 20\log_{10}\dfrac{1}{\sqrt{2}} = -3\,\text{dB}$

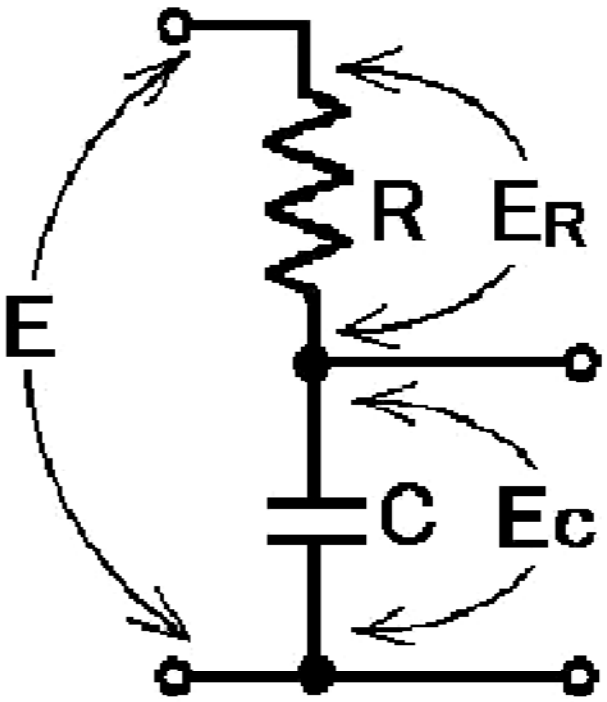
$(\log_{10}2 \fallingdotseq 0.3)$







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。

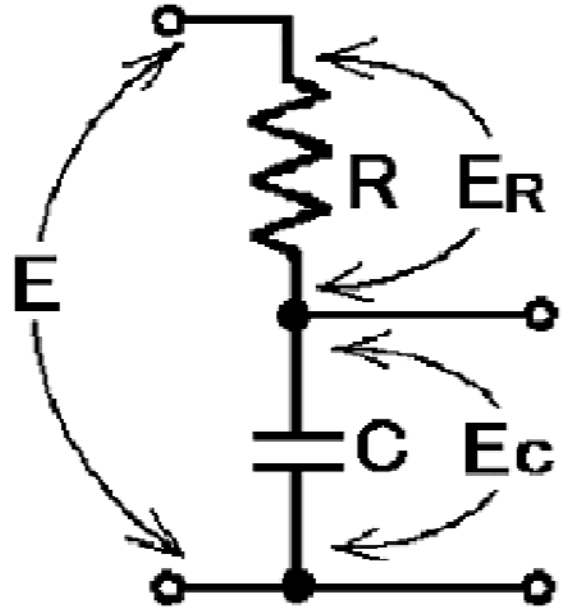
入力信号 E の周波数が高いときは、
コンデンサのインピーダンスが低いので
出力電圧 Ec は小さい。

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 $f_H = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi CR} = \frac{1}{2\pi\tau}$

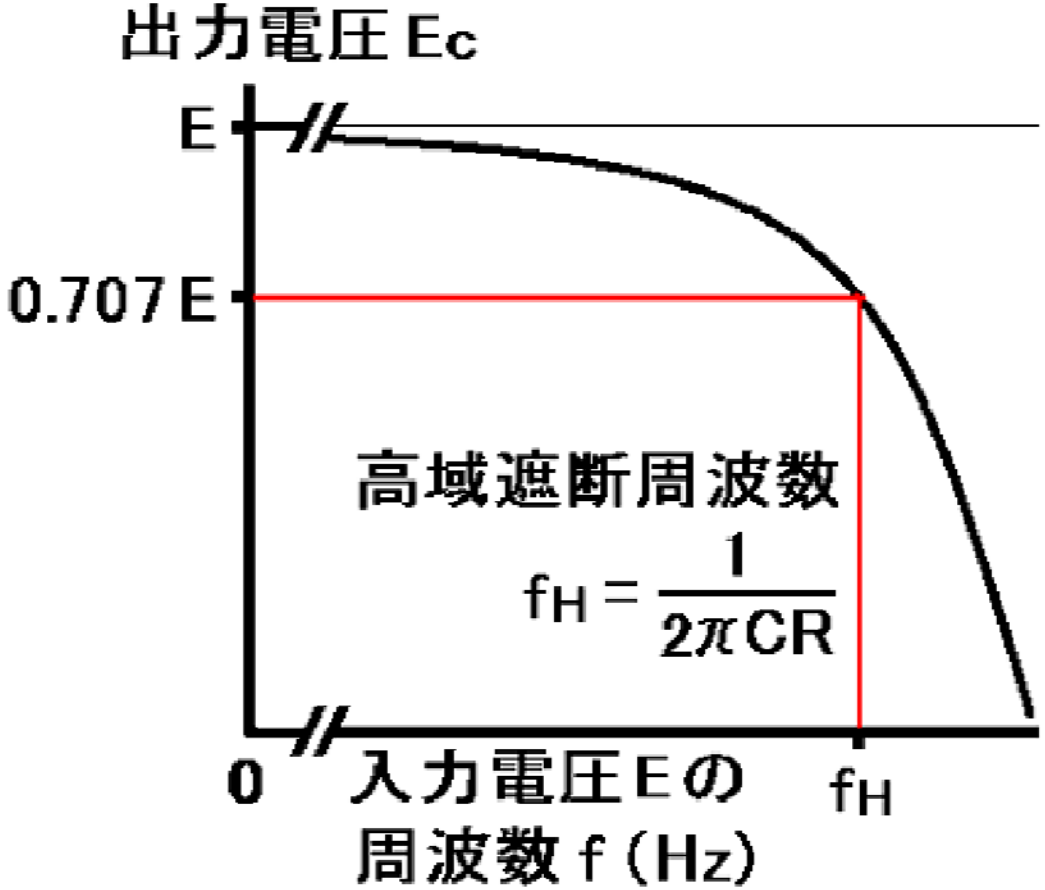
(High cut-off frequency)

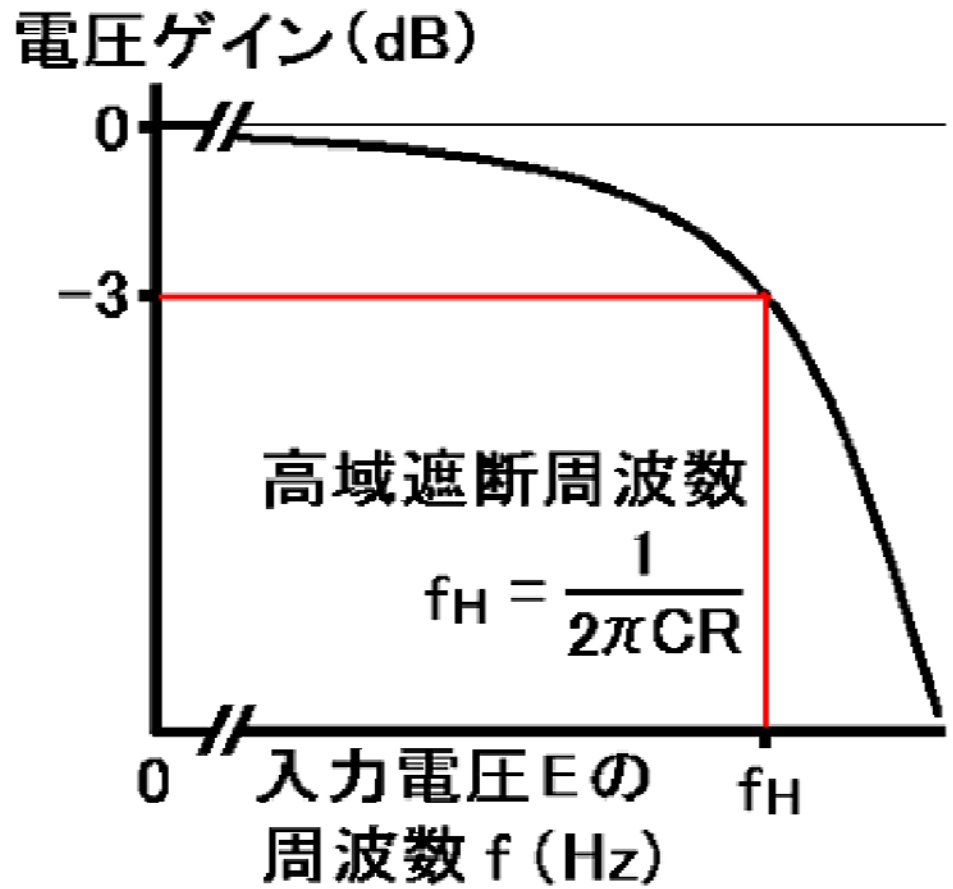
CR結合回路のコンデンサ電圧 Ec は、
入力信号の高周波成分を遮断する機能をもつ。
（高域フィルタ、高周波フィルタ）



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

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





2003年　国家試験　　解答　5

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。

1. 交流障害(ハム)を軽減させるため
2. 弁別比を向上させるため
3. 患者が電撃を受けないようにするため
4. 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

5

時定数回路 ＝ CR 回路の抵抗出力 ＝ 低周波遮断フィルタ

CR結合回路の時定数（ τ　time constant ）

τ（sec）＝C（F）x R（Ω）

遮断周波数（Hz）＝ 1／（2πCR）

（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／（2πx 3）＝ 0. 053 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
遮断周波数＝1／（2πx 0.3）＝ 0. 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。

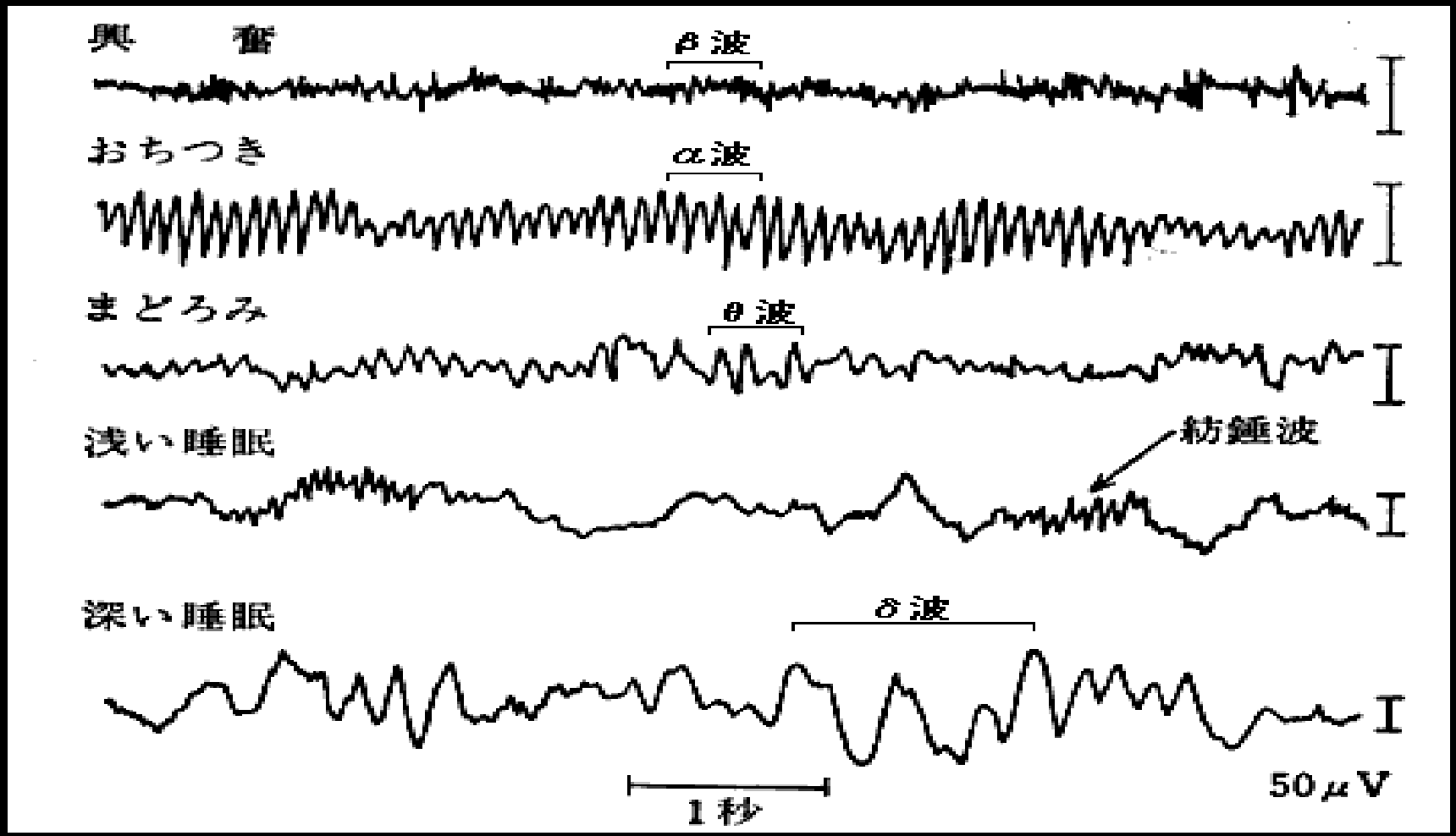
脳波の種類

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。

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

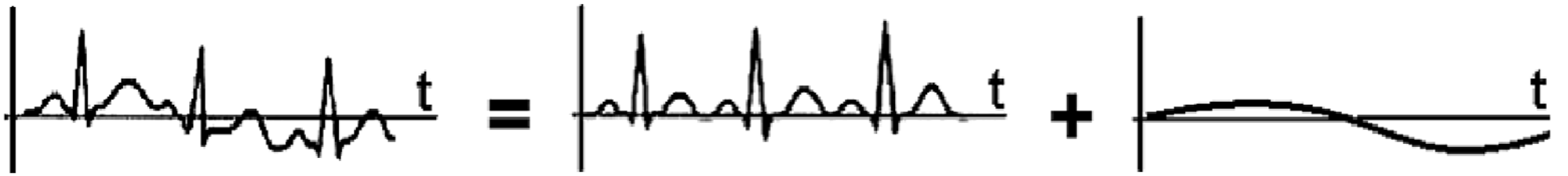
1． 50 ms	= 1秒間で 50ms は20回	＝	20 Hz	β波
2． 120 ms	= 1秒間で 120ms は約8回	＝ 約	8 Hz	α波
3． 240 ms	= 1秒間で 240ms は約4回	＝ 約	4 Hz	θ波
4． 550 ms	= 1秒間で 550ms は約2回	＝ 約	2 Hz	δ波
5． 730 ms	= 1秒間で 730ms は約1.3回	＝約	1.3Hz	δ波

脳波の周波数

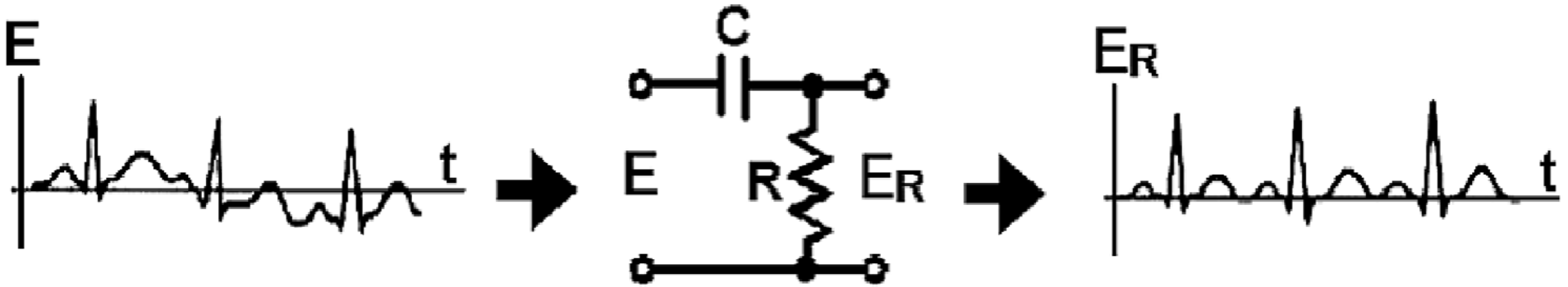
熟睡状態	デルタ波	δ	約	2 Hz
軽眠状態	シータ波	θ	約	5 Hz
安静状態	アルファ波	α	約	10 Hz
活発状態	ベータ波	β	約	20 Hz

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）



測定される電圧曲線　　心臓が出している電圧（測定したい電圧曲線）　　呼吸による電位の変動



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、ドリフト雑音という。

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。

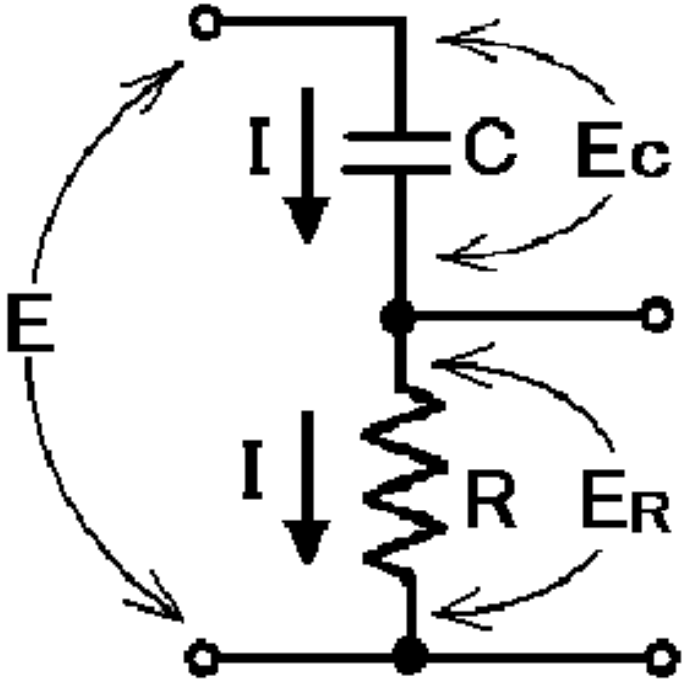
ドリフト雑音　Drift noise　　低域遮断フィルタで除去できる。

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。

$$E_R = E e^{-\frac{1}{CR}t}$$

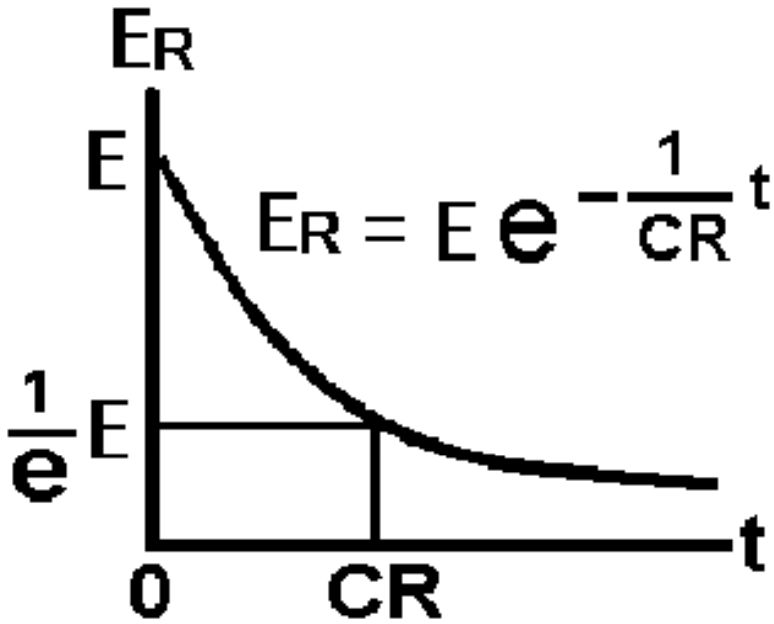
CR結合回路の式



CとRの積を、時定数 τ（タウ）という。

時定数 τ ＝CR（単位は秒）

F（ファラッド） x Ω（オーム）
＝ sec（秒）



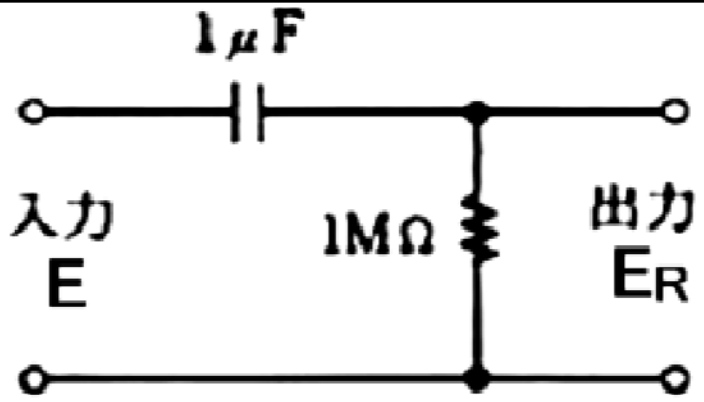
τ 秒後のE_Rの値は、
初期値の1/e（37%）になる。

（ e ≒ 2.718、 1/e ≒ 0.37）

右図のCR結合回路の時定数 τ は、

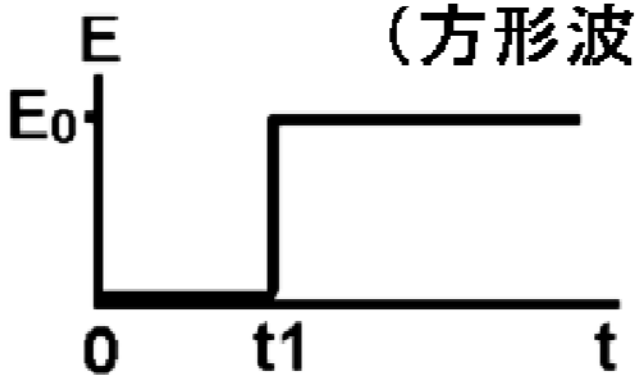
$$\tau = CR = 1(\mu F) \times 1(M\Omega)$$

$$= 1 \times 10^{-6}(F) \times 1 \times 10^{6}(\Omega) = 1(sec)$$



時間 t1 で、入力電圧が 0 から Eo に上がると、
急激な電流の変化で、時間 t1 の一瞬だけ
コンデンサの電気抵抗(容量リアクタンス)は
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なので容易に電流が流れ込む。)

ステップ電圧(矩形波)
(方形波)



(極めて周波数の高い交流が一瞬流れるのと同様な現象。)

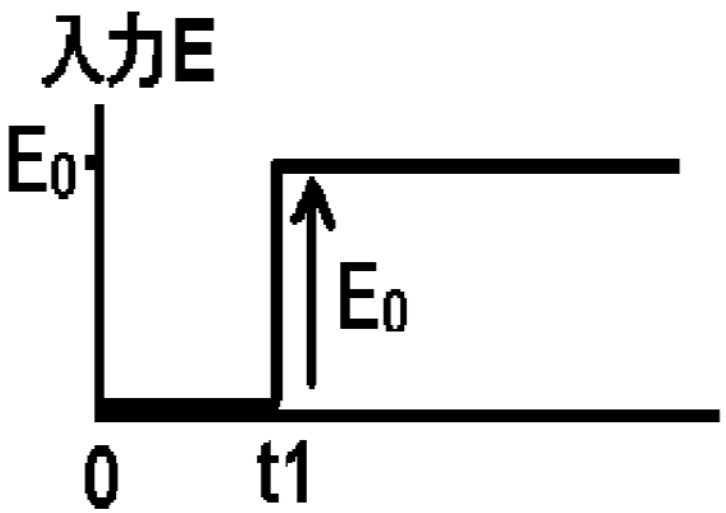
時間 t1 での出力電圧は、コンデンサの抵抗が0なので入力電圧と同じ。
時間 t1 から継続的にコンデンサに電荷が蓄積されていくので、
次第に抵抗に流れる電流が減少し、オームの法則で、出力電圧も減少。

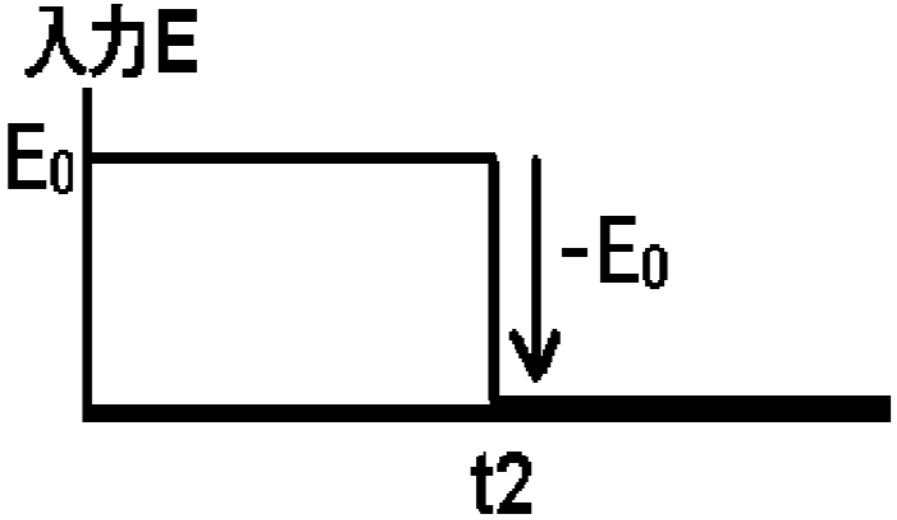
このときの出力電圧の減衰曲線が、時定数1秒の指数曲線になる。

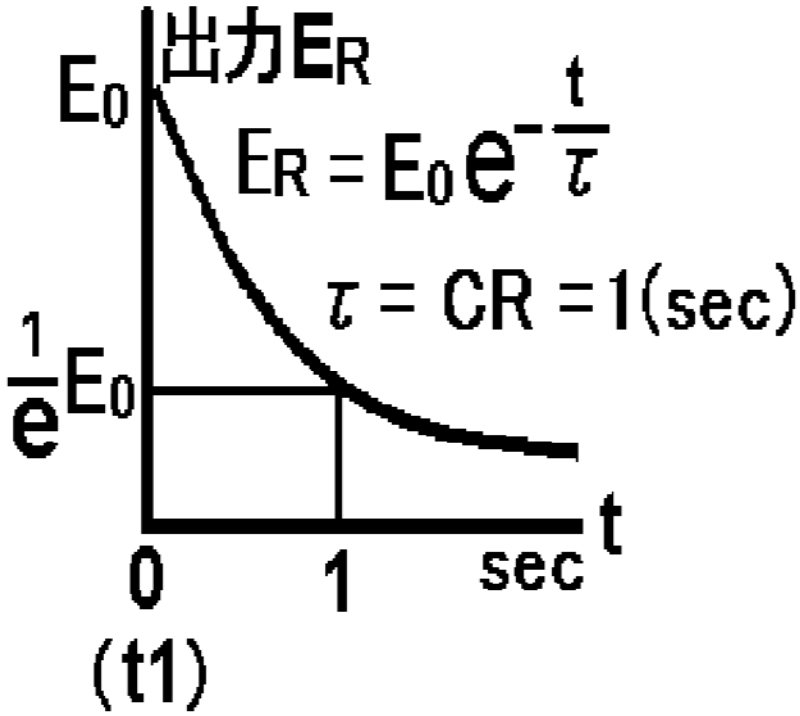
電圧の急激な上昇E_0

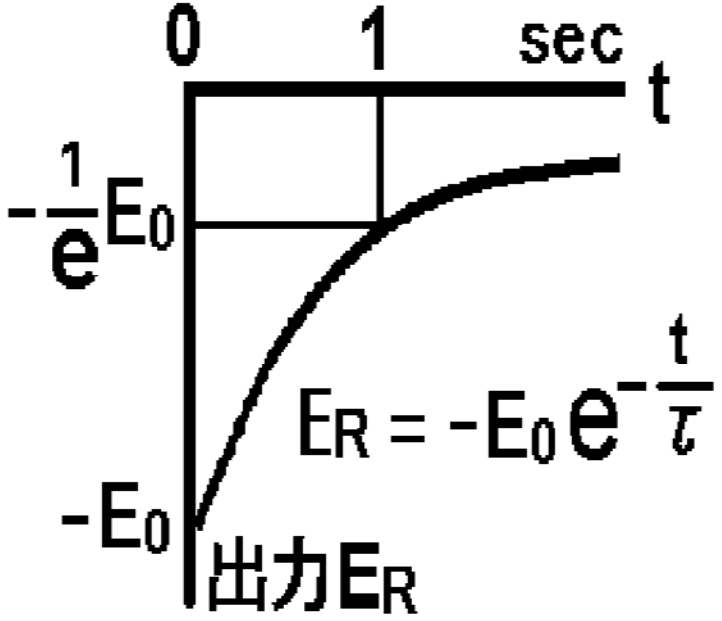
電圧の急激な減少$-E_0$が生じると

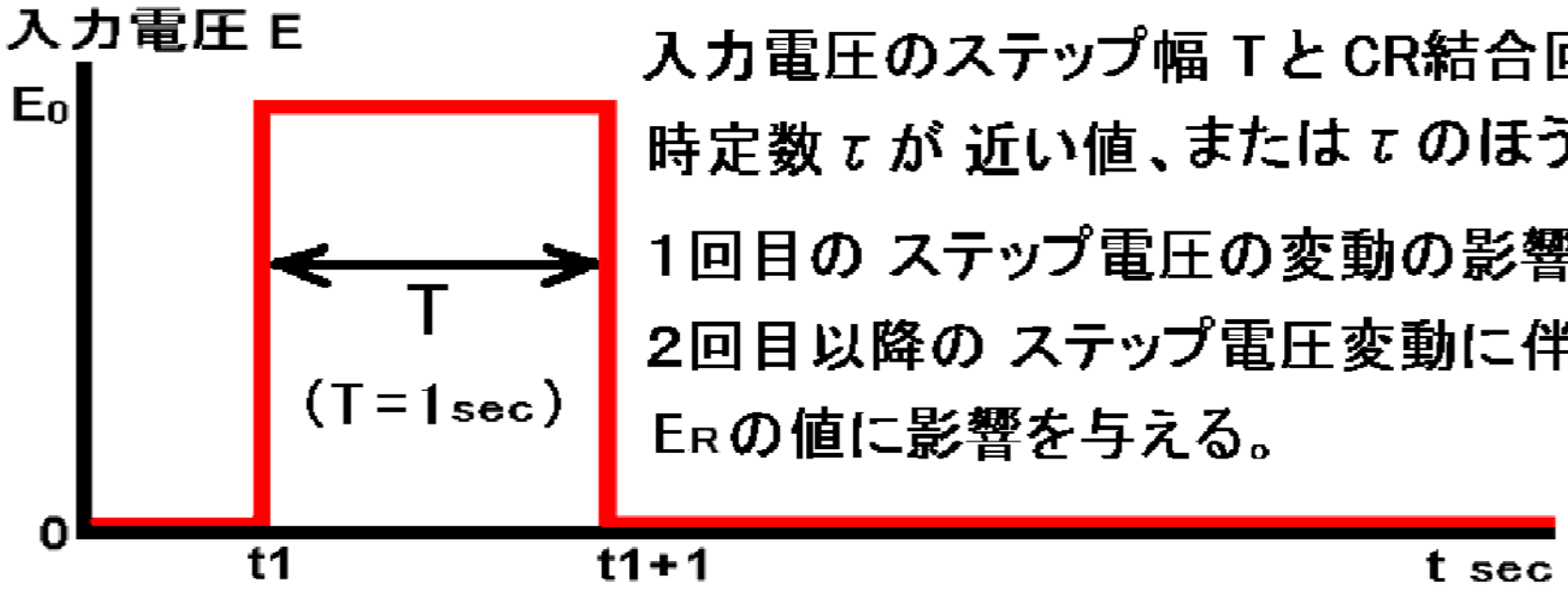
出力電圧は逆方向で、同じ現象が起きる。



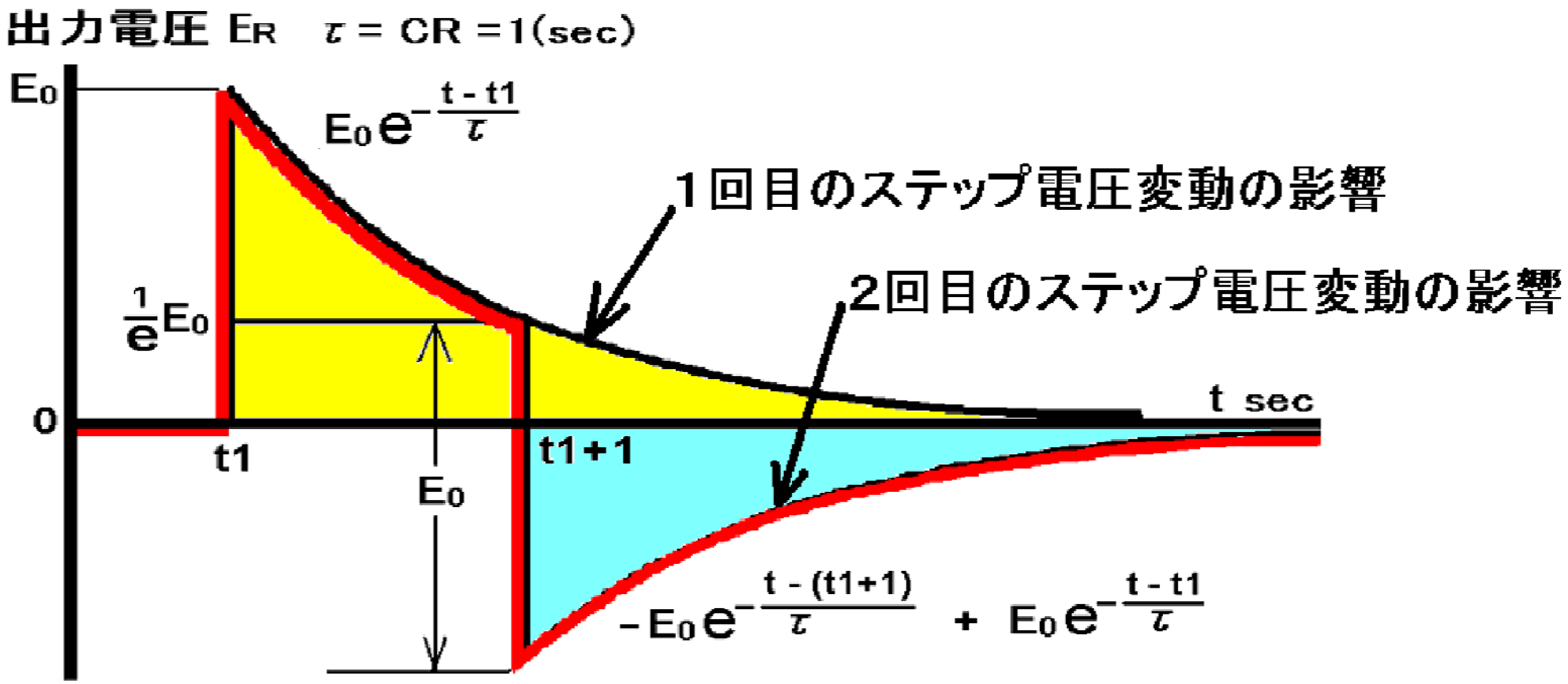




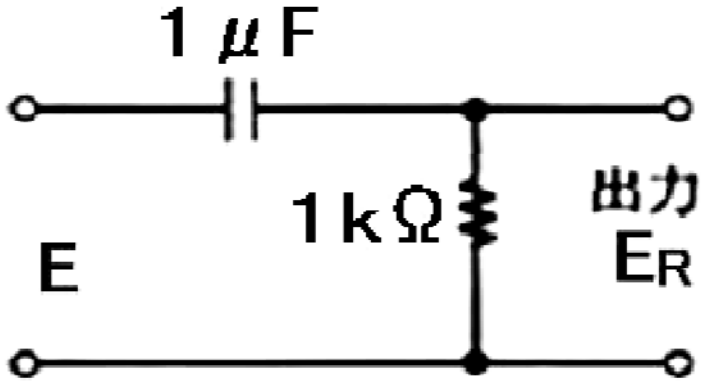




入力電圧のステップ幅 T と CR結合回路の
時定数 τ が 近い値、または τ のほうが長い場合は、
1回目の ステップ電圧の変動の影響が長時間続き、
2回目以降の ステップ電圧変動に伴う出力電圧
E_R の値に影響を与える。



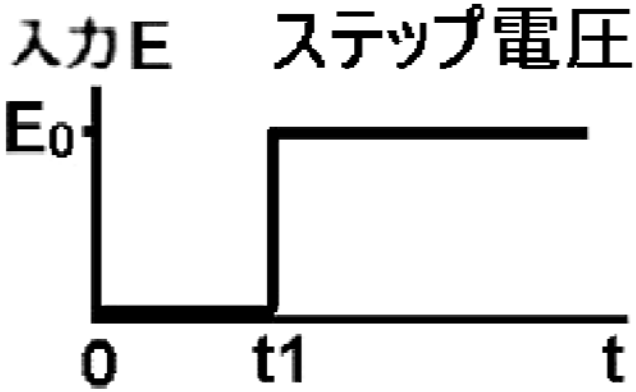
時定数がとても短い場合はどうなるか。

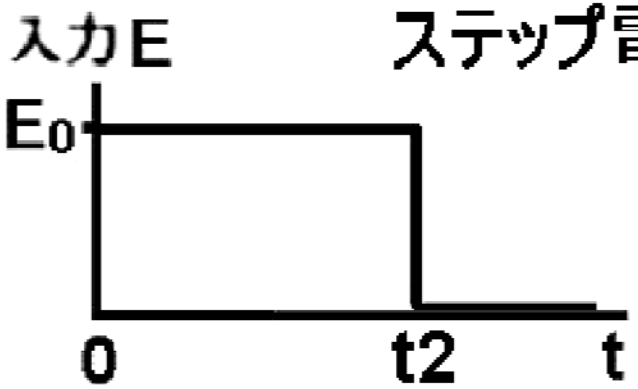


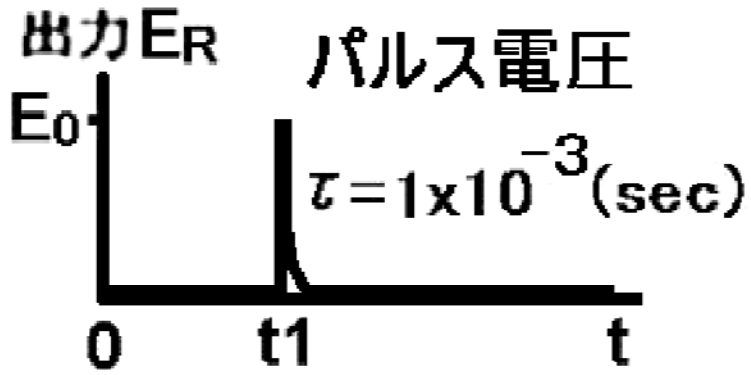
右図のCR結合回路の時定数 τ は、

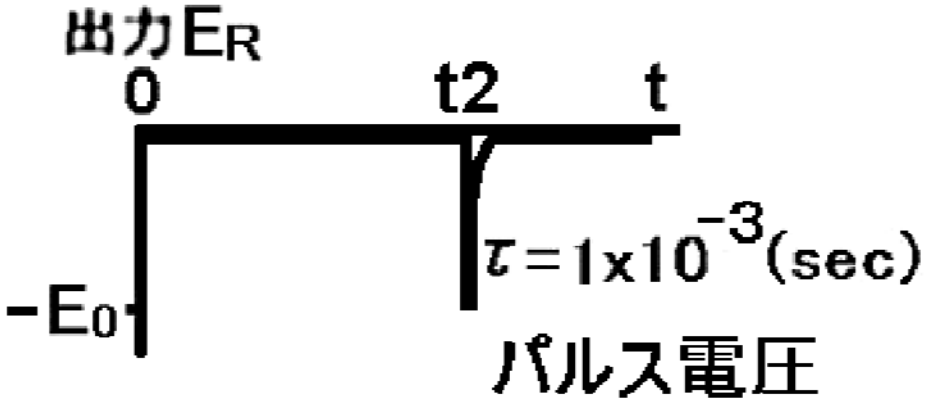
$\tau = CR = 1(\mu F) \times 1(k\Omega)$

$= 1 \times 10^{-6}(F) \times 1 \times 10^{3}(\Omega) = 1 \times 10^{-3}(sec)$





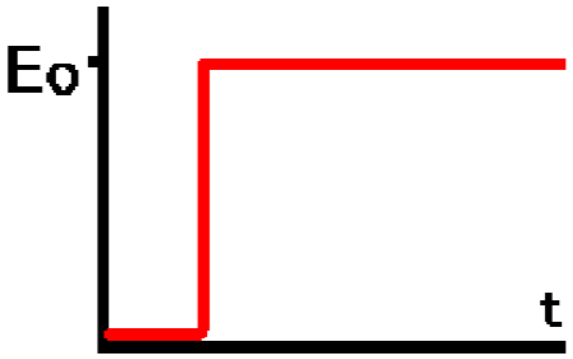


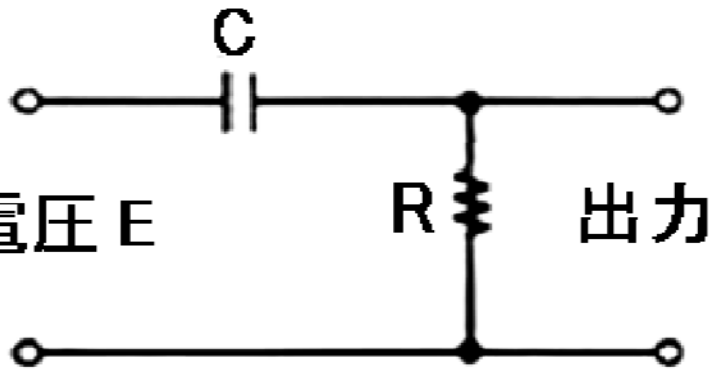


時定数が非常に短い場合は、ステップ電圧に対して

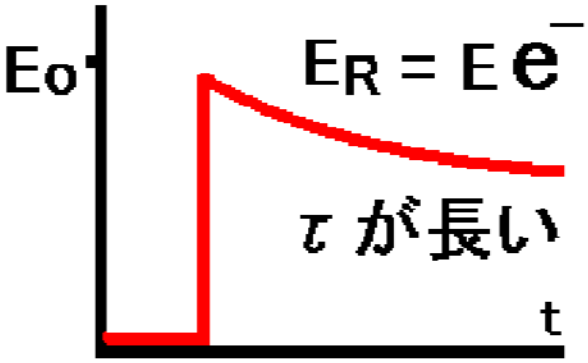
E_Rは、瞬間の電圧変化量を示すパルス電圧を出力する。

入力電圧 E





出力電圧 E_R

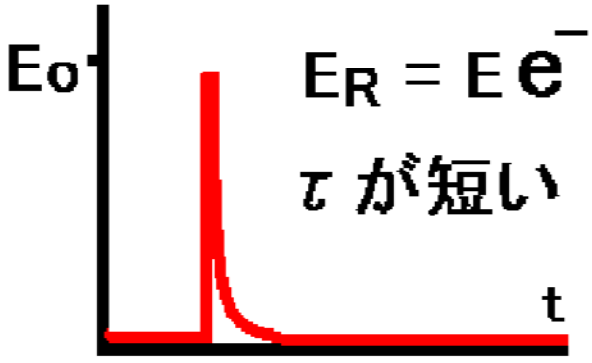


$E_R = E e^{-\frac{t}{CR}}$

τ が長い

時定数 τ (=CR) が長いと
CR結合回路の抵抗電圧 E_R は、
出力電圧の電圧変化と同じ値を示した後も、
長時間 電圧を保ち続ける。

出力電圧 E_R

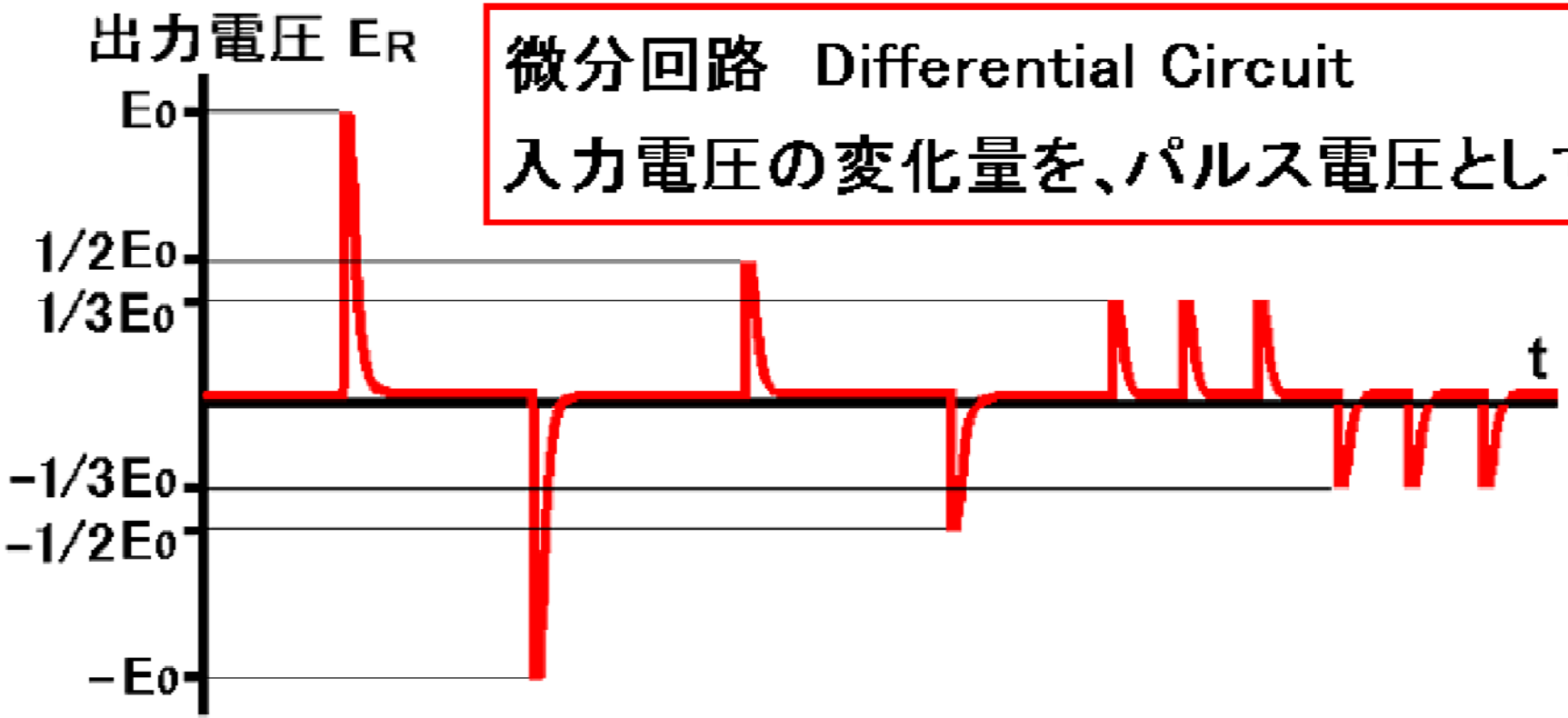


$E_R = E e^{-\frac{t}{CR}}$

τ が短い

時定数 τ が短いと
CR結合回路の抵抗電圧 E_R は、
速やかに 0 になる。
(算術的には 0 にはならないが、
実際の回路では導線の電気抵抗の影響で
0 になる。)

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 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。

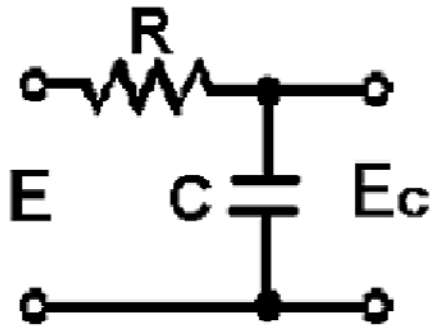


微分回路　Differential Circuit

入力電圧の変化量を、パルス電圧として出力する。

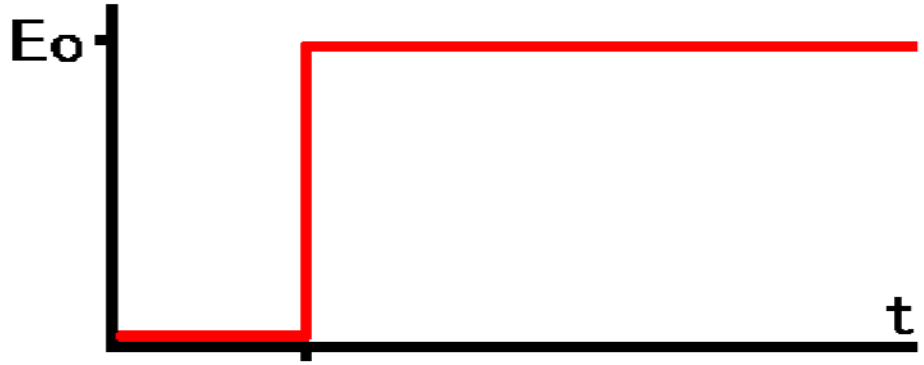
CR 結合回路の コンデンサ電圧 Ec

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

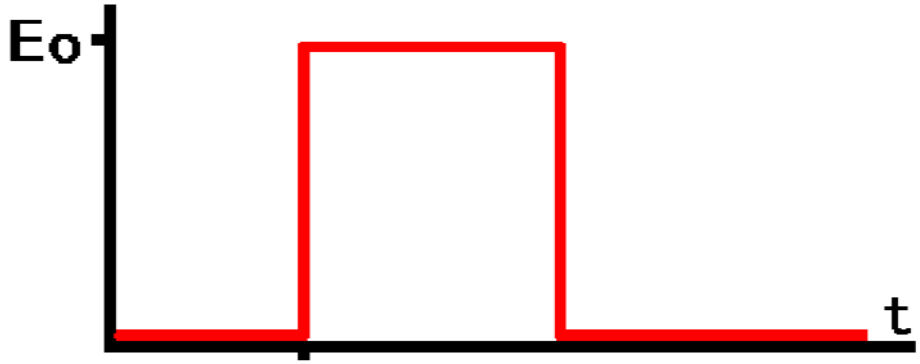


入力電圧が変動した τ 秒後の Ec は
変動電圧の 63% を示す。

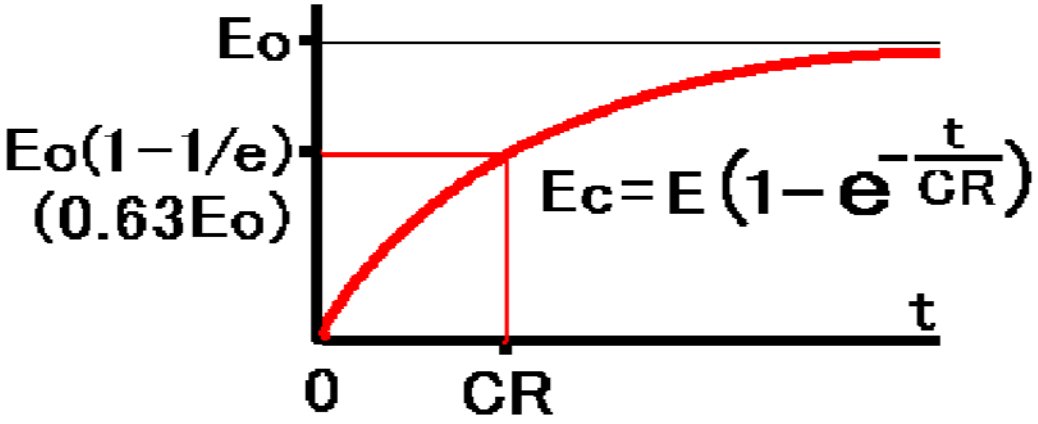
入力電圧 E



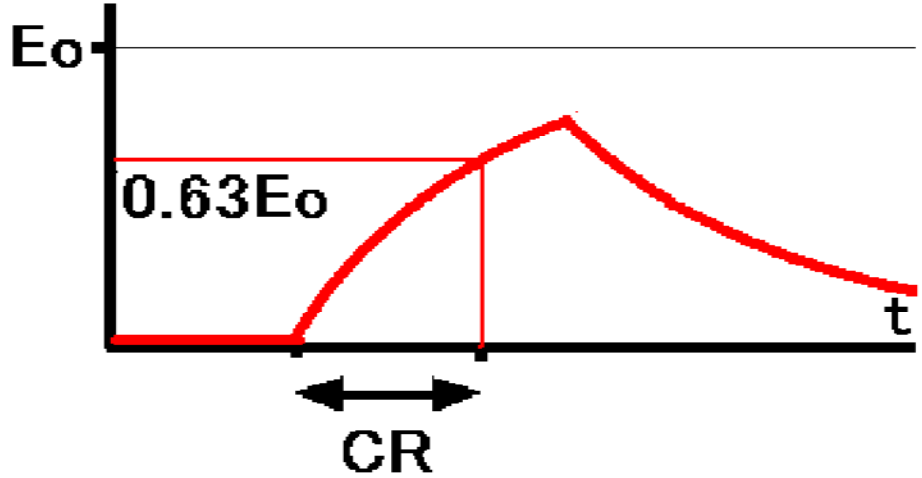
入力電圧 E



出力電圧 Ec

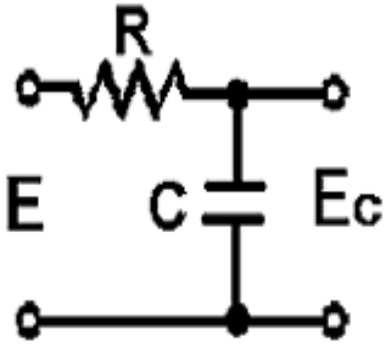


出力電圧 Ec

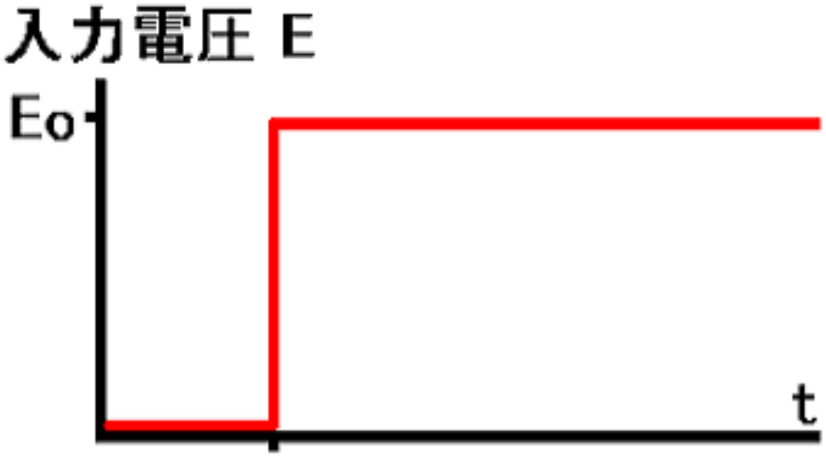


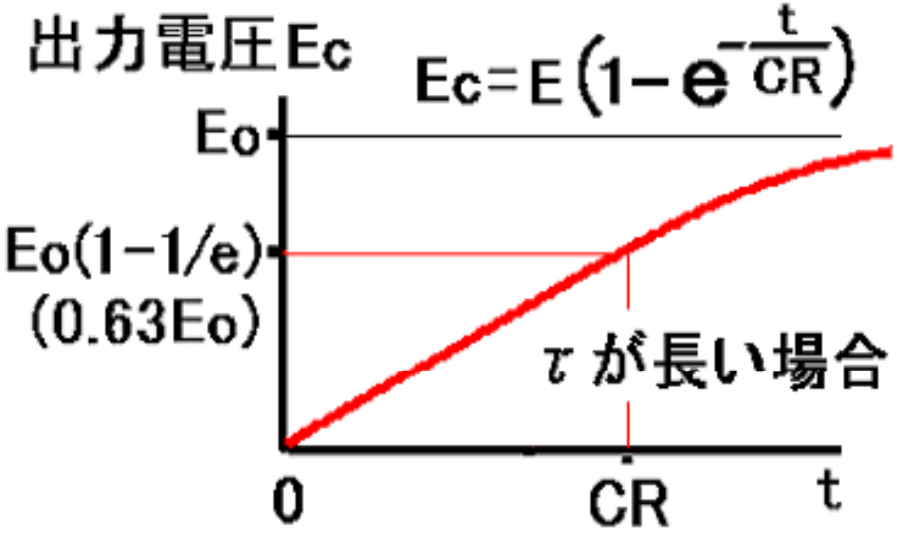
CR 結合回路の コンデンサ電圧 Ec

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



入力電圧が変動した τ 秒後の Ec は
変動電圧の 63% を示す。





積分回路 Integration Circuit

時定数が十分長いとき、

コンデンサ電圧 Ec は

経時的なコンデンサ電圧の上昇を示し、

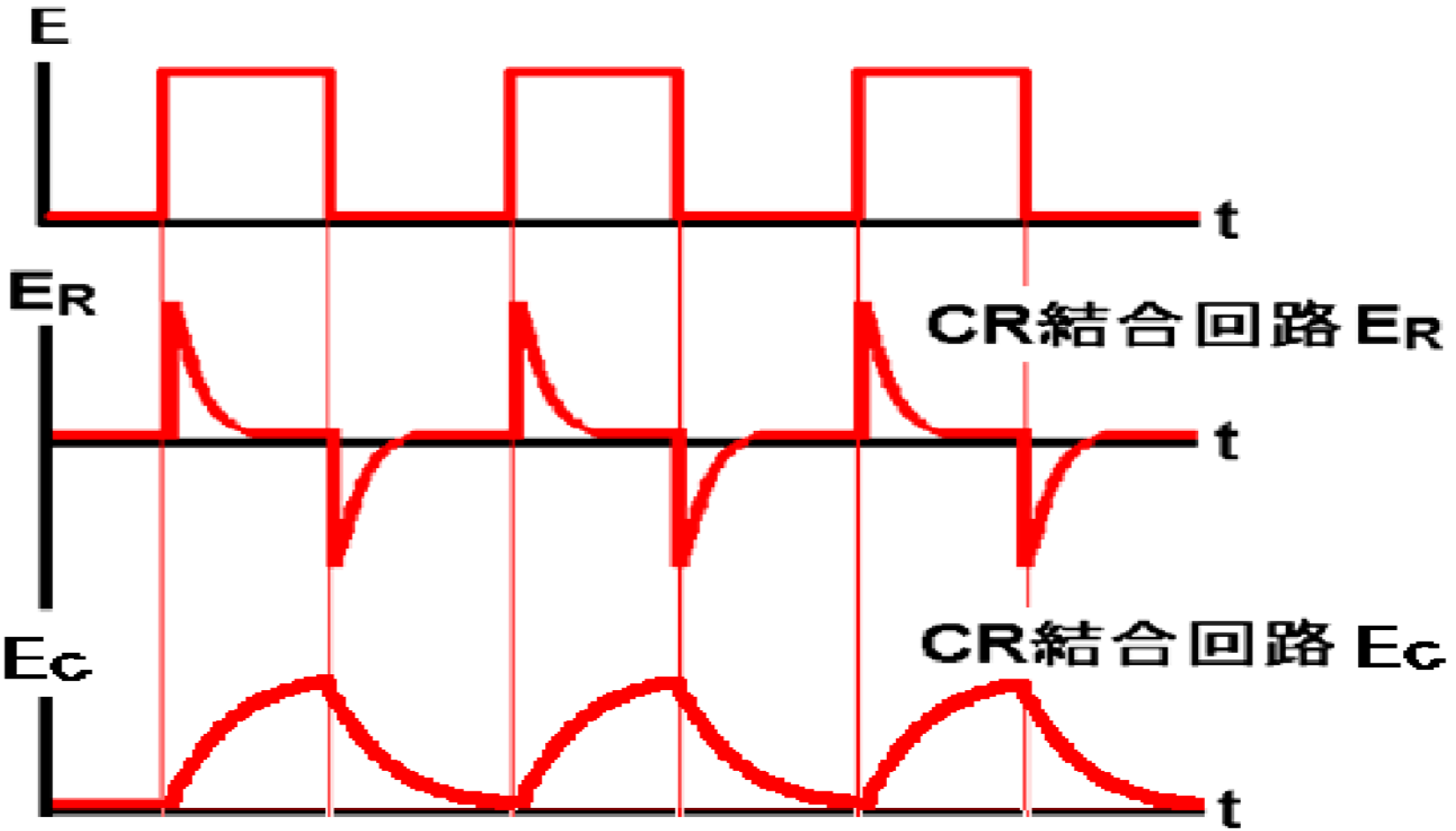
入力電圧の経時的な足し算に比例する

出力を示すので、これを積分回路という。

遅延特性　遅延回路 Delay Circuit

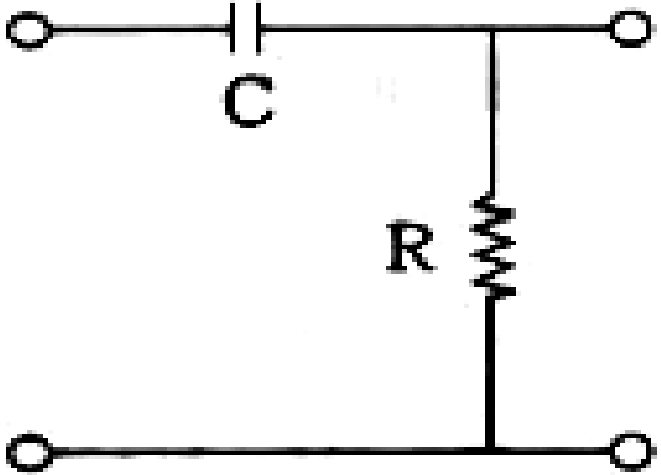
入力電圧 E の変動に対する出力電圧の反応が
一定時間だけ遅れて出現する回路。

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 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。



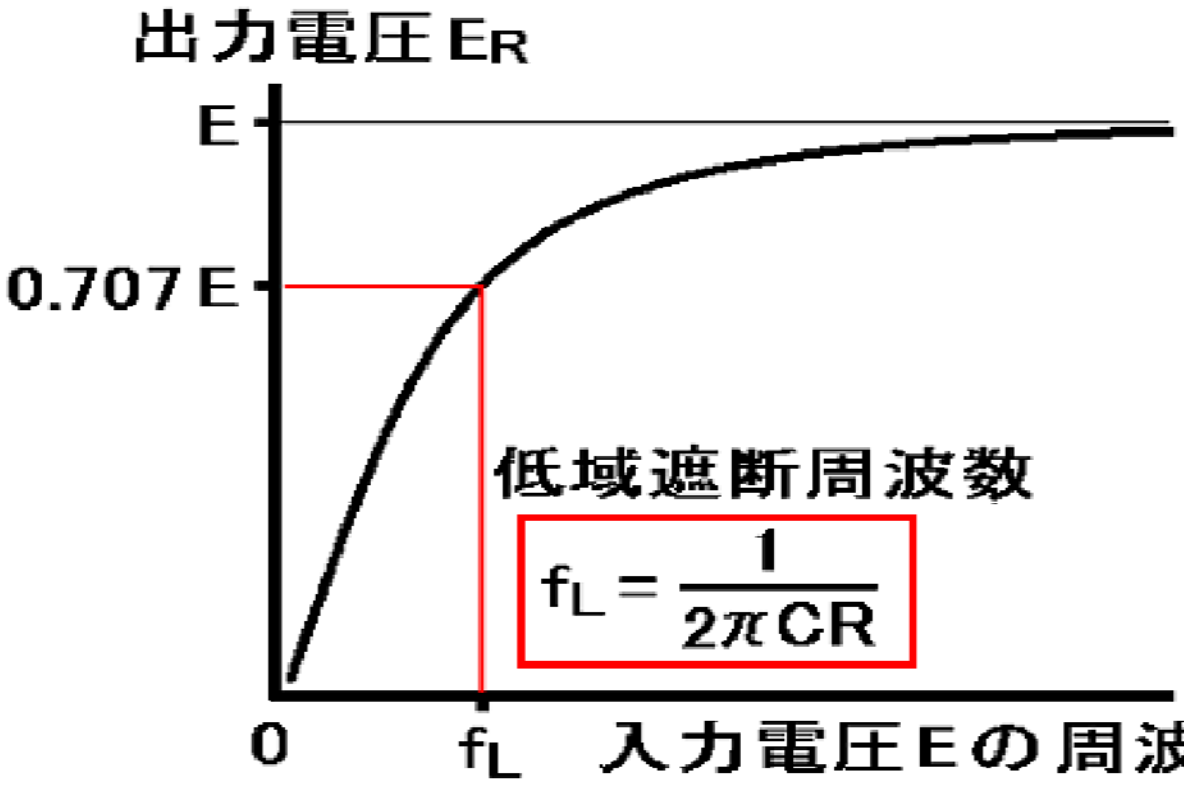
問 225☆

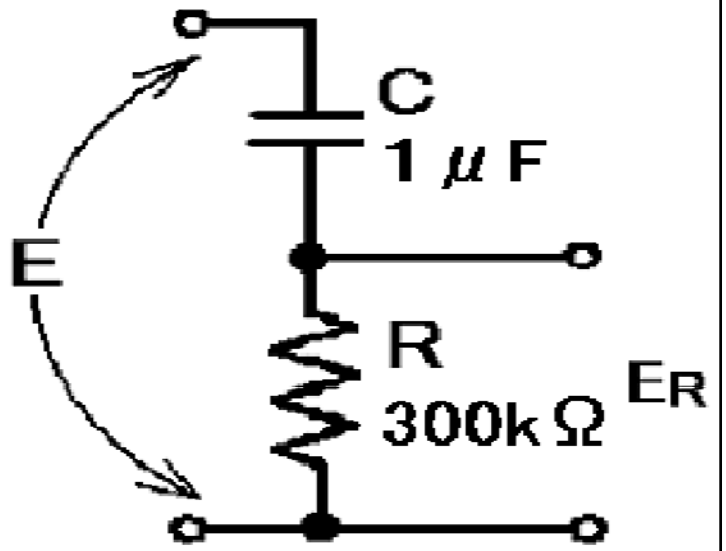
図の回路において，コンデンサの容量Cが1μF，また，抵抗値Rが300 kΩの時の遮断周波数はどれか。



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

正解 3



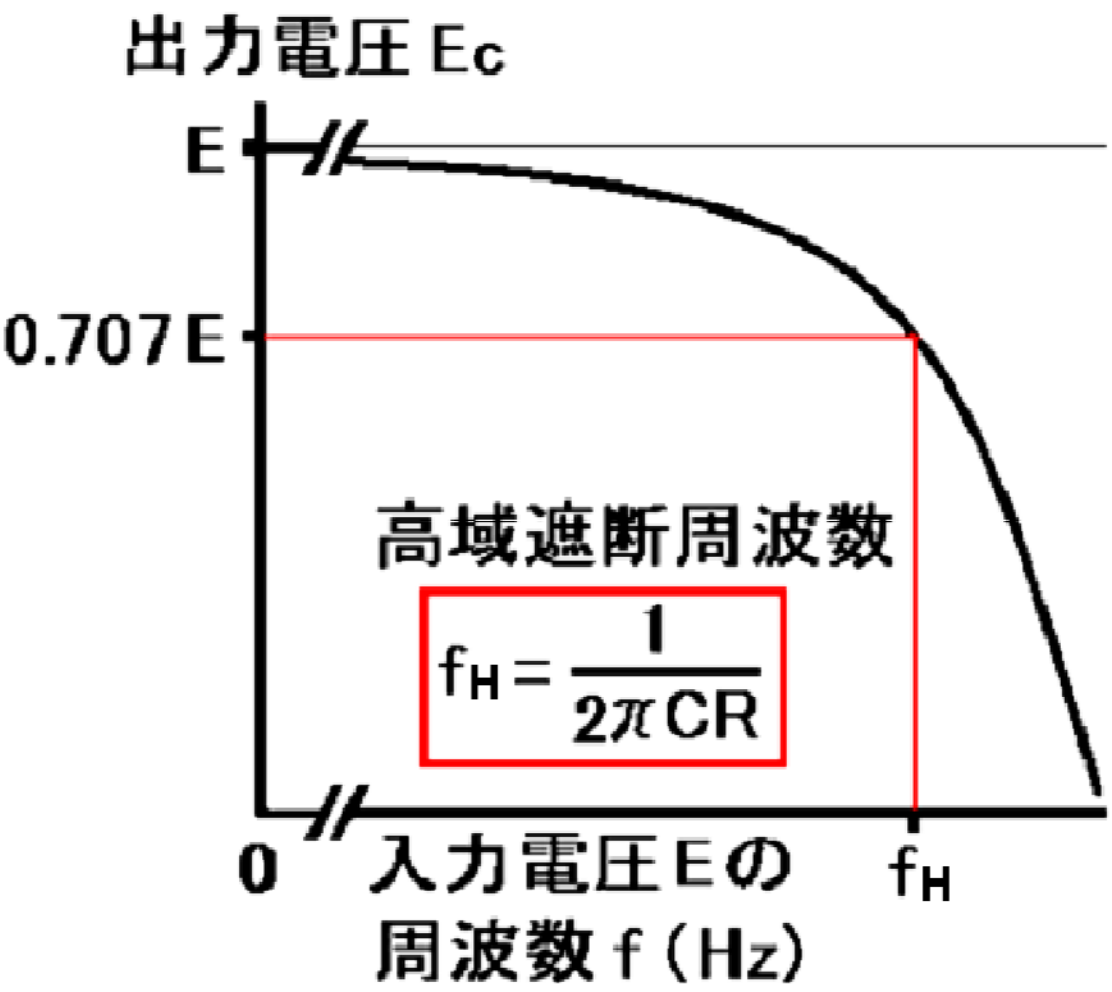


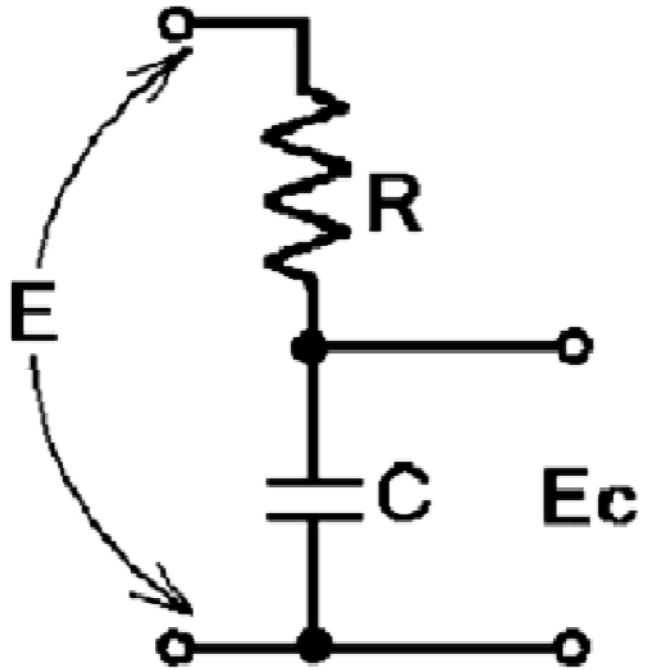
回路の時定数 τ は、$CR = 1 \times 10^{-6} \times 300 \times 10^{3} = 0.3$ (sec)

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





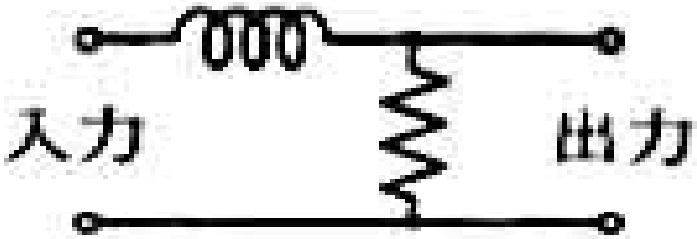
CR 結合回路のコンデンサ電圧出力 Ec は、
高周波遮断フィルタ（High cut filter = Low pass filter）
かつ、積分回路である。

積分回路は、高周波遮断フィルタの特性をもつ。

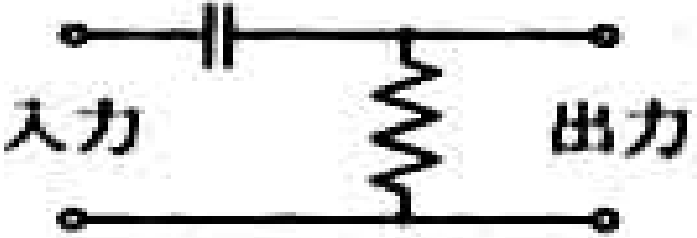
2003年　国家試験　　解答　2, 5

低域遮断フィルターとして働く回路はどれか。
2つ選べ。

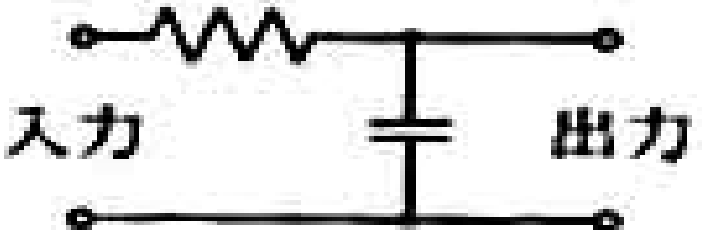
1.



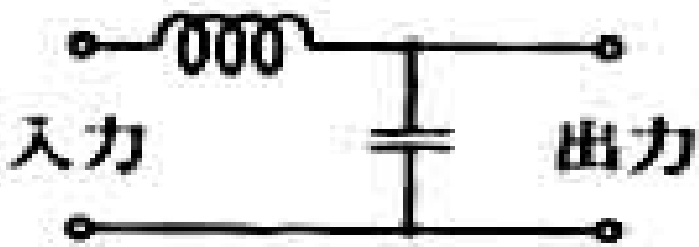
2.



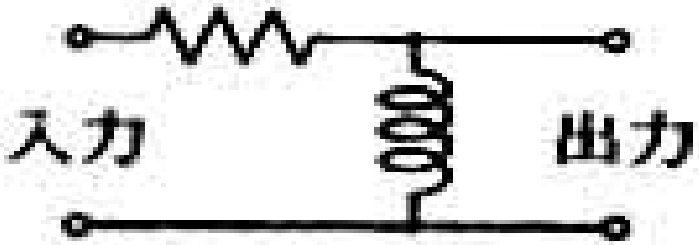
3.



4.



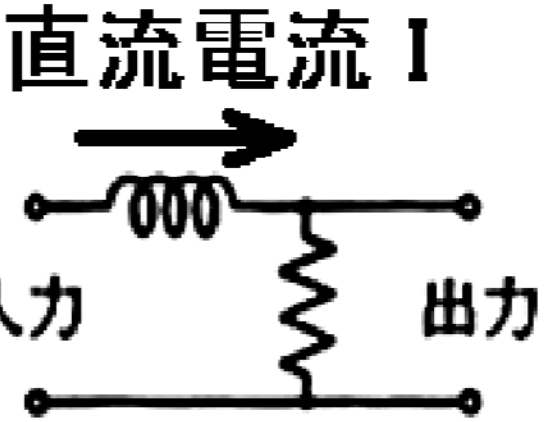
5.



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）

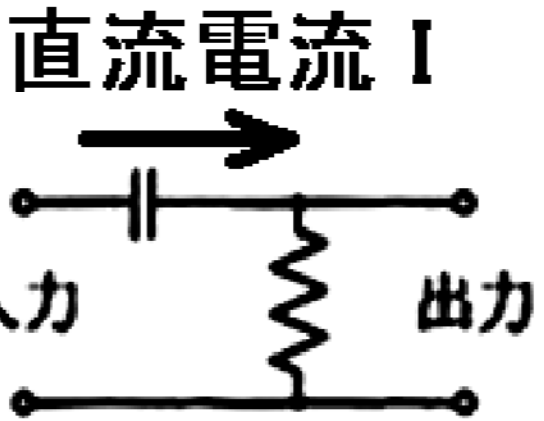
簡単な考え方は、直流を入力したときに
出力に電圧がでないものを捜す。

1.



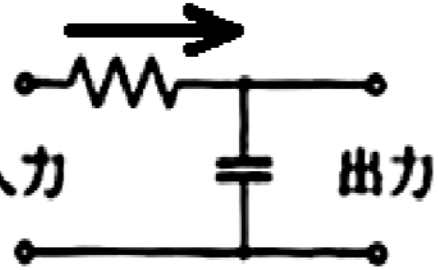
コイルは直流をよく通すので、
抵抗には電圧が生じる。
低域遮断フィルタではない。

2.



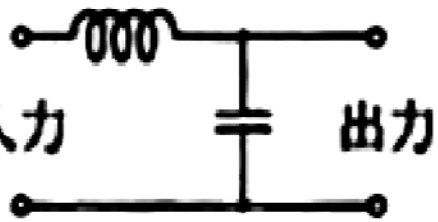
コンデンサは直流を通さないので、
直流では出力電圧は出ない。
低域遮断フィルタである。

3.



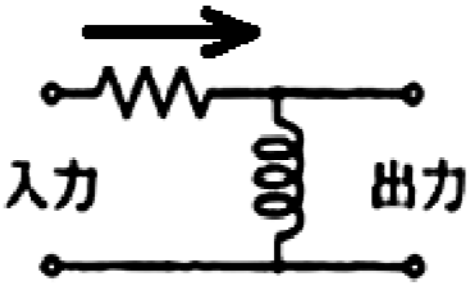
抵抗は直流を通す。
さらに出力端子につながった
コンデンサは直流を通さないので、
直流を入れると出力電圧がある。
低域遮断フィルタではない。

4.



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。

5.



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 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。

問 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。

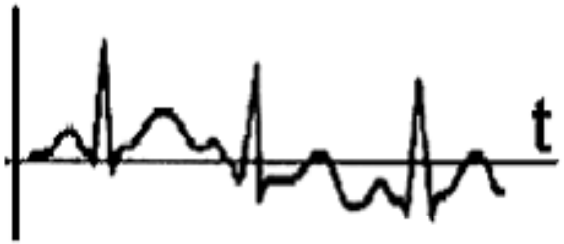
1. 遮断周波数は増幅度が$1/\sqrt{2}$となる周波数である。
2. 低域遮断フィルタの遮断周波数は1/CRである。
3. 低域遮断フィルタは積分回路として使用できる。
4. 高域遮断フィルタは微分回路として使用できる。
5. 高域遮断フィルタはドリフトを低減できる。

低周波遮断回路 ＝ 細かい振動を通す

＝ 変動成分を抽出

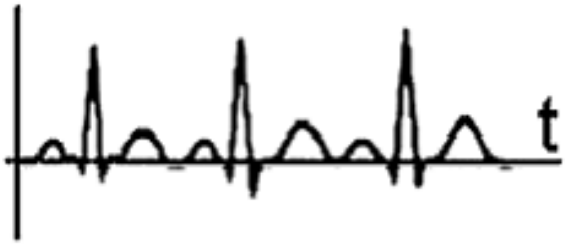
＝ 変化量の抽出 ＝ **微分**

心電図(ECG)



測定される電圧曲線

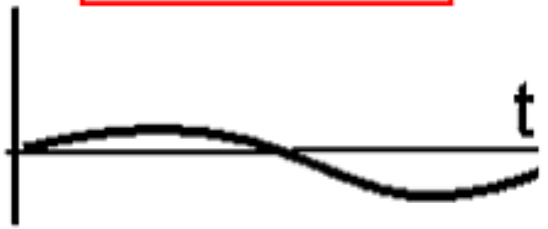
＝



心臓が出している電圧
(測定したい電圧曲線)

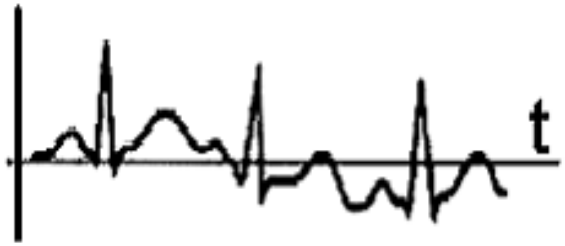
＋

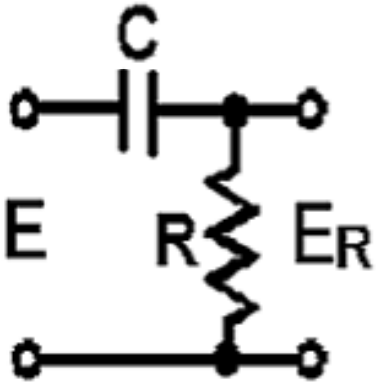
ドリフト雑音



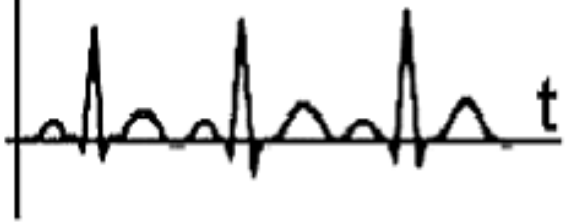
呼吸による電位の変動

E 基線動揺





E_R

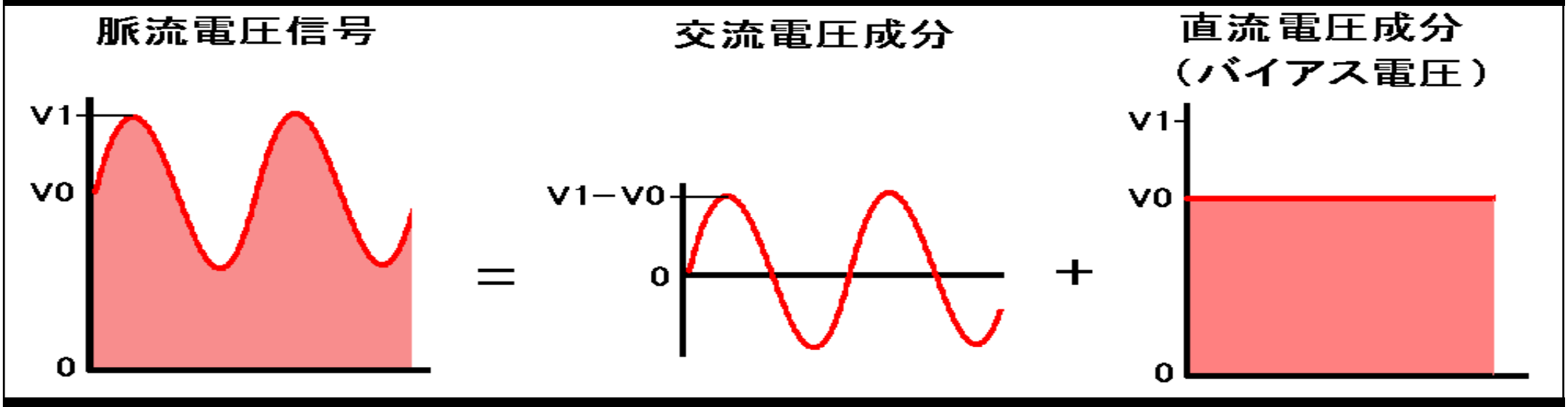


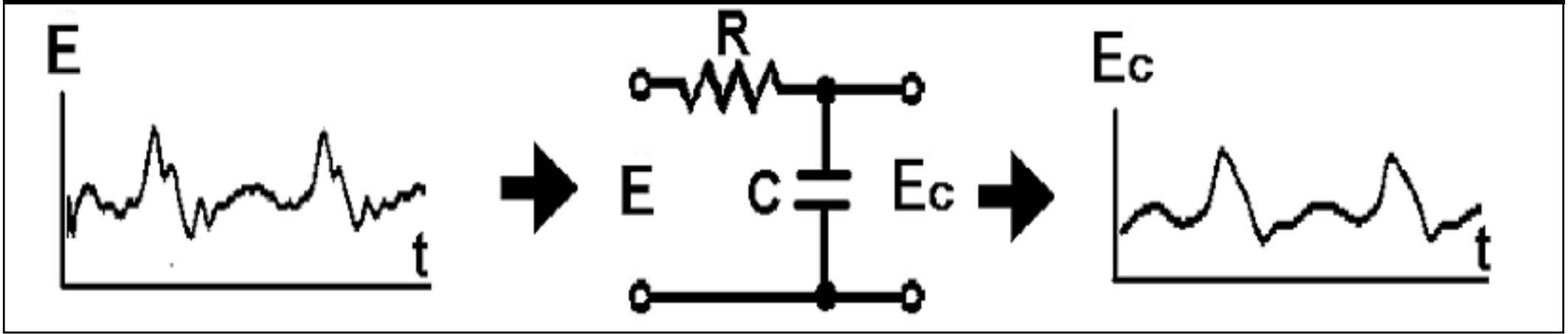
高周波遮断回路 ＝ 緩い振動を通す

＝ 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。

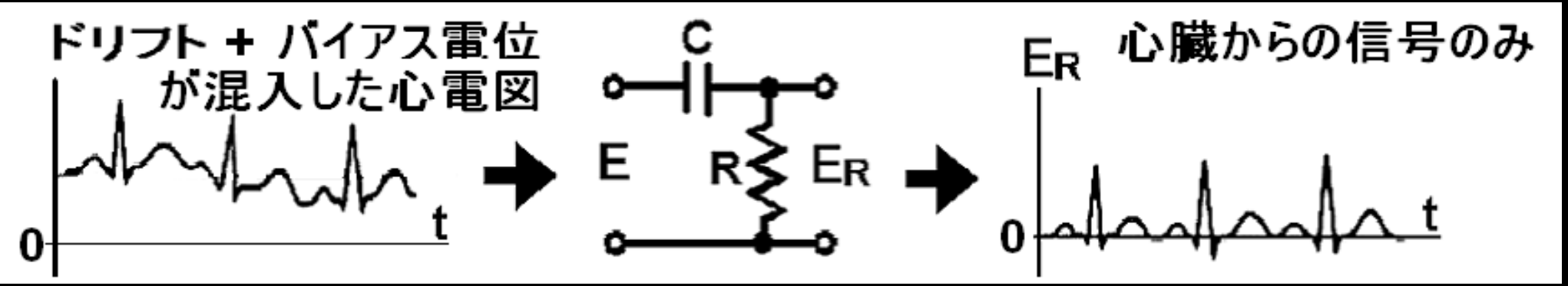
低周波遮断回路　は、緩い振動を除去する。

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

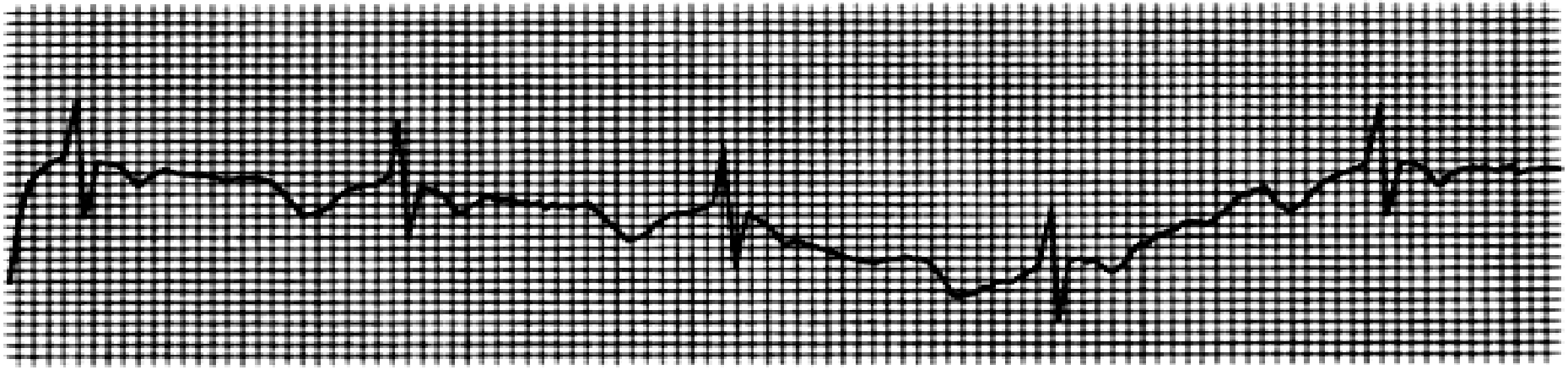
CR結合回路の抵抗電圧出力を、時定数回路という。

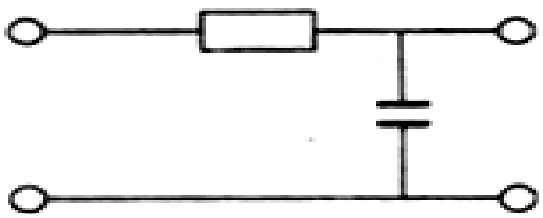


バイアス電圧（ バイアス電位）（ 脳波や心電図とは無関係に人体の体表に存在する電圧、電位）や、ドリフトノイズ（ 呼吸や体動による緩やかなノイズ ）など、重大な低周波ノイズが、**CR結合回路の抵抗電圧出力**で除去できるので、生体信号測定にとって大変重要な回路である。

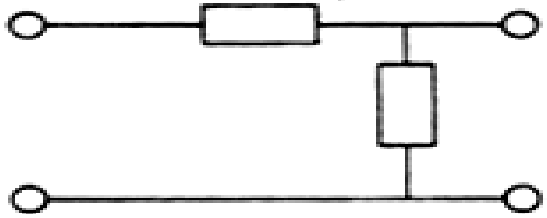
2011年　国家試験模試　　解答　3

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。

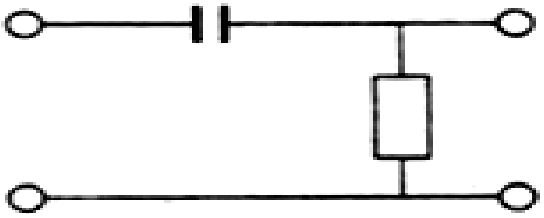




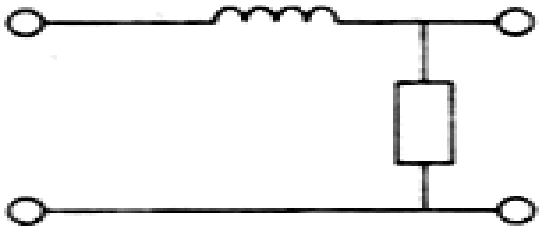
1.



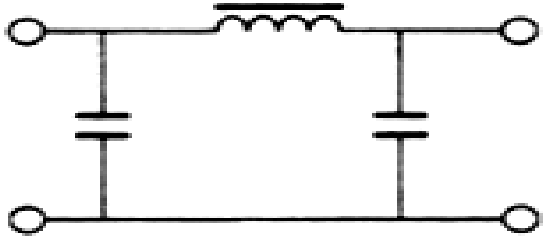
2.



3.



4.



5.

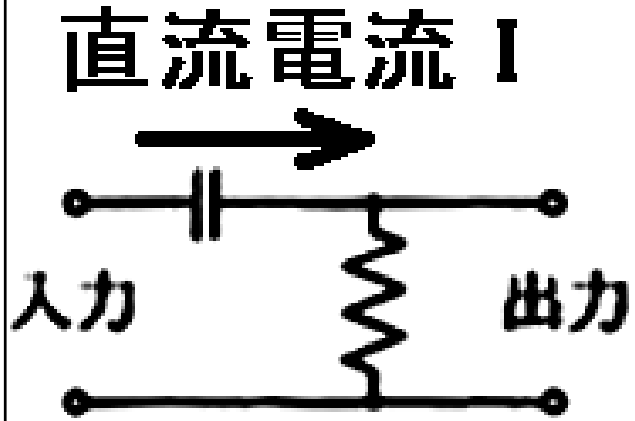
心電図の基線動揺（ドリフト雑音）は、低周波雑音。

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 E_R 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。