

**問 81** (2004)

光導電効果を利用したトランスデューサはどれか。

1. フォトダイオード
2. 太陽電池
3. CdSeセル
4. 光電管
5. フォト・カプラ

3

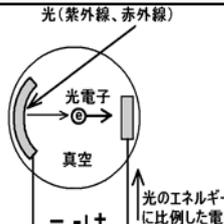
光導電効果 (光が当たると抵抗値が下がる)  
(コウドウデンコウカ: photoconductive effect)

CdS, CdSeなどに光をあてたときに生じる電気伝導度(コンダクタンス)の変化。

**光電効果 (Photoelectric effect)**

光電管 (photo tube)

光(赤外線や紫外線を含む)が当たると光のエネルギー(周波数)に比例した電流を放出する電子管(真空管)。



真空中で、金属に光を照射すると金属表面から電子(光電子)が飛び出る現象。  
(1887年ヘルツによって発見。)

1905年にアインシュタインは、光電効果は、光が粒子(光子)としての性質を持つことを示す現象と説明し、ノーベル賞受賞。



**光センサ**

**CdS素子 光導電効果**  
光センサ。光伝導(導電)セル。  
硫化カドミウム CdS を使った抵抗で、光が当たると、抵抗値が小さくなる。  
車のヘッドライトの点灯確認装置などに利用。



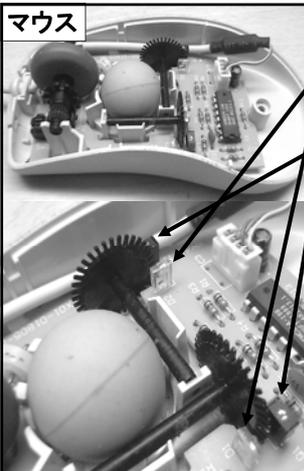
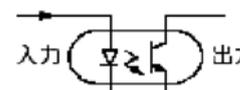
**フォトダイオード、フォトランジスタ**  
**光起電力効果**  
光が半導体のPN接合部に当たると電子が接合部を通りやすくなる性質を利用した光センサ。  
CdSより小型で、光に対する反応が速い。



**マウス**

**フォトカプラ Photo-Coupler**  
発光ダイオードとフォトダイオードまたはフォトランジスタをカップルにした素子。

間に歯車を入れて角度計測や、入力信号と出力信号を電気的に絶縁するための素子。  
入力と出力間は光を使って伝達するので電気絶縁とともにノイズを伝えにくい特性もある。

**問 110 ☆** (既出問題)

トランスデューサについて正しい組合せはどれか。

1. 硫化カドミウム — 光によるインダクタンスの変化
2. サーミスタ — 熱によるキャパシタンスの変化
3. ストレインゲージ — 変位による抵抗の変化
4. 可動コイル — 変位速度による抵抗の変化
5. 圧電素子 — 圧力による伝導度の変化

[注解] 1. 硫化カドミウム(CdS)はセレン化カドミウム(CdSe)と同様、光によって抵抗が変化するトランスデューサである。

3

コンデンサの単位 : ファラッド (F)

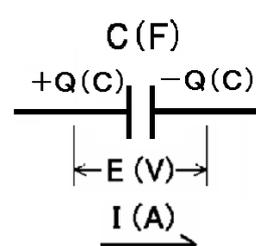
コンデンサが蓄える静電容量(キャパシタンス)の限度。  
capacitance [名] 静電容量 capacity [名] 収容能力  
1対の金属板に、それぞれプラスマイナス1(C)の電荷量が蓄えられた状態で1(V)の電圧を示すコンデンサの静電容量を1(F)とする。

静電容量C(F)のコンデンサの端子間電圧がE(V)のとき、蓄えられた電荷量Q(C)は

$$Q = CE \quad C = Q/E$$

(電圧が1Vのときは、 $Q = C$ )

コンデンサの電荷量が静電容量に達すると、直流電流を通さない。



116☆ (2003)

測定される物理量が起電力に変換されるトランスジューサはどれか。

- a サーミスタ
- b ストレンゲージ
- c ホール素子
- d 熱電対
- e ポテンシオメータ

- 1. a, b    2. a, e    3. b, c
- 4. c, d    5. d, e

〔注解〕 a サーミスタは温度変化を電気抵抗変化としてとらえる。

b ストレンゲージはひずみや圧力変化を電気抵抗変化としてとらえる。

c ホール素子は磁場を起電力としてとらえる。

d 熱電対は温度変化を起電力としてとらえる。

e ポテンシオメータは変位を電気抵抗変化としてとらえる。

なお、ある物理量を起電力に変換するセンサ・トランスジューサには、熱電子対、電磁流量計、圧力素子、フォトダイオード、ホール素子、イオン電気変換などがある。また、ある物理量を電気抵抗に変換するセンサ・トランスジューサには、ストレンゲージ、サーミスタ、量子効果式、サーミスタ式流速計、溶存酸素濃度電気変換、溶存炭酸ガス濃度電気変換などがある。

4

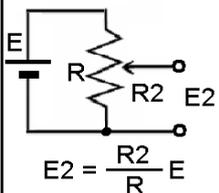
ポテンシオメータ

potentiometer【名】〔電気〕電位差計、分圧器。

potential【形】〔物〕位置の meter【名】計量器

ジョイスティックなど、位置の情報を、可変抵抗器で読み取るセンサ。

位置情報を抵抗値や電圧で出力。



119☆

正しい組合せはどれか。2つ選べ。

- 1. 超音波ドブラ血流計——ゼーベック効果
- 2. 熱電子対——ファラデーの法則
- 3. 圧電素子——ピエゾ効果
- 4. ホール素子——ドブラ効果
- 5. フォトダイオード——光起電力効果

〔注解〕 1. 超音波ドブラ血流計はドブラ効果を利用している。

2. 熱電子対はゼーベック効果を利用している。

3. 圧電素子はピエゾ効果を利用している。

4. ホール素子はファラデーの法則を利用している。

5. フォトダイオードは光起電力効果を利用している。

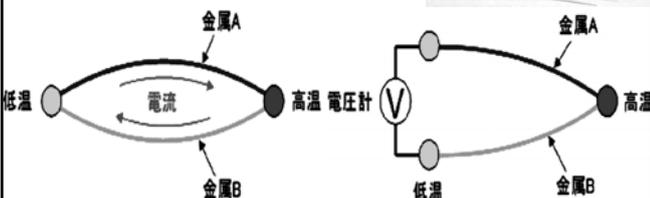
3, 5

熱電対 (熱電子対)

異なる材料の2本の金属線を接続して1つの回路をつくり、ふたつの接点に温度差を与えると、回路に電圧が発生する。(ゼーベック効果)

片端を開放すれば、温度を電位差で検出できる。

この現象を利用した温度計を熱電対という

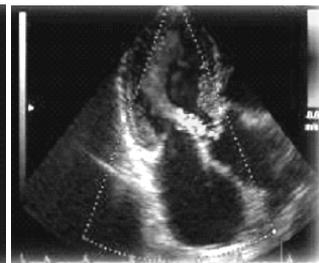


ドップラー効果 Doppler's effect

音波または電磁波(光など)を発する部位が動くと観測される音や光の周波数が変化する現象。

1842年 ドップラーが発見。

超音波装置(ドップラーエコー)などに利用される。



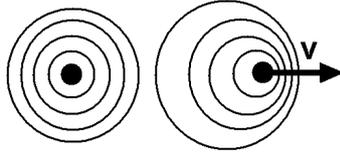
センサ(探触子)に近づく方向の血流が赤色、遠ざかる方向の血流が青色で表示される。

音を出す物が動くと、進行方向では音の周波数が高くなる。  
音を出す物に近付きながら音を聞くと周波数が高くなる。

音の周波数を  $f$  Hz (1秒に  $f$  回振動)、音の速度を  $C$  (m/s)、  
音波の波長を  $\lambda$  (m)、物体の速度を  $V$  (m/s) とする。  
音の速度  $C$  (m/s) = 音波が1秒間に進む距離、長さ  
= 1秒間の波の数  $f$  (cycle/s)  $\times$  波1個の長さ  $\lambda$  (m/cycle)  
= 周波数  $f \times$  波長  $\lambda$

波の基本式

$$C = f \lambda$$



周波数  $f$  の音源が静止しているときの音の波長 (音波1個の長さ)  $\lambda$  は、 $\lambda = C / f$  ( $C$  は音速)

音源が速さ  $V$  で、測定者の方向へ動くと測定される音の波長は、 $\lambda_1 = (C - V) / f$  (長さ  $C - V$  の中に音波が  $f$  個ある。)

測定される周波数  $f_1$  は、 $f_1 = C / \lambda_1 = (C / (C - V)) f$

音源が近づくと音が高くなる。

音源が静止した状態で、測定者が速さ  $V$  で音源の方向へ動くと測定者が測る音の速さは、 $C + V$

測定者が、1秒間に聞く音の波の数は、 $f$  の  $(C+V)/C$  倍になる

測定者の聞く周波数は、 $f_2 = ((C+V) / C) f$

音源に近づくと音が高くなる。

エコープローブ (探触子) 血流速度  $V$  エコープローブから周波数  $f$  の超音波が出て、プローブに向かって速度  $V$  で動く血球にはね返されたとき、

血流速度  $V$  血球が返す反射波の周波数  $f_1$  は  $f_1 = \frac{C+V}{C} f$  (測定者が速度  $V$  で動いている。)

血流速度  $V$  プローブが測定する反射波の周波数  $f_2$  は、 $f_2 = \frac{C}{C-V} f_1 = \frac{C}{C-V} \frac{C+V}{C} f = \frac{C+V}{C-V} f$  (音源が速度  $V$  で動いている。)

プローブの垂線方向と血管走行との角度が  $\theta$  のとき、プローブが出した超音波周波数 (3 MHz ~ 10 MHz) と反射波周波数との差を測ると、血流速度  $V$  が測定できる。(  $\theta$  は画像から求める。)

カラードプラーエコーで表示される血流速度は  $\theta$  が 0 と仮定した場合の値なので、正確に血流を表示したい場合はプローブの垂線方向をできるだけ血管走行に近づける。(できるだけ  $\theta$  を 0 にする。)

$$f_2 = \frac{C+V \cos \theta}{C-V \cos \theta} f$$

$$f_2 - f = \frac{C+V \cos \theta - (C-V \cos \theta)}{C-V \cos \theta} f$$

$$= \frac{2V \cos \theta}{C-V \cos \theta} f$$

$$\approx \frac{2V \cos \theta}{C} f$$

$V$  : 血流速度 1 m/s 以下  
 $C$  : 体内の音波速度 約 1530 m/s  
 $C$  の値は体温、個人差で変動する。よって  $C - V \cos \theta$  は、 $C$  としても計算結果はほとんど同じ。

問 109 ☆ (既出問題)

誤っている組合せはどれか。

1. 電力 ———— ワット
2. インピーダンス — オーム
3. コンダクタンス — ジーメン
4. 増幅度 ———— デシベル
5. インダクタンス — ファラッド

[注解] 1. 電圧  $V$  と電流  $I$  との積を電力  $W$  (ワット) という。  $W = VI = RI^2$  ( $R$  は抵抗) の関係式がある。  
2. コンデンサやコイルは流れる電流の周波数によって抵抗値が変化する。そのため周波数依存性の抵抗をインピーダンスと呼び単位は直流 (周波数  $f = 0$ ) 抵抗と同じオームが使われる。

3. 抵効率の逆数が導電率であり、電流の流れやすさの指標となる。単位はミリジーメンズ/センチメートル(ms/cm)で示される。

4. あるブラックボックスの入口と出口の信号(または物理現象)の大きさの比を表す単位としてデシベル(dB)がある。例えば電気信号であれば増幅器の入力信号電圧 $V_i$ 、出力信号電圧 $V_o$ をデシベルで表現するためには、 $20 \log V_o/V_i$ の式より求めることができる。

5. インダクタンスの単位はヘンリ [H] でありファラッドはコンデンサの容量の単位である。

従って5が誤り。  5

電力 P (Power) 単位 ワット  $W = J / \text{sec}$

電気抵抗をもつものは、電流(直流でも交流でも)が流れると電気エネルギー(電力)を消費する。抵抗を通る電力は、熱(ジュール熱)になる。

ジュールの法則 Joule's law

1秒間、I (A) の電流を 電圧 E (V) で流した時の電力 P (W) は、

$$P = EI \quad E = IR \text{ を代入すると } P = RI^2$$

(P: 電力(W) E: 電圧(V) I: 電流(A) R: 抵抗( $\Omega$ ))

t 秒間、電流を流した時の電力は、 $Pt$  (J)

1840年、ジュールは抵抗の中で電流が熱を発生することを見つけ、熱がエネルギーであることを発見し、さらに、エネルギー保存則を発見した。

エネルギー量(仕事量)の単位: ジュール (J)

$$1(W) = 1(V) \times 1(A)$$

$$1(J) = 1(W) \times 1(\text{sec}) = 1(V) \times 1(A) \times 1(\text{sec})$$

$$W = J / s \quad (J = Ws \text{ (ワット秒)}) \quad (3600 J = Wh \text{ (ワット時)})$$

$$1 \text{ cal (カロリー)} = 4.18605 J$$

水1gの温度を1気圧の状態 $1^\circ\text{C}$ 上げる熱量

インピーダンス impedance 【名】

- 1 [電気] インピーダンス  
交流回路における電気抵抗; 単位  $\Omega$  (オーム)
- 2 障害(物).

電気抵抗をもつものは、抵抗器のほかにコンデンサ(キャパシタンス)、コイル(インダクタンス)がある。

直流電流と異なり、交流電流には周波数があり、キャパシタンス、インダクタンスのインピーダンスは周波数(電流の振動数)で変化する。

人体から測定される電気信号(心電図、筋電図、脳波など)は、振動する電流なので交流電流。

人体の組織は電氣的には、抵抗、コンデンサ、インダクタンス(コイル)を組み合わせた回路と同等の作用をする。

したがって、臨床検査技師にとって交流電流に対する抵抗、コンデンサ、インダクタンスのインピーダンスの知識は必須。

inductance 【名】

誘導係数(電磁誘導を生じる程度、大きさ)、インダクタンス(=誘導子(コイル))

コイルの電氣的な本質はインダクタンスなので、電気回路学では、コイルをインダクタンスと呼ぶ。

電磁誘導 electromagnetic induction

コイルの中で磁石を動かすと電圧が生じる。コイルの電流が変化すると磁界が生じ電圧が発生する。

induction 【名】  
誘導、誘発



インダクタンス (コイル) の単位 : ヘンリー (H)  
 コイルに流れる電流が1秒間に1(A)変化したときに  
 コイルに発生した電圧が1(V)のとき、  
 コイルの(1巻き分の)インダクタンス L を1(H)とする。

インダクタンス L (誘導係数 Inductance)  
 コイルに流れる電流の変化で、コイル内部の磁界が  
 変化し、コイルに電圧(起電力)が発生する性質  
 起電力(V) =  $n L \frac{dI}{dt}$  (nは巻き数)  
 (= インダクタンス x 電流の1秒間の変化)  
 電流の変化率が大きいときに高い電圧が生じる

電磁誘導 electro-magnetic induction

なぜ、インダクタンス(コイル)に流れる電流が変化  
 すると、コイル内部の磁界が変化するのか。

理由は、自然( the Universe )は変化を嫌うため。  
 universe【名】[the ~/the U~] (存在するすべてのものとして)  
 宇宙, 森羅(しんら)万象。

レンツの法則 Lenz's law

電流が変化しないように、コイルは導線の周囲に磁界を  
 発生させる。  
 右ねじの法則で示す方向に、電流の変化を止める方向に  
 コイル自らが、新たな逆向きの電流を発生させるため。  
 磁界が変化したときも、同じ理由で電流、電圧が発生する。

伝導度 (導電度) G コンダクタンス  
 conductance【名】[電気] コンダクタンス、電気伝導度

電気抵抗 R (レジスタンス) の逆数。  
 電流の流れやすさを示す。

レジスタンス R の単位 オーム (Ω)  
 コンダクタンス G の単位 ジーメンズ (S)  $G = 1/R$

オームの法則  $E = IR \rightarrow E = I/G, I = EG$   
 (電流 = 電圧 x 電流の流れやすさ)

コンダクタンスを使うと、抵抗器の並列回路の計算に便利。

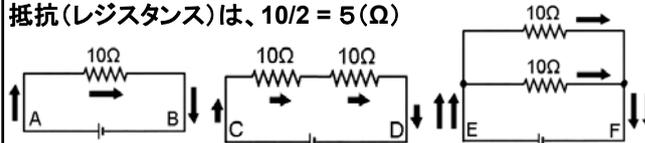
抵抗回路の計算法

(直列 = 流れにくさの和、並列 = 流れやすさの和)

10Ωの抵抗を2本直列接続したCD間の抵抗は、  
 AB間より大きい。電流の流れにくい場所を連続して電流が  
 通らなければいけないので、CD間の抵抗は、10 + 10(Ω)

10Ωの抵抗Rを2本並列接続したEF間の抵抗は、  
 AB間より小さい。電流の流れやすさが 1/10 (S) の回路を  
 2本通れるので流れやすさは2倍になる。

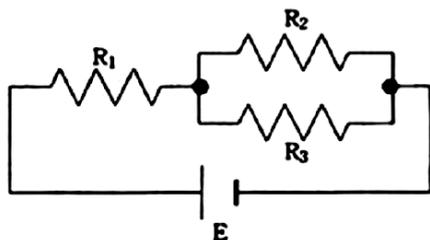
EF間のコンダクタンスは、1/10 + 1/10 = 2/10 (S)  
 抵抗(レジスタンス)は、10/2 = 5(Ω)



113☆ (2000)

図の回路でR<sub>1</sub>で消費される電力はR<sub>2</sub>で消費  
 される電力の何倍か。ただし、抵抗R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>  
 の抵抗値はすべて100Ω、電源Eの電圧は100V  
 とする。

1. 0.25
2. 0.5
3. 1
4. 2
5. 4



BC間のコンダクタンスは  $1/100 + 1/100 = 2/100$  S

BC間の抵抗はコンダクタンスの逆数  $100/2 = 50$  Ω

AC間の抵抗は、100 + 50 = 150 Ω

電源を通る電流  $I = E/R = 100 \text{ V} / 150 \Omega = 2/3 \text{ A}$

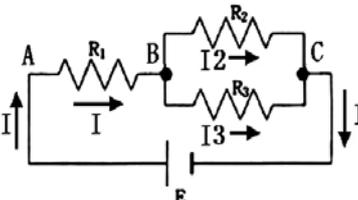
I<sub>2</sub> と I<sub>3</sub> の和は I。並列抵抗の電流比は、電流の流れやす  
 さの比(コンダクタンスの比)になる。(分流の法則)

$I_2 + I_3 = 2/3, I_2 : I_3 = 1/100 : 1/100 \rightarrow I_2 = I_3 = 1/3 \text{ A}$

R<sub>1</sub> での消費電力 P<sub>1</sub> は、  
 $P_1 = I^2 R_1 = 400/9 \text{ W}$

R<sub>2</sub> での消費電力 P<sub>2</sub> は、  
 $P_2 = I_2^2 R_2 = 100/9 \text{ W}$

$P_1/P_2 = 4$  回答 5



増幅度、利得 デシベル ディービー dB  
decibel【名】〔物〕デシベル【略】dB

デシ(d)は、10分の1の意味。  
ベル(B)は、本来は騒音の単位。電話の発明者の名前。  
現在は、増幅回路(アンプ)の利得の指標に使われる。

人間の感覚は、音や振動などの物理量は対数的に感じる。  
(音の物理エネルギーが10から100に増えると、音の大きさが2倍に聞こえる。)

人間の感覚と比例する指標なので便利。  
増幅回路を複数つないだ装置の増幅率の合計が計算しやすい。(対数は、かけ算を足し算に変換する。)

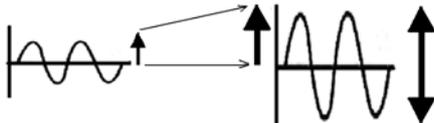
増幅度の対数を、利得(ゲイン gain)という。  
(正確には、dBは増幅度の単位ではなく、利得の単位)

デシベル dB : ゲイン (gain G) の単位

電力など、マイナスの値を取らない物理量の場合、  
 $G = 10 \log_{10}(\text{出力}/\text{入力})$   
(Gの10分の1の値が、増幅度の対数(ゲイン))

電圧や電流など、マイナスの値もある物理量の場合、  
 $G = 20 \log_{10}(\text{出力}/\text{入力})$

マイナス方向にもゲインが広がるので、2倍にする。



問 210 ☆ (既出問題)

60 dBと20 dBの増幅器を直列に接続したときの全利得はどれか。

1. 40 dB
2. 60 dB
3. 80 dB
4. 120 dB
5. 1,200 dB

[注解] いくつかの増幅器を直列に接続した場合それらの利得がデシベル表示であるならば、それらすべての和、すなわち、 $60 \text{ dB} + 20 \text{ dB} = 80 \text{ dB}$ として利得を計算できる。 3

ゲイン 60dB の増幅器(アンプ)とは、100万倍の増幅率。  
 $G = 60 = 10 \log_{10}(\text{出力電力}/\text{入力電力})$   
 $\log_{10}(\text{出力}/\text{入力}) = 6 \rightarrow \text{出力}/\text{入力} = 10^6$  (100万倍)

ゲイン 20dB の増幅器とは、100倍の増幅率。  
 $G = 20 = 10 \log_{10}(\text{出力電力}/\text{入力電力})$   
 $\log_{10}(\text{出力}/\text{入力}) = 2 \rightarrow \text{出力}/\text{入力} = 10^2$  (100倍)

これらの増幅器を直列にすると、  
 $100 \text{ 万倍} \times 100 \text{ 倍} = 1 \text{ 億倍} (10^8 \text{ 倍})$  の増幅率になる。  
 $\text{出力}/\text{入力} = 10^8 \rightarrow \text{ゲイン } G = 10 \log_{10}(10^8) = 80 \text{ dB}$

dBは対数の指標なので、このような面倒な計算をしなくても単純に60と20を足せば、同じ結果が得られて便利。

平成29年 国家試験 解答 3

入力電圧を50倍に増幅する増幅器Aと200倍に増幅する増幅器Bがある。増幅器AとBを直列に接続したときの全体の増幅度[dB]はどれか。

1. 40
2. 60
3. 80
4. 100
5. 120

50倍 x 200倍 = 10000 =  $10^4$  倍  
電圧のデシベルなので  $20 \log(\text{倍率})$  の公式を使う。  
 $20 \log(\text{倍率}) = 20 \log 10^4 = 20 \times 4 = 80 \text{ (dB)}$

問 115 ☆☆ (既出問題/2002)

誤っているのはどれか。

1. コンデンサのインピーダンスは容量が大きいほど小さい。
2. コイルのインピーダンスは周波数が高いほど大きい。
3. コンデンサのインピーダンスは周波数が高いほど小さい。
4. 抵抗のインピーダンスは周波数が高いほど大きい。
5. コイルのインピーダンスはインダクタンスが大きいほど大きい。

交流電流 I

$I = I_m \sin \omega t$

$I_m$ : 交流電流の最大値。  
 $\omega$  (オメガ): 角速度。  
 交流を円運動の射影と考えた場合の1秒間に回転する角度。  
 60Hzの交流では、1秒に60回転する円運動の射影と考えて、  
 $\omega = 2\pi \times 60$  (rad/s)  
 (rad: ラジアン。360度 =  $2\pi$  rad)

交流電流 I

$I = I_m \sin(2\pi f t)$        $I = I_m \sin\left(\frac{2\pi}{T} t\right)$

f (frequency): 周波数。1秒間の波の数。  
 西日本の交流周波数は  $f = 60$  Hz (ヘルツ, Hertz)。  
 交流を円運動の射影と考えると、fは1秒間の回転数。  
 角速度  $\omega$  (1秒間の回転角度) との関係は、 $\omega = 2\pi f$        $f = \frac{\omega}{2\pi}$

T: 周期 (サイクル)。波1個が通過する時間。  
 交流を円運動の射影と考えると、Tは1回転する時間。  
 60Hzの交流では、1秒に60個の波が通過するので、  
 波1個の通過時間は  $T = 1/60$  秒。  
 周波数 f との関係は、 $f = 1/T$        $T = 1/f$

$\omega$ 、T、f の関係式       $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

位相、位相角 (Phase)

交流電流  $I = I_m \sin(2\pi f t)$

$I_m \sin(2\pi f t + \alpha)$

交流を回転運動の射影と考えて、  
 角度  $\alpha$  だけ先に進んでいる交流が同時にある場合、  
 その交流の位相、位相角が  $\alpha$  進んでいるという。

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、  
 $Q = CE$  より、 $I = C dE / dt$   
 $I = I_m \sin(\omega t)$  とすると、

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

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

コンデンサに発生する交流電圧は、電流より  $\pi/2$  位相が遅れている。

$I = I_m \sin(\omega t)$        $E = -E_m \cos(\omega t) = E_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$

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、 $E_m = I_m / \omega C$  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)  $X_C$  は  
 $X_C = 1 / \omega C$  (単位  $\Omega$ )。これを容性リアクタンスという。  
 静電容量 C が大きいほど、 $X_C$  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。

コイルの単位 : ヘンリー (H)

コイルに流れる電流が1秒間に1(A)変化したときに  
 コイルに発生した電圧が1(V)のとき、  
 コイルの(1巻き分の)インダクタンス L を1(H)とする。

インダクタンス L (誘導係数 Inductance)

コイルに流れる電流の変化で、コイル内部の磁界が  
 変化し、コイルに電圧 (起電力) が発生する性質

起電力 (V) =  $n L dI / dt$  (n は巻き数)  
 (= インダクタンス x 電流の1秒間の変化)

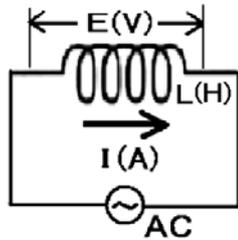
**インダクタンス(コイル)に交流電流が流れるときの現象**

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、  
 $E = L \frac{dI}{dt}$

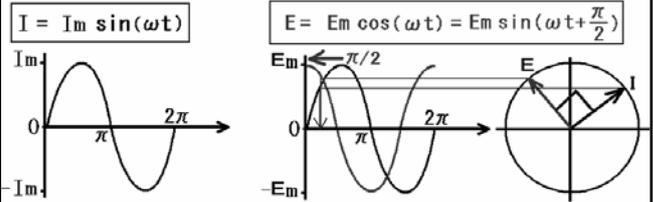
$I = I_m \sin(\omega t)$  を代入すると、

$$\begin{aligned} E &= I_m \omega L \cos(\omega t) \\ &= I_m \omega L \sin(\omega t + \pi/2) \\ &= E_m \cos(\omega t) \\ &= E_m \sin(\omega t + \pi/2) \end{aligned}$$

(  $E_m = I_m \omega L$  )



コイルに発生する交流電圧は、電流より  $\pi/2$  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、 $E_m = I_m \omega L$  から、交流電流に対するコイルの抵抗(インピーダンス)  $X_L$  は、 $X_L = \omega L$  (単位  $\Omega$ )。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、 $X_L$  は大きい。

**抵抗に交流電流が流れるときの現象**

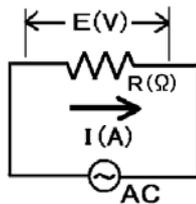
抵抗値  $R$  ( $\Omega$ ) の抵抗に、交流電流  $I$  (A) を流したとき発生する電圧  $E$  (V) は、直流電流と同じで

$$E = IR$$

$I = I_m \sin(\omega t)$  を代入すると、

$$\begin{aligned} E &= I_m R \sin(\omega t) \\ &= E_m \sin(\omega t) \end{aligned}$$

(  $E_m = I_m R$  )



抵抗に発生する交流電圧の位相は、電流と同じ。

交流電流に対する抵抗のインピーダンスは、直流電流に対する抵抗値(レジスタンス)  $R$  ( $\Omega$ ) と同じ値。

交流電流の周波数  $f$  が変化しても、抵抗のレジスタンス  $R$  ( $\Omega$ ) は一定値、変化しない。

コンデンサの容量リアクタンス  $X_C$  ( $\Omega$ ) は、

$$X_C = 1/(\omega C) = 1/(2\pi f C) \quad X_C \text{ は } f \text{ と反比例する。}$$

周波数が低いほどインピーダンスは高い。

コンデンサは、直流 ( $f = 0$  Hz) を通さない。

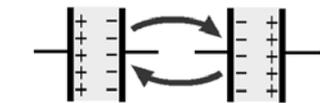
コイルの誘導リアクタンス  $X_L$  ( $\Omega$ ) は、

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \quad X_L \text{ は } f \text{ と比例する。}$$

周波数が低いほどインピーダンスは低い。

コイルは、直流 ( $f = 0$  Hz) を良く通す。

コンデンサは直流電流を通さない。(周波数  $f = 0$  の交流を通さない) 周波数の高い交流電流は、よく通す。電流の向きが頻繁に変わると、絶縁体に生じる静電気が頻繁に交換される。



$$\text{容量リアクタンス } X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

コイルは直流電流をよく通す。(周波数  $f = 0$  の交流は、よく通す) 周波数の高い交流電流は、通しにくい。電流の変化が多いと、電流の変化を阻止する磁力線が多く生じる。



$$\text{誘導リアクタンス } X_L = \omega L = 2\pi f L$$

電子回路のインピーダンスは、抵抗のレジスタンス  $R$  ( $\Omega$ ) と、コンデンサの容量リアクタンス  $X_C$  ( $\Omega$ ) と、コイルの誘導リアクタンス  $X_L$  ( $\Omega$ ) の和であるが、それぞれ発生電圧の位相が異なるので単純な加算(スカラー和)では計算できない。ベクトル和を計算する。(スカラー scalar : 方向を持たない数値)(ベクトル vector : 方向を持つ数値)