電気・電子計測

【第5回】交流1

テキスト3章・電気計測(2)・交流

http://cobayasi.com/keisoku/5th/5th.pdf

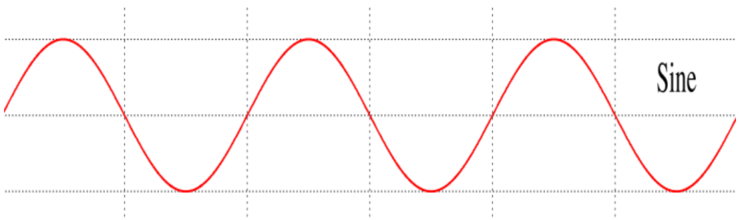
授業スケジュール

＜第1回(4/12)＞ガイダンス、電気・電子計測の学び方
＜第2回(4/19)＞計測の基礎
＜第3回(4/26)＞電気計測・直流１
＜第4回(5/10)＞電気計測・直流２
＜第5回(5/17)＞電気計測・交流１
＜第6回(5/24)＞交流２
＜第7回(5/31)＞センサの基礎１
＜第8回(6/7)＞センサの基礎２
＜第9回(6/14)＞中間試験
＜第10回(6/21)＞センサによる計測技術１
＜第11回(6/28)＞センサによる計測技術２
＜第12回(7/5)＞アナログ・ディジタル変換（計測値の変換）
＜第13回(7/12)＞ディジタル計測制御システムの基礎
＜第14回(7/19)＞電子計測器
＜第15回＞定期試験（定期試験期間で実施）

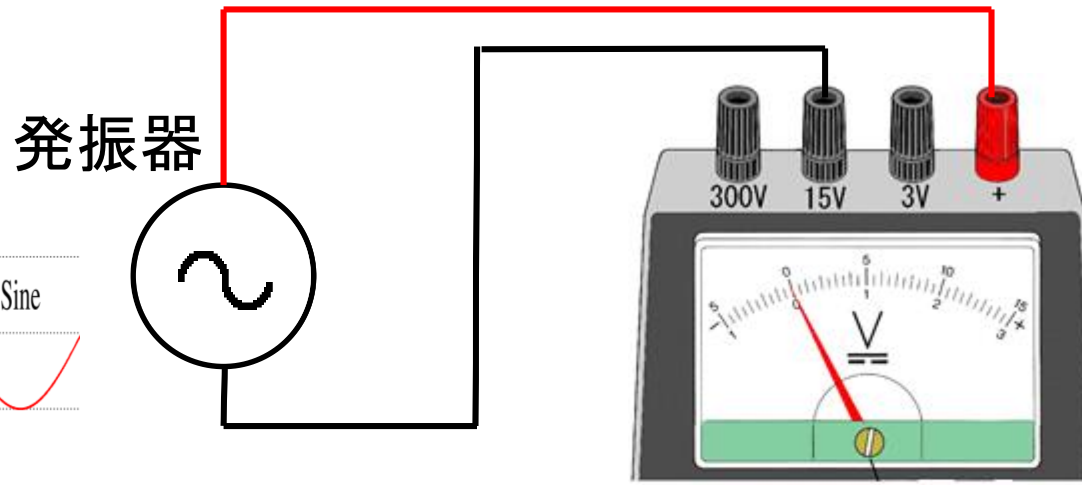
今日の学習の要点
（テキストP32～38）

● 直流計器で、交流の測定をしたらどうなる？
1. 交流波形を表すパラメータについて学ぼう
2. 整流形電流計の特徴を知ろう
3. 可動鉄片形電流計の原理と特徴を知ろう
4. 電流力計形計器による実効値の測定
5. 交流電力を測定しよう

直流計器で、交流の測定をしたらどうなる？



交流波形



直流電流計

- 始めは指針が交互に振れるが、最後には交流の周波数に追従できずに、零(0)点で止まる
- 交流計器では、極性に関係なく同じ方向に指針が振れる工夫（例えば、整流）がされている

1. 交流波形を表すパラメータについて学ぼう

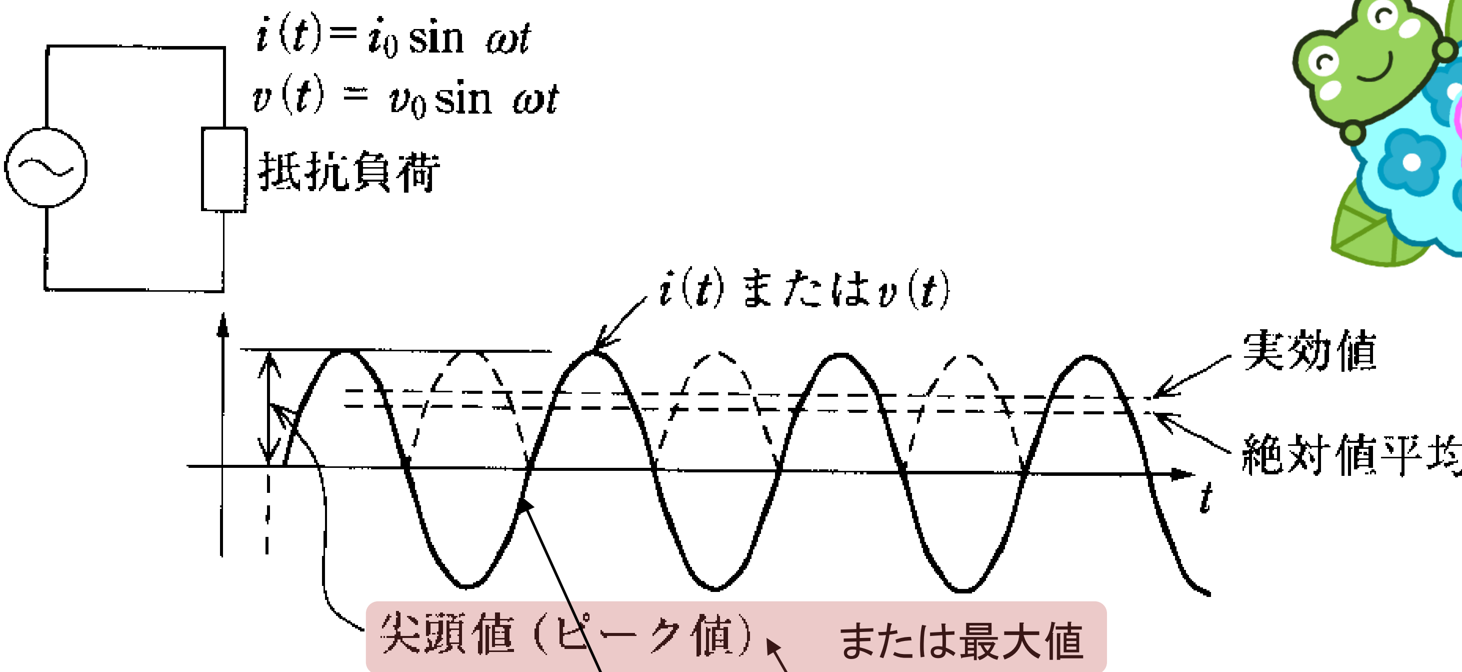


図3・1　交流波形を表すパラメータ

交流電圧の瞬時値：$\boldsymbol{v(t) = v_0 \sin \omega t}$　　　　（3・1）

- 最大値(ピーク値): v_0[V]
- 周波数: f $[Hz]$, 時間: $t[sec]$
- 角周波数：$\omega = 2\pi f$[rad/sec]

抵抗負荷Rに交流電圧$v_0(t)$をかけた時の電流$i(t)$は、

$$i(t) = i_0 \sin\omega t = \frac{v_0(t)}{R} = \frac{v_0}{R}\sin\omega t \qquad （3･2）$$

抵抗負荷Rで消費する電力の平均値$\bar{P}$は、

交流の時

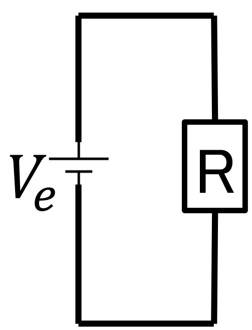
$$\bar{P} = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} i^2(t)\,R\ \mathrm{d}(\omega t) = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\frac{v_0^2}{R}\,sin^2\omega t\ \mathrm{d}(\omega t) = \boxed{\frac{v_0^2}{2R}}$$

（3･3）

仮に、この抵抗負荷Rに直流電圧V_eをかけたときに、Rで消費する電力$\bar{P}$は、

$$\bar{P} = \boxed{\frac{V_e^2}{R}}$$

直流の時　（3･3a）



この消費電力$\bar{P}$は、交流の時の消費電力と同じなので、式（3･3）と式（3．3a）が等しい

実効値

$$\bar{P} = \frac{V_e^2}{R} = \frac{v_0^2}{2R} \qquad （3･4）$$

$$V_e = \frac{v_0}{\sqrt{2}} \qquad （3･5）$$

■ 交流電圧の実効値Veは、抵抗負荷Rにつないで同じ電力$\overline{P}$を消費させるための直流電圧に等しい

$$\overline{\mathbf{P}} = \frac{\mathbf{V_e^2}}{\mathbf{R}} = \frac{\mathbf{v_0^2}}{\mathbf{2R}} \qquad (3\cdot4)$$

■ 交流電圧の実効値Veは、ピーク値（または最大値，尖頭値）v0の$\frac{1}{\sqrt{2}}$倍である

$$\mathbf{V_e} = \frac{\mathbf{v_0}}{\sqrt{\mathbf{2}}} \qquad (3\cdot5)$$

■ 交流電流の実効値Ieは、抵抗負荷Rに流して同じ電力$\overline{P}$を消費させるための直流電流に等しい

■ 交流電流の実効値Ieは、ピーク値（または最大値，尖頭値）i0の$\frac{1}{\sqrt{2}}$倍である

$$\mathbf{I_e} = \frac{\mathbf{i_0}}{\sqrt{\mathbf{2}}}$$

交流の測定では、整流(交流を直流に変換する)してから直流計器で測定することが多い。このときには、交流波形を絶対値に変換して平均値で表示する。

以下に、交流電圧$\mathbf{v(t) = v_0 \sin \omega t}$の絶対平均値$\mathbf{V'_{av}}$を示す

$$\mathbf{V'_{av} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} v(t)\, d(\omega t) = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} v_0 \sin \omega t \;\, d(\omega t) = \frac{2v_0}{\pi}} \tag{3.6}$$

式(3.6)に式(3.5) $\mathbf{v_0 = \sqrt{2}V_e}$を代入すると、

$$\mathbf{\frac{2v_0}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}V_e}$$

実効値$\mathbf{V_e}$の$\mathbf{\frac{2\sqrt{2}}{\pi}}$倍

2. 整流形電流計の特徴を知ろう

- 交流を直流に変換（整流）して測定する

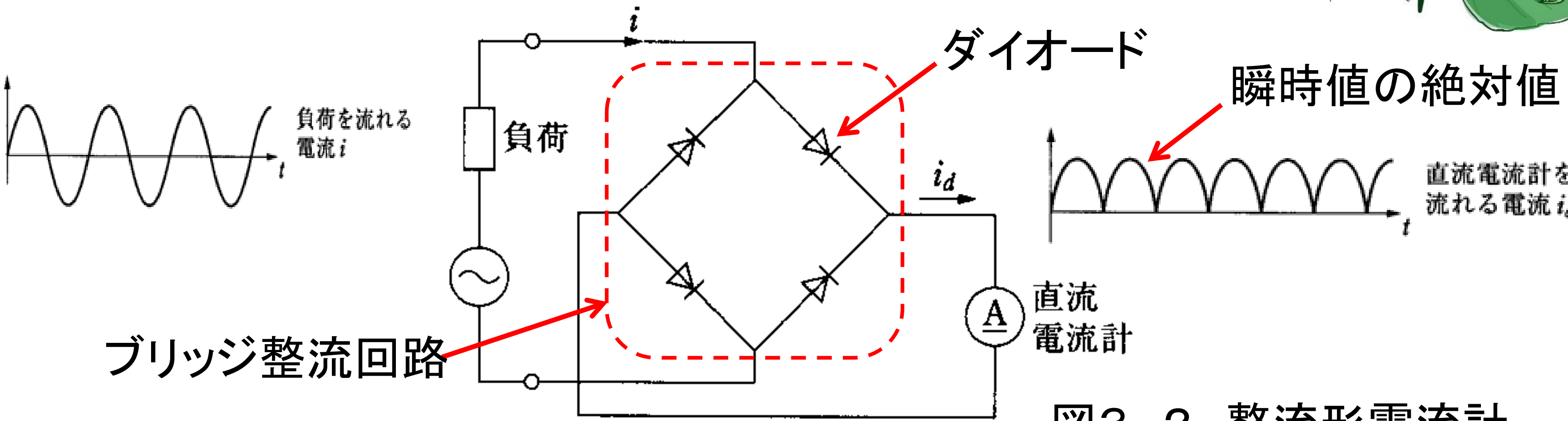


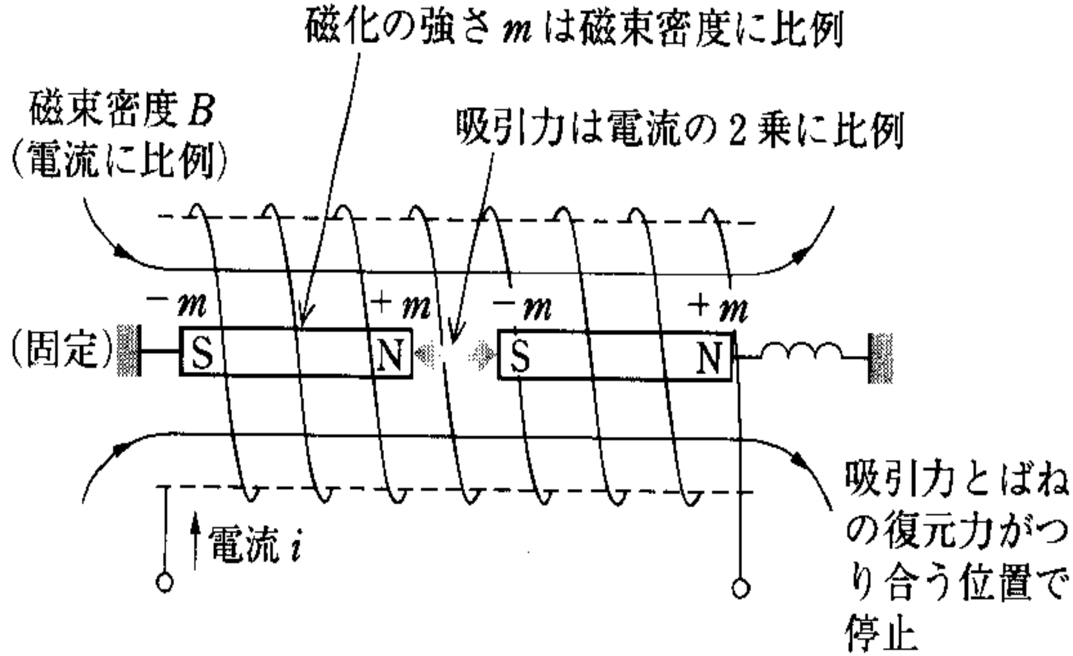
図3．２　整流形電流計

- 絶対値平均 $\overline{i_d}$ と実効値 I_e は比例するので、指示計器の目盛りを工夫して実効値で直読できる

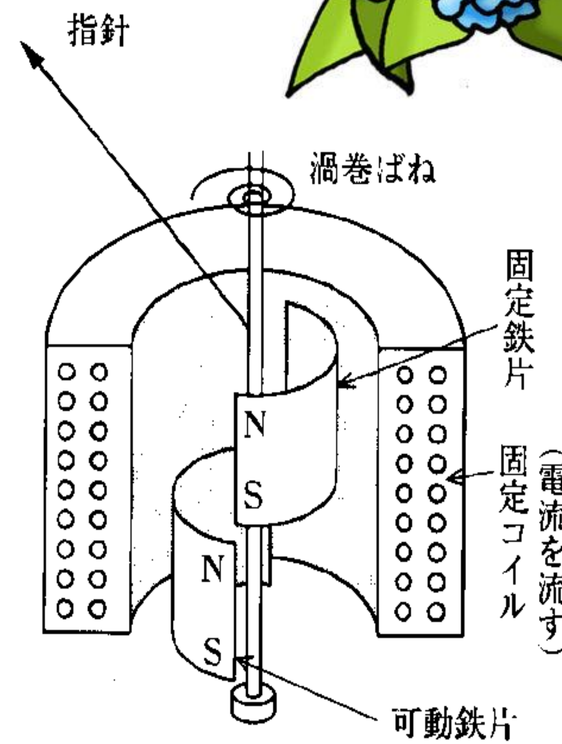
$$\overline{i_d} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} \sqrt{2}\, I_e \sin\omega t\, d(\omega t) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} I_e \cong 0.9 I_e$$

実効値I_eの0.9倍の目盛りを付ける

3. 可動鉄片形電流計の原理と特徴を知ろう



（a） 原理図



（b） 構 造

図3・3 可動鉄片形電流計

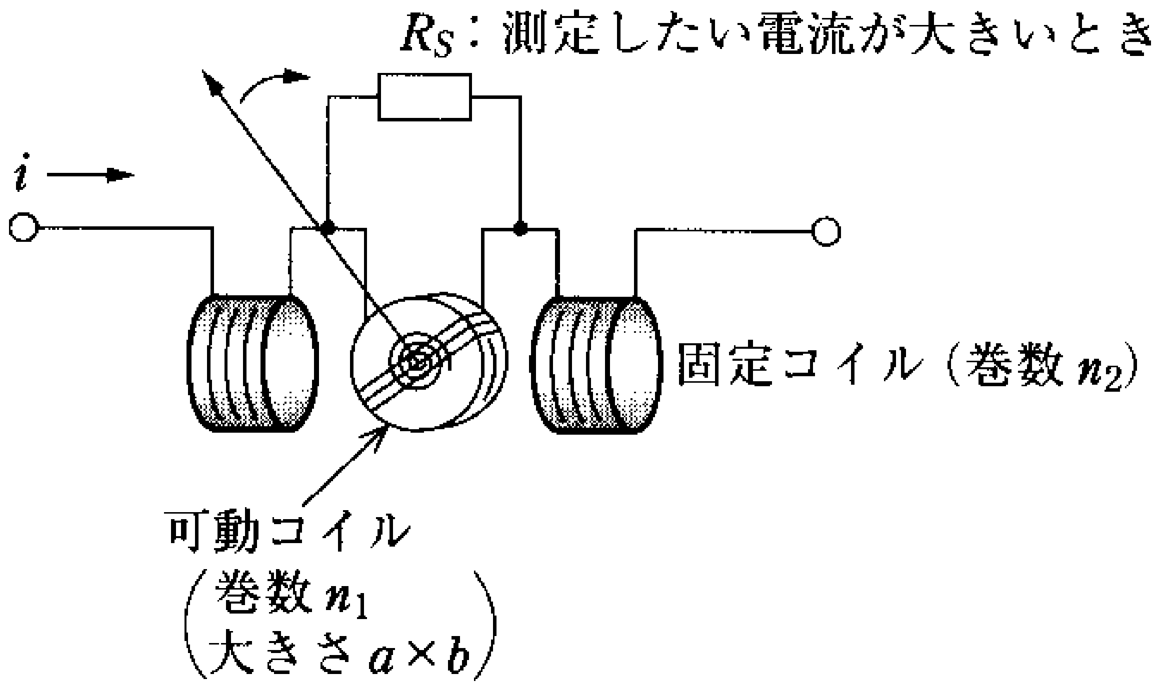
●コイルに流れる電流によって生じる磁界の中に置かれた二つの磁性体(鉄片)間に働く力を利用して、電流を測定する

●交流電流の方向(+,−)が変わり、磁束の方向が変化しても、二つの磁性体の極性は変わらないので、二つの磁性体は必ず吸引する(交流測定に使用できる)

●磁性体に働く吸引力は、コイルに流れる電流iの二乗に比例するので、目盛りは「二乗目盛り」であるが、実際は、「平等目盛り」になるように磁性体の形状を工夫している

$$\mathbf{i^2 = i_0^2 \sin^2 \omega t = \frac{i_0^2}{2}(1 - \cos 2\omega t)} \qquad (3\cdot8)$$

4. 電流力計形計器による実効値の測定



固定コイルと可動コイルのそれぞれに電流$i(t)$を流すと、この2つのコイルの間に電流の二乗$i^2(t)$の電流力が生じる。これを利用したのが電流力計形計器である。

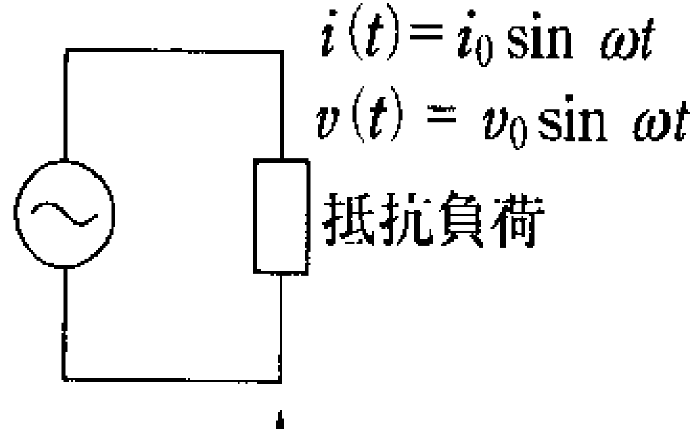
可動コイルの巻数を$\boldsymbol{n_2}$、固定コイルの巻数を$\boldsymbol{n_1}$、可動コイルの大きさを$\boldsymbol{a} \times \boldsymbol{b}$とすると、制動トルクの平均値$\boldsymbol{\tau_{av}}$は、式（3･10）で表すことができる。従って、実効値に比例した指示が得られる。

$$\boldsymbol{\tau_{av} = \int_0^T n_1 n_2 abki^2(t)\,dt} \qquad (3\cdot 10)$$

$\boldsymbol{k}$は、２つのコイルに流れる電流間の比例定数

5. 交流電力を測定しよう

負荷に抵抗を接続した場合



$$\mathbf{v(t) = v_0 \sin \omega t} \qquad (3・11)$$

$$\mathbf{i(t) = i_0 \sin \omega t} \qquad (3・12)$$

瞬時電力$p(t)$（電圧と電流を単純に乗算したもの）は、式（3・13）の通りになる

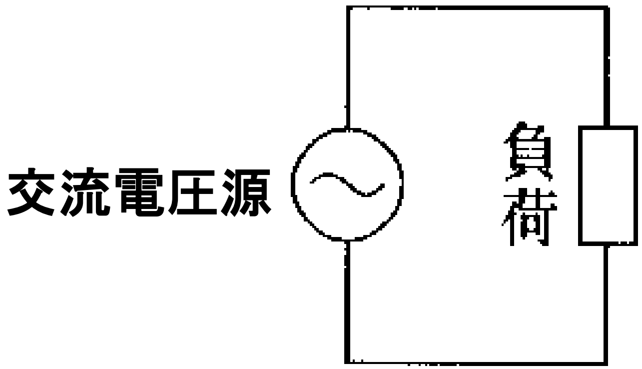
$$\mathbf{p(t) = v(t)i(t) = v_0 i_0 \sin^2 \omega t = \frac{v_0 i_0}{2}(1 - \cos 2\omega t)} \qquad (3・13)$$

平均電力$\bar{p}$は、式（3・14）に示す通り、電圧と電流の実効値V, Iの積となる

$$\mathbf{\bar{p} = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} p(t) = \frac{v_0 i_0}{2}\frac{1}{\pi}\int_0^{\pi}(1 - \cos 2\omega t)\, d(\omega t) = \frac{1}{2} v_0 i_0 = V_e I_e} \quad (3・14)$$

インピーダンス成分(コンデンサやコイルなど)
が含まれている負荷を接続した場合

$$i(t) = i_0 \sin(\omega t - \theta)$$



$$v(t) = v_0 \sin \omega t$$

負荷にインピーダンス成分がある場合は、位相がずれる(θ)ので、
平均電力は式(3・15)となる

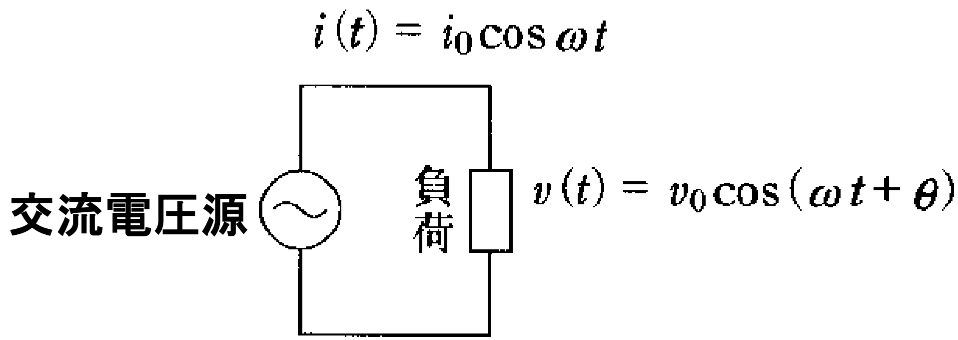
$$\bar{p} = v_0 i_0 \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \{ sin\omega t \cdot sin(\omega t - \theta) \} d(\omega t) \qquad (3 \cdot 15)$$

$$= \frac{v_0 i_0}{2} \cos\theta = V_e I_e \cos\theta$$

有効電力(負荷で消費する電力)
単位は[W]

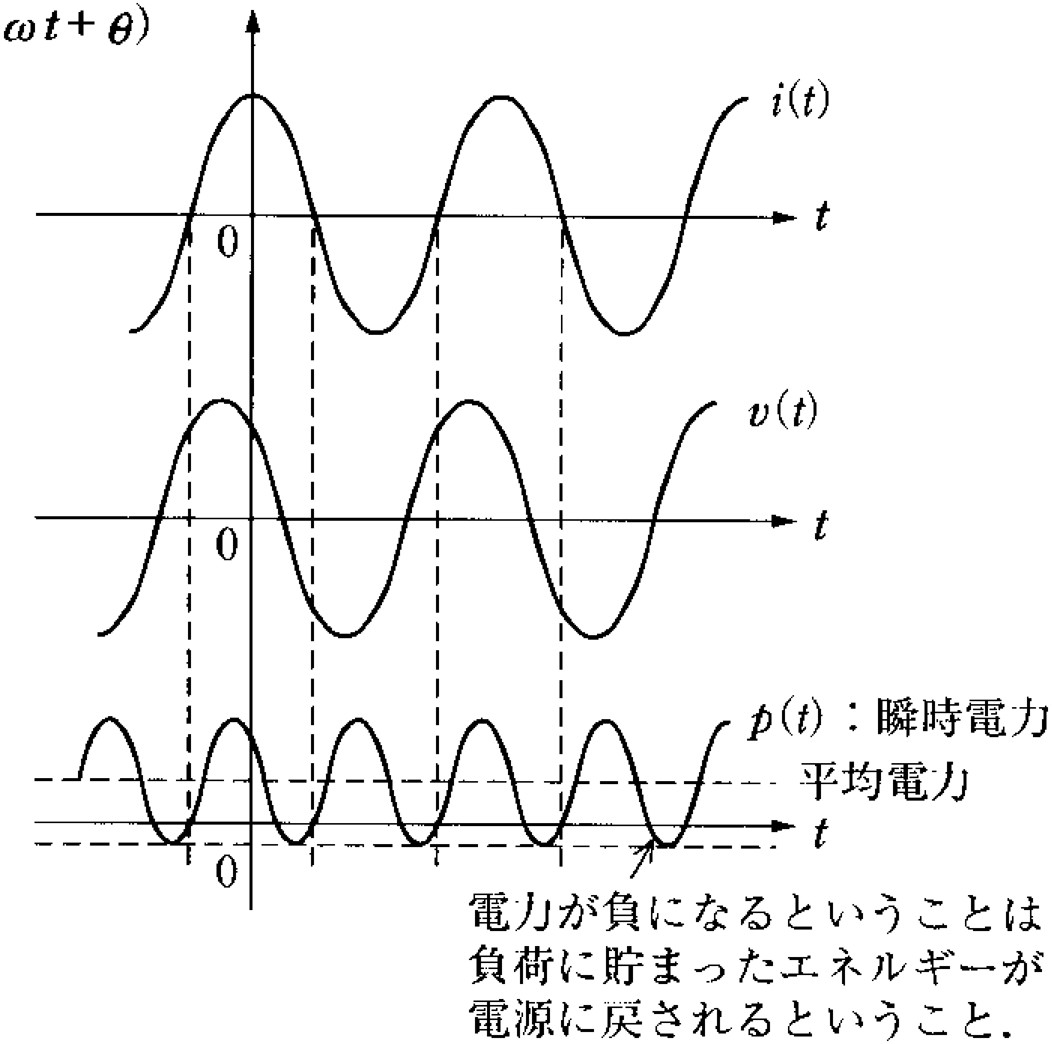
皮相電力(電源から送り出される
電力)単位は[V・A]

負荷にインピーダンス成分があり、電圧位相と電流位相が異なる場合

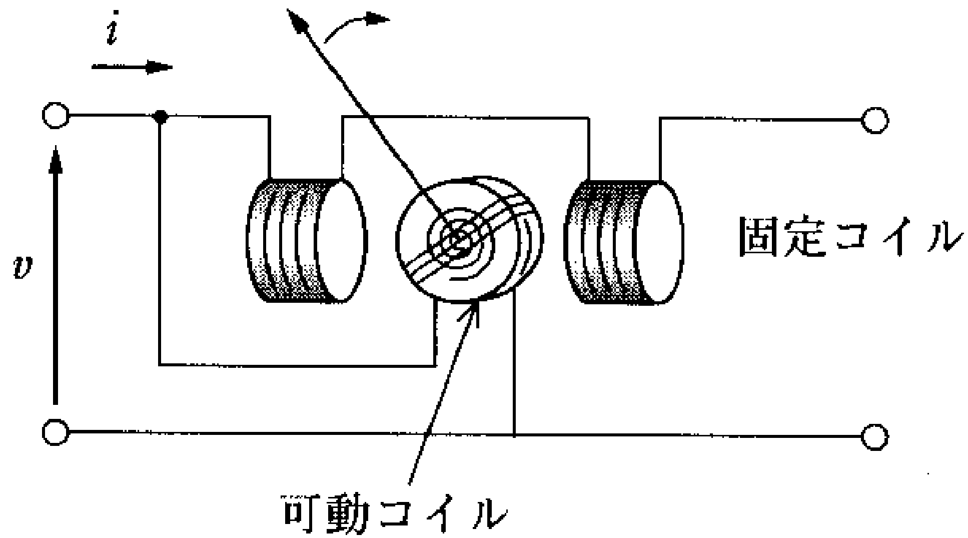


$$\mathbf{i(t) = i_0 cos\omega t}$$

$$\mathbf{v(t) = v_0 cos(\omega t + \theta)}$$



電流力計形計器を使った電力の測定



- 固定コイルの電流iに、可動コイルの電流が電圧vに比例するようにすれば、駆動トルクはviに比例するので、電力を指示させることができる

- 固定コイルには負荷に流れる電流iを流し、可動コイルには適当な抵抗を使って、電圧vに比例した電流を流せば、瞬時電力に比例した駆動トルクを生じる

- 駆動トルクの平均値とバネの復元力（元の戻そうとする力）がつりあうところで、指針が静止するので、計器の指示は平均電力となる

【問題1】

　可動鉄片形計器は、磁束中に置かれた（　　　　　）間に働く力によって指針を振れさせて指示する計器で、商用交流程度の計測に用いる

上述した文章中の括弧に入る適当な言葉を、以下のa.～d.から選べ

a. ２つの絶縁体の

b. ２つの誘電体の

c. ２つの静電体の

d. ２つの磁性体の

【問題2】

電流力計形計器は、（　①　）コイルと固定コイルを持ち、両コイルに流した電流による電磁力で指針を振らせる計器で、交流電力の（　②　）や電圧・電流の実効値を指示させることができる

上述した文章中の①②に入る適当な言葉の正しい組み合わせを、以下のa.～d.から選べ

a. ①静止 ②平均値

b. ①可動 ②平均値

c. ①可動 ②瞬時値

d. ①可動 ②実効値

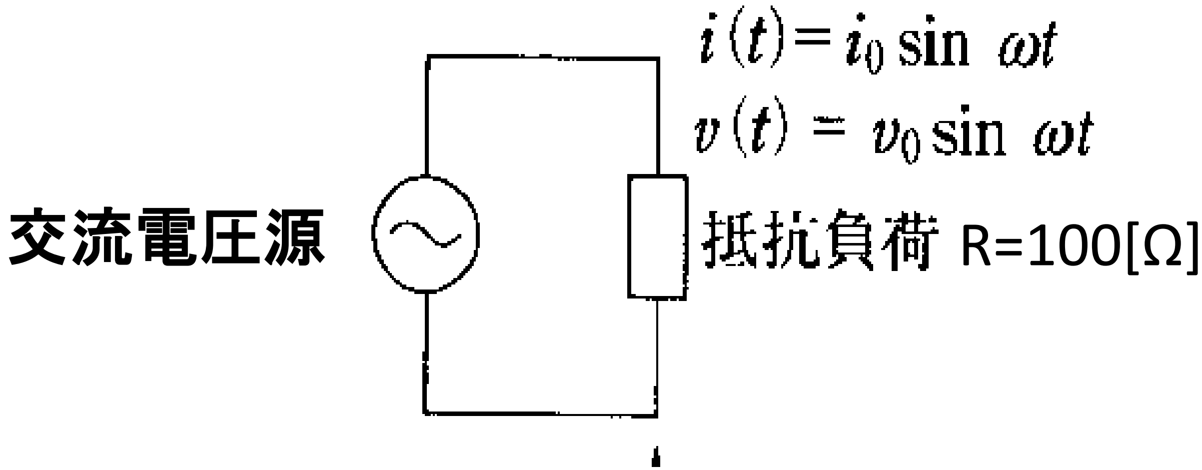
【問題3】
　最大値（ピーク値）V_mが141[V]の正弦波交流電圧の実効値V_e、平均値V_aを求めよ

実効値 $V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{141}{\sqrt{2}} \cong 100[\mathrm{V}]$

平均値 $V_a = 0[\mathrm{V}]$

【問題4】

以下に示す回路で、交流電圧$v(t)$の最大値$v_0 = 141[V]$のときの平均電力$\bar{p}$を求めよ

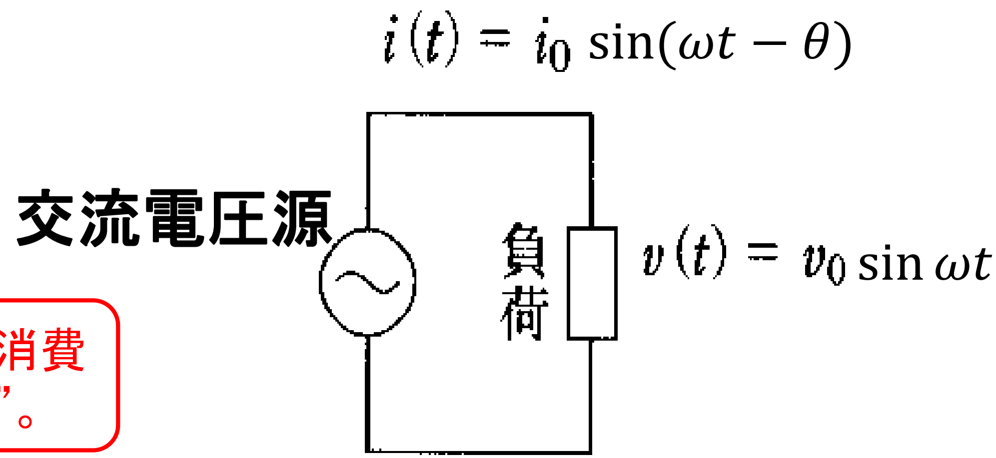


$$\overline{p} = \frac{v^2}{2R} = \frac{141^2}{2 \times 100} \cong 100[W]$$

本日の提出課題

【問題5】

以下に示す回路で、交流電圧$v(t)$の最大値$v_0 = 14.1[V]$、交流電流$i(t)$の最大値$i_0 = 14.1[A]$、電圧と電流の位相差$\theta = 30$[度]ときの平均電力$\bar{p}$と皮相電力p_hを求めよ。



有効(平均)電力は“負荷が消費する電力”。一般に言う”電力”。

平均電力 $\bar{\mathrm{p}} = \mathrm{V_e I_e} \cos\theta \cong 10 \times 10 \times \cos 30^\circ$

$= 100 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \cong 86.6[\mathrm{W}]$

皮相電力は,“電源から送り出される電力”で、「見かけの電力」とも呼ばれる

皮相電力 $\mathrm{p_h} = \mathrm{V_e I_e} = 100[\mathrm{VA}]$