第１章　電気通論

第１節　電気と磁気

１　静電気

エボナイト棒を絹布でこすると,エボナイト棒も絹布も軽い物体を吸い付けるが，これはエボナイト棒に負の電気が，また，絹布に正の電気が現れたためである。このように物体が電気を帯びることを帯電という。

帯電した2つの物体を近づけると相互に力が働くが，同じ極性のもの同志は反発し合い，異なる極性のもの同志は吸引し合う。また，この力は帯電体の持つ電気量に比例し，両帯電体間の距離の2乗に反比例する。これを電荷に関するクーロンの法則といい，次式で表される。

$$F_e = k_e \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}\ [\mathrm{N}] \cdots\cdots (4.1)$$

ただし　F_e:２つの帯電体間に働く力［N］（ニュートン）

Q_1，Q_2:帯電体のそれぞれの電気量［C］（クーロン）

r :帯電体の距離［m］（メートル）

K_e:比例定数で帯電体が真空中（空気中でもほぼ同じ）にあるとき9×10^9

２　抵　抗

パイプの中を水が流れる場合，パイプの太さ，長さ，および内面の状態などに応じて水流は抵抗を受けるが，電線の中を電流が流れる場合にも同様に電気的な抵抗を受ける。これを電気抵抗または単に抵抗といい，オーム[Ω]なる単位を用いる。抵抗は電線の長さに比例し，断面積に反比例する。すなわち，導体の長さ 1［m］，断面積 S［m^2］とするとき抵抗R［Ω］は次式で表される。

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} = \frac{l}{\sigma S} \cdots\cdots (4.2)$$

ただし，ρ:導体1［m］当たりの抵抗で固有抵抗という［Ω・m］。

σ:導電率といい単位は［1／（Ω・m）］であってσ＝１／ρの関係がある。

1:導体の長さ［m］

S:導体の断面積［m^2］

一般に金属導体の抵抗は温度の上昇とともに増加し，炭素や電解液の抵抗は減少する。導体の温度が1［℃］上るごとに抵抗が増す割合をその導体の抵抗の温度係数といい，通常αで表す。0［℃］における抵抗をR_0［Ω］，t［℃］における抵抗をR_t［Ω］とすると，実用上次の式が成り立つ。

$$R_t = R_0\ (1 + \alpha t) \cdots\cdots (4.3)$$

3　電圧と電流

電気も水の場合と同様に高い電位のところから，低い電位のところへ流れるが，この量も水と同様に電位の差の大小，両電位を結ぶ導体の抵抗によって変わる。この電位の差を電位差，一般に電圧といい，ボルト［V］という単位で表す。また，電気回路の中を流れる電気の流れを電流といい，アンペア［A］という単位で表す。

電圧Ｖ［V］，電流Ｉ［A］，抵抗Ｒ［Ω］の間に次の関係がある。これをオームの法則という。

$I=\frac{V}{R}$［$R=\frac{V}{I}$または$V=IR$］　………………………（4.4）

4　コンデンサ

金属板を2枚の絶縁物を介して相対させ，これに直流電圧を加えると各金属板に電荷が蓄積される(図4.1 参照)。このように，電圧を加えると電荷が蓄積されるようなものをコンデンサという。

コンデンサに蓄えられる電荷をＱ［C］，加える電圧をＶ［V］とすると，

$Q=CV$［C］，$C=\frac{Q}{V}$［F］　………………………（4.5）

なる関係が成り立つ。ここでＣは比例定数で静電容量といい，ファラド［F］なる単位を用いる。１ファラドは、1クーロン(C)の電気量を充電したときに1ボルト(V)の直流の電圧を生ずる2導体間の静電容量である。

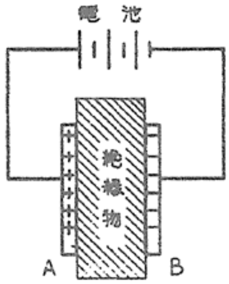


図 4.1　コンデンサ

5　電流の作用

(1)　電流の熱作用

抵抗部分に電流を通ずると熱を発生する。これをジュール熱という。

一般に電気抵抗R［Ω］の導体中をI［A］の電流がt［s］間流れるとき発生する熱量H［cal］は実験上，

$H=RI^2t$［J］≒ 0.24 RI^2t［cal］=0.00024 RI^2t［kcal］……（4.6）

となる。これをジュールの法則という。オームの法則から$RI=V$であるから(4.6)式は

$H=RI^2t=VIt=Pt$［J］　…………………（4.7）

となる。ここに，

$P=VI$［W］　…………………（4.8）

は，単位時間当たりの電気エネルギーを表すもので，これを電力という。電力の単位にはワット［W］を用い，1［V］の電圧で1［A］の電流を流すときの電力に等しい。

また，P［W］の電力によってt［s］間に伝送されるエネルギーを電力量といい，（4.7）式よりPt［J］あるいはPt［Ws］となる。

1［Wh］= 3600［Ws］= 3.6×10^3［J］

$1\ [\mathrm{kWh}] = 10^3\ [\mathrm{Wh}] = 3.6 \times 10^6\ [\mathrm{J}] = 860\ [\mathrm{kcal}]$ ………… (4.9)

(2)　電流の化学作用

硫酸銅溶液の中に銅板と炭素棒とを浸けて，銅板を電池の＋に炭素棒を－につなぎ，電流を流すと，炭素棒の表面に銅が付着するが，これは電気エネルギーが化学的エネルギーに消費されたためであり，また，電気エネルギーを化学的エネルギーとして蓄えておき，必要なときに再び電気的エネルギーとして取出すこともできる。これらの作用は電流の化学作用にもとづくものである。各種の電気メッキ，蓄電池等はこのような電流の化学作用を利用したものである。

(3)　電流の磁気作用

電流の流れている電線のまわりに磁針を置くと磁石が円周方向に振れる。従って，電流には磁石と同じような働きがあることがわかる(図4.2参照)。電流による磁力の強さは電流の大きさに比例し，その時の磁力線の方向は，電流の方向と直角の関係にある。電流の方向と磁力線の方向との関係を，図4.3 に示す。

1つの右ねじについて考えると，右ねじの進む方向に電流が流れる場合，ネジの回転す
の右ネジの法則とい

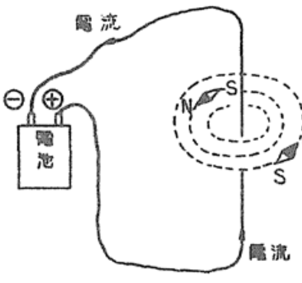


図 4.2　電流と磁力線

図 4.3　電流と磁力線の方向（アンペアの右ネジの法則

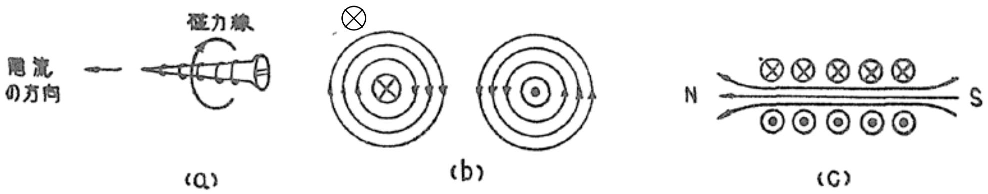


図 1.3　電流と磁力線の方向（アンペアの右ネジの法則）

図4.3 (b) および (c) において，　印は紙面（手前）から背面（向側）に向かって電流が流れる方向を示し，◉印は逆に紙の背面より紙面に向かって電流が流れてくる方向を示す。

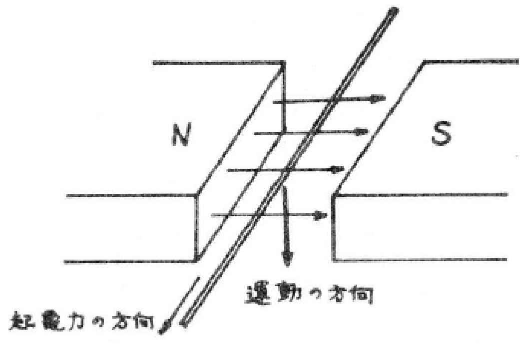


図 4.4　磁界中の導体の誘導起電力

第２節　電磁誘導

１　電磁誘導

(1)　磁界中を導線が運動する場合の誘導起電力

図4.4のように２つの磁石の間に導体をおいて，磁力線を切るように動かすとその導体に起電力が発生する(図4.4参照)。これが発電機の原理であり，こ

のようにして起こされたものを誘導起電力，電流を誘導電流という。

右手の人差指，親指，中指をそれぞれ直角になるように曲げ，人差し指を磁力線の方向に，親指を運動の方向に向けると中指の方向が起電力の方向となる。これをフレミング右手の法則といい、右（みぎ）が起電力（きでんりょく）で覚えやすい。

(2)　電磁力とフレミング左手の法則

上記の図4.4と同様に，磁力線内に置かれた導体に電流を流すと，この導体は磁力線と直角の方向に力を受ける。これが電動機の原理であり，このような磁力線と電流との間に働く力を電磁力という。

左手の人差指，親指，中指をそれぞれ直角になるように曲げ，人差指を磁力線の方向に，中指を電流の方向に向けると親指の方向が力の方向となる。これをフレミングの左手の法則という。

2　自己誘導と相互誘導

(1)　自己誘導

電流の流れている1つの回路は，それ自身の電流の作る磁束と鎖交している。従って，電流が変化するとその磁束が変化するから，この回路に電磁誘導にもとづく起電力が誘導される。このように電流が変化するときその回路自身の中に，その電流による磁束の変化を妨げるような方向の起電力を誘導する作用を自己誘導作用という。

1つのコイルの自己誘導作用による誘導起電力ｅ［Ｖ］は，そのコイルに流れる電流Ｉ［Ａ］が，△ｔ［ｓ］間に△Ｉ［Ａ］だけ変化したために，そのコイルと鎖交する磁束φ［Ｗｂ］だけ変化したとすると，巻数Ｎのコイル全体として

$$e = -N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}\ [\mathrm{V}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.10)$$

となる。また一般的には△φは△Ｉに比例するから

$$e = -N\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}\ [\mathrm{V}] = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}\ [\mathrm{V}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.11)$$

このＬを自己インダクタンスと呼び，ヘンリー［H］を単位として用いる。1ヘンリーは，1秒間に1アンペアの割合で変化する電流が流れるときに1ボルトの起電力を誘導するような閉回路（コイル）の自己インダクタンスであり，Hの次元は V/(A/s) = $\mathrm{V\cdot A^{-1}\cdot s}$である。

(2)　相互誘導

電磁誘導の場合，1つの回路に流れる電流の変化のために，この電流による磁束と鎖交する他の回路に起電力を誘導する作用を相互誘導という。

図4.5において，コイルＰの電流が△ｔ［ｓ］間に△Ｉ［Ａ］だけ変化したため，コイルＳと鎖交する磁束が△φ［Ｗｂ］だ

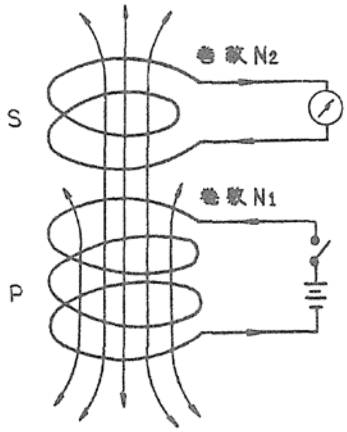


図4.5　相互誘導

け変化したものとすると，Ｓに誘導される起電力ｅ［Ｖ］はその巻数をN_2とするとき，

$$e = -N_2\frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = -M\frac{\Delta I}{\Delta t}\ [\mathrm{V}] \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\ (4.12)$$

となる。この比例定数Mを相互インダクタンスといい，自己インダクタンスと同様にヘンリー［H］を単位とする。

第３節　直流回路

(1)　直流回路

電流には大別して直流と交流の2種類がある。

直流とは，乾電池や蓄電池のように＋極と－極とが常に一定の電源から流れ出る電流で，方向が不変である。この場合の電源を直流電源という。直流電源は，乾電池，蓄電池のほかに直流発電機，水銀整流器や半導体整流器のように，交流を整流することによっても得られる。

(2)　抵抗の直列接続

数個の抵抗R_1，R_2，R_3………が直列に接続されている場合の電圧，電流，抵抗の関係は，オームの法則により次のようになる(図4.6参照)。

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots\cdots$$
$$= IR_1 + IR_2 + IR_3 + \cdots\cdots$$
$$= I\ (R_1 + R_2 + R_3 + \cdots\cdots)$$

$$\therefore \quad I = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3 + \cdots\cdots} = \frac{V}{R}\ [\mathrm{A}] \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.13)$$

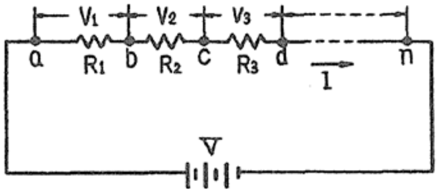


図 4.6　抵抗の直列接続

ただし　$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots\cdots\ [\Omega]$

ここで，Rを端子ａ，ｎ点から合成抵抗という。抵抗が直列接続の場合の合成抵抗は，各抵抗の和となる。

(3)　抵抗の並列接続

数個の抵抗R_1，R_2，R_3 ………が並列に接続されているとき(図4.7参照)の電圧，電流，抵抗の関係は次のようになる。

$$I_1 = \frac{V}{R_1},\quad I_2 = \frac{V}{R_2},\quad I_3 = \frac{V}{R_3}\cdots\cdots$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots\cdots$$

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} + \cdots\cdots$$

$$\therefore \quad I = V\ \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2} + \cdots\cdots\right) = \frac{V}{R}\ [\mathrm{A}] \cdots\cdots\ (4.14)$$

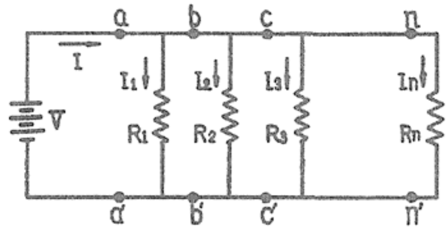


図 4.7　抵抗の並列接続

ただし　$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+$

抵抗が並列接続では，合成抵抗の逆数は各抵抗の逆数の和となる。

第４節　交流回路

１　交　流

(1)　正弦波交流

直流の場合は電流の方向が一定であり，従って電圧の方向も一定であるが，一方，交流の場合は時間とともに周期的に大きさも流れの方向も変化するが，1周期を平均すると電圧と電流がともに零となる(図4.8参照)。特に図のように正弦波（サインカーブ）状に変化するものを正弦波交流といい，我々の家庭や坑内外でも安全灯などに使用されている。

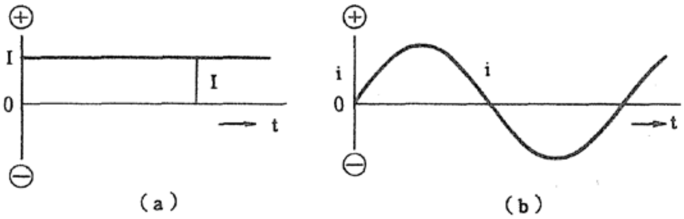


図 4.8　電圧・電流の流れ比較：(a)直流,（b）交流

交流がその１周期を完了するに必要な時間を周期という。また, 1［ｓ］間に電圧や電流の方向が変化する数を周波数といい，ヘルツ［Ｈｚ］で表す。中部地方より東日本では50［Ｈｚ］，西日本では60［Ｈｚ］が使用され，これらを商用周波数という。

正弦波交流電圧の最大値をEm［Ｖ］，角速度をω［rad/ｓ］としたとき，電圧の瞬時値e［Ｖ］は次の式で表される。

$e=E_m\sin\omega t$［Ｖ］……………………………………………（4.15）

また周波数をf［Ｈｚ］とすると，$\omega=2\pi f$ であるから，

$e=E_m\sin 2\pi f t$［Ｖ］………………………………………（4.16）

となる。

周期の等しい２つの交流があるとき，図4.9において，e_1とe_2のような場合をe_1とe_2とは同相であるといい，e_1とe_2との間にはθなる位相差があるという。

位相差がある場合，e_1を基準としたとき，e_3はe_1より位相がθだけ遅れているといい．またe_3を基準としたとき，e_1はe_1より位相がθだけ進んでいるという。

またϕを $t=0$における位相という。

これらのことを式で表すと，次のようになる。

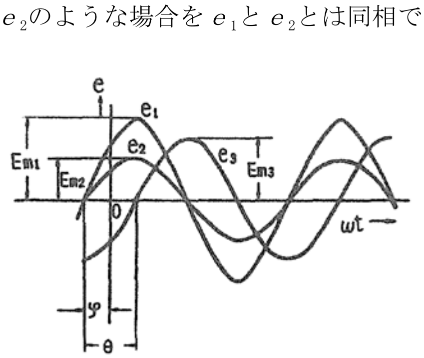


図 4.9　位　相

$e_1=E_{m1}\sin(\omega t+\phi)$

$e_2=E_{m2}\sin(\omega t+\phi)$

$e_3 = E_{m3}\sin(\omega t + \phi - \theta)$

(2)　交流の平均値と実効値

交流の単周期の面積と同じ面積で底辺の長さが半周期に等しい長方形を考え，その高さに相当する値をこの交流の平均値と呼ぶ（図4.10参照）。

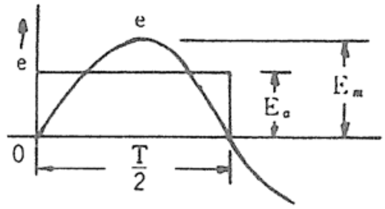


図 4.10　交流の平均値

正弦波交流の場合，最大値をE_mとし平均値をE_aとすると，

$$Ea = \frac{2}{\pi}E_m = 0.637E_m \cdots\cdots (4.17)$$

となる。

抵抗に交流電流を流したとき，直流の場合と同様に$R\times$（電流の瞬時値）^{2}の熱量を発生する。交流の場合は時間ごとに電流の大きさが異なるから，1周期の間の各瞬時値についてこれを2乗したものを平均して考えれば，電力として直流の場合と同じ効果を表すことになり，取扱いやすいものとなる。いま電流の瞬時値をiとすると，

$$I = \sqrt{(電流の瞬時値)^2の平均値} = \sqrt{i^2の平均値} \cdots\cdots (4.18)$$

となる。このIを交流電流の実効値という。電圧の場合も同様である。通常，交流は実効値で表す。交流100［V］とか10［A］などというのは，いずれもこの実効値のことである。

正弦波交流の場合，最大値E_mと実効値Eとの関係は，次のようになる。

$$E = \frac{1}{\sqrt{2}}E_m = 0.707E_m、すなわちE_m = \sqrt{2}E = 1.414E \cdots (4.19)$$

2　交流回路

同一の電気回路でも，交流電圧を加えた場合にはその値が時々刻々に変化するため，直流電圧を加えた場合には起こらない種々の現象が起こる。従って電圧と電流の関係もより複雑である。以下，簡単な場合として正弦波電圧を電気回路に加えた場合の電圧と電流の関係について考える。

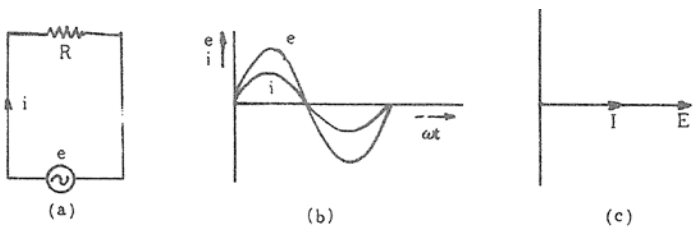


図 4.11　抵抗回路の電圧と電流

(1)　抵抗回路

抵抗Rだけの回路（図4.11（a）参照）に，$e = \sqrt{2}E\sin\omega t$なる交流電圧を加えた場合，この回路に流れる電流を$i$とすると，

$$i = \frac{\sqrt{2}E}{R}\sin\omega t = \sqrt{2}\,I\sin\omega t \cdots\cdots (4.20)$$

$$I = \frac{E}{R} \cdots\cdots (4.21)$$

となり電圧と電流は全く同相である。電圧と電流の関係を波形およびベクトル図で示すと図 4. 11(b) および（ｃ）のようになる。

(2)　誘導回路

自己インダクタンスL［H］のコイルのみからなる回路（図 4. 12（a）参照）に，$e=\sqrt{2}E\sin\omega t$なる交流電圧を加えた場合，インダクタンスLに電流

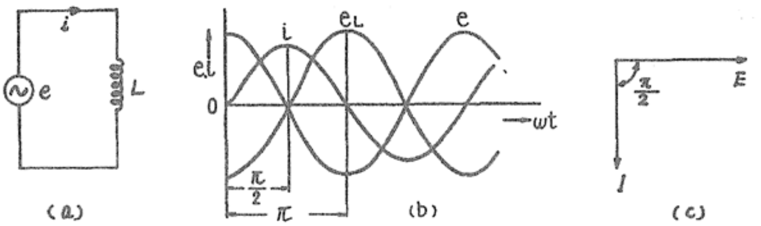


図 4. 12　誘導回路の電圧と電流

i［A］が流れたときに，自己誘導作用により$e_L=-L\frac{\Delta i}{\Delta t}$［V］の起電力$e_L$［V］を誘起し，電源電圧$e$と平衡するから，$e=\sqrt{2}E\sin\omega t=L\frac{\Delta i}{\Delta t}$　の関係が成り立つ。

これを解いて，

$$i=-\frac{\sqrt{2E}}{\omega L}\cos\omega t=\frac{\sqrt{2E}}{\omega L}\sin\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)\ [\mathrm{A}] \quad \cdots\cdots (4.22)$$

$$I=\frac{E}{\omega L}=\frac{E}{XL}\ [\mathrm{A}] \quad \cdots\cdots (4.23)$$

ただし$X_L=\omega L=2\pi fL$［Ω］

このX_Lを誘導リアクタンスといい，交流回路のコイルにおける電圧と電流の比を示し，抵抗と同じオーム［Ω］を単位とする。

（4. 22）式から分かるように電流は電圧より$\frac{\pi}{2}$（90°）位相が遅れる。電圧と電流の関係を波形およびベクトル図で示すと図4. 12の（b）および（c）のようになる。

(3)　容量回路

静電容量C［F］なるコンデンサのみの回路（図4. 13（a）参照）に，交流電圧e［V］を印加したとき，コンデンサに蓄えられる電荷qは，$q=c\cdot e=\sqrt{2}CE\sin\omega t$［C］となり時間とともに変化する。一方電荷の時間に対する変化の割合が電流であるから，$i=\frac{\Delta q}{\Delta t}$　となり，この式を解くと，

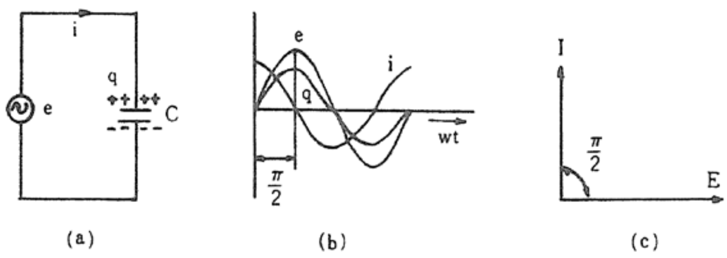


図 4. 13　容量回路の電圧と電流

$$i=\sqrt{2}\ \omega CE\cos\omega t$$

$$= \sqrt{2}\ \frac{E}{\frac{1}{\omega C}}\ \sin\left(\omega\ t\ + \frac{\pi}{2}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\ (4.24)$$

$$\therefore I\ = \frac{E}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{E}{Xc}\ [\mathrm{A}] \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\ (4.25)$$

ただし$Xc\ = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}\ [\Omega]$

このXcを容量リアクタンスといい，交流回路のコンデンサにおける電圧と電流の比を示し，単位は（Ω）である。（4.24）式から分かるように電流は電圧より$\frac{\pi}{2}$（90°）位相が進む。電圧と電流の関係を波形およびベクトル図で示すと，図4.13の（b）および(c)のようになる。

3　記号法による交流回路の計算

(1)　ベクトルの複素数表示

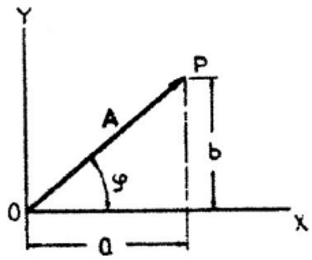


図 4.14　ベクテル複素数表示

速度や力などのように大きさと方向とで表わしたものをベクトルという（図4.14参照）。図においてOXを基準とした場合，ベクトルAは大きさが$\overline{OP}$で方向が$\overline{OK}$より∠φなる方向であるから次のように示す。

$$\dot{A} = \overline{OP}\ \angle\varphi = A\angle\varphi$$

ベクトルはまた複素数を用いて，

$$\dot{A} = a + jb \qquad \cdots\ (4.26)$$

と表すことができる。aを実数部，bを虚数部という。ここにjは虚数単位であり

$$j = \sqrt{-1},\quad j^2 = -1,\quad j^3 = -j \qquad \cdots\ (4.27)$$

である。

ベクトル$\dot{A}$を複素数で表した場合その大きさと位相は次のとおりである。

$$\cdots\ (4.28)$$

ベクトルAの大きさ　$A = \sqrt{a^2 + b^2}$

ベクトルAの位相　$\varphi = \tan^{-1}\frac{b}{a}$ ，$(\tan\varphi = \frac{b}{a})$　$\cdots\ (4.29)$

またベクトル$\dot{A}$は三角函数を用いて

$$\dot{A} = A\cos\varphi + jA\sin\varphi = A\ (\cos\varphi + j\ \sin\varphi) \qquad \cdots\ (4.30)$$

のように表すこともできる。

(2)　複素数による電気回路の取扱い

①　抵抗のみの回路の場合

先に述べた図 4.11(a)のような抵抗の場合，電圧と電流の関係は式（4.21）から，

$$\dot{E} = R\dot{I} \quad \text{または} \quad \dot{I} = \frac{\dot{E}}{R} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\ (4.31)$$

となり，$\dot{E}$と$\dot{I}$は同相である。

② 誘導のみの回路の場合

先に述べた図 4.13(a)のようなインダクタンスのみの回路の場合，式（4.23）および図 4.12 より電流は電圧より位相が 90°＝π/2 だけ遅れるから，

$$\dot{E}=j\omega L\dot{I} \quad \text{または} \quad \dot{I}=\frac{\dot{E}}{j\omega L}=-j\frac{\dot{E}}{\omega L} \qquad (4.32)$$

③ 容量のみの回路の場合

先の図 4.14(a)のようなコンデンサの場合，式（4.25）および図 4.13 より電流は電圧より位相が 90°＝π/2 だけ進むから，

$$\dot{E}=-j\frac{\dot{I}}{\omega C} \quad \text{または}\cdots \quad \dot{I}=j\omega C\dot{E} \quad \cdots (4.33)$$

④ 抵抗，自己インダクタンスおよび容量の直列回路の場合

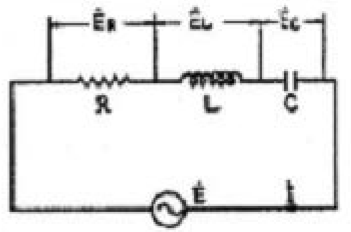


図 4.15　R,L,C の直列回路

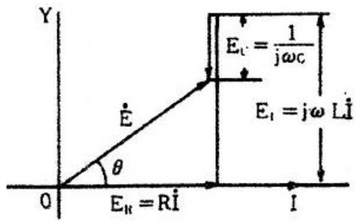


図 4.16　R,L,C の直列回路のベクトル図

図 4.15 のような R,L,C の直列回路の場合には，

$$\dot{E}=\dot{E}_R+\dot{E}_L+\dot{E}_C$$

の関係が成り立つ。この式の $\dot{E}_R$，$\dot{E}_L$ および $\dot{E}_C$ に前項の式（4.31），（4.32），（4.33）の関係を入れると，

$$\dot{E}=R\dot{I}+j\omega L\dot{I}-j\frac{1}{\omega C}\dot{I}$$

$$=\left[R+j\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)\right]\dot{I}=\dot{Z}\dot{I} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.34)$$

$$\therefore \quad \dot{I}=\frac{\dot{E}}{R+j\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)}=\frac{\dot{E}}{\dot{Z}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.35)$$

$$\text{ただし} \quad \dot{Z}=R+j\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)=R+jX \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.36)$$

$$X=\omega L-\frac{1}{\omega C} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.37)$$

となる。このXをこの回路のリアクタンス，$\dot{Z}$をこの回路のインピーダンスという（単位 Ω)。

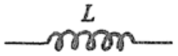
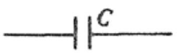
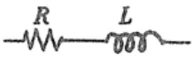
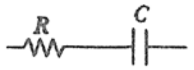
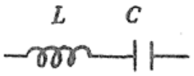
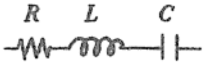
インピーダンスの絶対値および位相差は次のようになる。

$$Z=\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}=\sqrt{R^2+X^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.38)$$

$$\theta=\tan^{-1}\left(\frac{\omega L-\frac{1}{\omega C}}{R}\right)=\tan^{-1}\frac{X}{R} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.39)$$

以上をまとめると，表 4.1 のようになる。

表 4.1　単独回路および直列回路の電流，電圧，インピーダンス

回　路	インピーダンス（Z）記　号	インピーダンス（Z）絶対値〔Ω〕	電　流〔A〕絶　対　値	電　圧〔V〕絶　対　値	電圧，電流との相差角（θ）
	R	R	$\frac{E}{R}$	IR	0°　（同　相）
	$j\omega L$	ωL	$\frac{E}{\omega L}$	$I\omega L$	90°　（遅電流）
	$-j\frac{1}{\omega C}$	$\frac{1}{\omega C}$	ωCE	$\frac{I}{\omega C}$	90°　（進電流）
	$R+j\omega L$	$\sqrt{R^2+(\omega L)^2}$	$\frac{E}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}$	$I\sqrt{R^2+(\omega L)^2}$	$\tan^{-1}\frac{\omega L}{R}$　（遅電流）
	$R-j\frac{1}{\omega C}$	$\sqrt{R^2+\left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$	$\frac{E}{\sqrt{R^2+\left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$	$I\sqrt{R^2+\left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$	$\tan^{-1}\frac{1}{\omega CR}$　（進電流）
	$j\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)$	$\omega L-\frac{1}{\omega C}$	$\frac{E}{\omega L-\frac{1}{\omega C}}$ $\frac{E}{\frac{1}{\omega C}-\omega L}$	$I\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)$ $I\left(\frac{1}{\omega C}-\omega L\right)$	90°　（遅電流） 90°　（進電流）
	$R+j\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)$	$\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}$	$\frac{E}{\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$ $\frac{E}{\sqrt{R^2+\left(\frac{1}{\omega C}-\omega L\right)^2}}$	$I\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}$ $I\sqrt{R^2+\left(\frac{1}{\omega C}-\omega L\right)^2}$	$\tan^{-1}\frac{\omega L-\frac{1}{\omega C}}{R}$（遅電流） $\tan^{-1}\frac{\frac{1}{\omega C}-\omega L}{R}$（進電流）

4　交流回路の電力

(1)　交流回路の電力

交流回路の電力Pは，次式で表わされる。

$$P = EI\cos\theta \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.40)$$

すなわち直流の場合の電力と異なり，電圧，電流の実効値の積に更に$\cos\theta$を乗ずる。ここにθは電圧と電流の位相差である。この$\cos\theta$を力率といい，抵抗Rのみの回路，すなわち電圧と電流が同相の場合は$\cos\theta=1$ であり，インダクタンスまたはコンデンサのみの回路，すなわち電圧と電流の位相差が90° の場合は$\cos\theta=0$となり，その他の回路では$\cos\theta$は0と1の間の数値となる。

(2)　有効電力，無効電力，皮相電力

電圧，電流をベクトルで表して，図4.17のようになる場合，電流$\dot{I}$のベクトルを電圧$\dot{E}$と同相の分$\dot{I}\cos\theta$, および$\dot{E}$と直角の分$\dot{I}\sin\theta$との２つに分ければ, 電力PはEと$\dot{I}\cos\theta$との積であり, $\dot{E}$ と同相にある電流の分力とEとの積で表される。これを特に有効電力という。

$\dot{E}$と直角にある電流の分力$I\sin\theta$ とEとの積を無効電力という。無効電力をQとすれば,

$$Q = EI\sin\theta\ [\mathrm{Var}] \qquad \cdots\cdots (4.41)$$

となる。無効電力の単位としてバール［Var］およびその1,000倍の［kVar］が用いられる。

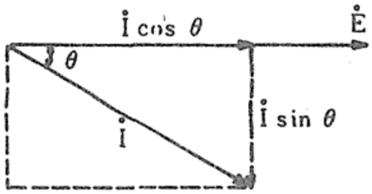


図4.17　無効電力の説明

また，電圧Eと電流Iとの積を皮相電力といい，その単位はボルト・アンペア［ＶＡ］およびその1,000倍の［ｋＶＡ］である。いま皮相電力をＳ［ＶＡ］とすれば

$$S = EI\ [\mathrm{VA}] \qquad \cdots\cdots (4.42)$$

となる。なお，皮相電力S，有効電力P，無効電力Qとの間には次の関係式が成立する。

$$\left.\begin{aligned} P &= EI\cos\theta = S\cos\theta \\ Q &= EI\sin\theta = S\sin\theta \\ S &= EI = \sqrt{P^2+Q^2} \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots (4.43)$$

(3)　力　率

交流回路の電力で述べたように，位相差θの余弦$\cos\theta$を力率という。式（4.21）から分かるとおり，力率は有効電力を皮相電力で除して求められる。すなわち，

$$\text{力率} = \frac{\text{有効電力}}{\text{皮相電力}} = \frac{P}{EI} = \frac{EI\cos\theta}{EI} \qquad \cdots\cdots (4.44)$$

また，位相差は回路中の電圧と電流の比であるインピーダンスＺ〔Ω〕の種類，接続法によって異なり，従って力率も異なってくる。例えば，RとLの直列回路では次のようになる。

$$\text{位相差}\ \theta = \tan^{-1}\frac{\omega L}{R}$$

$$\text{力　率}\quad \cos\theta = \frac{R}{Z} = \frac{1}{\sqrt{1+\tan^2\theta}} = \frac{1}{\sqrt{1+\dfrac{\omega^2L^2}{R^2}}} = \frac{R}{\sqrt{R^2+\omega^2L^2}}$$

第５節 三相交流

１　三相交流とその結線法

(1)　対称三相交流

大きさと周波数が等しく位相差が2π／3（120°）ずつである3つの交流を1組として取り扱う場合に，これを対称三相交流といい，この回路を平衡三相回路(図4.18参照)という。前節で述べた交流を単相交流というが，基本的性質はいずれも同じである。この対称三相交流電圧の波形を，図4.19に示す。

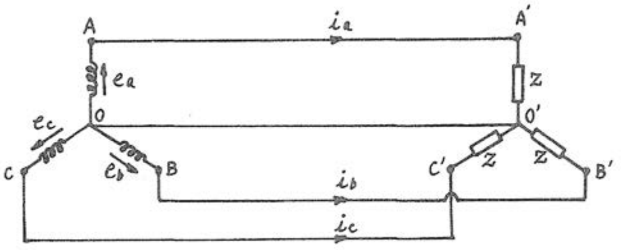


図 4.18　対称三相交流

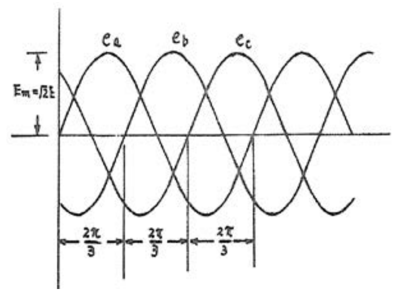


図 4.19　対称三相交流波形

(

2)　Ｙ結線

Ｙ字形に結線した三相回路（図 4.20 参照）を三相星形結線またはＹ結線といい，0，0′を中性点，中性点と各端子ａ，ｂ，ｃとの間の電圧E_a，E_b，E_cを相電圧，各端子ａ，ｂ，ｃ相互間の電圧E_{ab}，E_{bc}，E_{ca}を線間電圧という。線間電圧は相電圧の$\sqrt{3}$の大きさを持ち，相電圧よりπ／6(30°)だけ位相が進む。

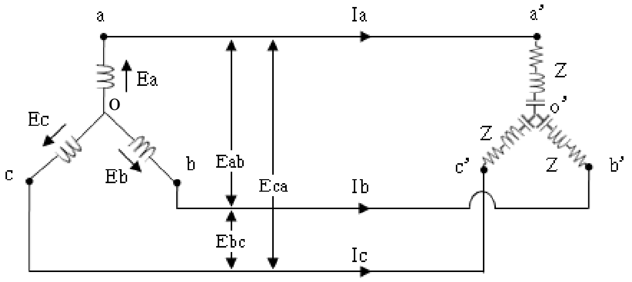


図 4.20　Ｙ結線

図4.20において，0－ａ間に流れる電流を相電流，ａ－ａ’間を流れる電流を線電流という。Ｙ結線の場合には，線電流Iaは相電流Iに等しい。

(3)　△結線

三角形に結線した三相回路（図4.21参照）を三相三角結線または△（デルタ）結線という。図から明らかなように，相電圧がそのまま線間電圧となる。△結線における線電流は相電流の$\sqrt{3}$倍の大きさを持ち，相電流よりπ／6（30°）遅れる。

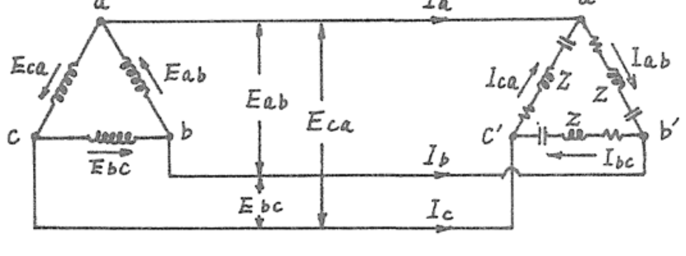


図 4.21　Δ結線