

# 第1章 電気の基礎

## 1.1 電気の発見

紀元前600年頃、ギリシャのターレスは「琥珀」をこすると「髪の毛や鳥の羽根」など軽い物質を引き付ける現象を発見した。これが、電気の発見の最初といわれている。

その後、イギリスのギルバート（1544～1603）は種々の静電現象を発見、さらにフランスのジュフェー（1698～1739）は電気には正電気と負電気があることを最初に明らかにした。アメリカのフランクリンは1747年にかの有名な「凧」を利用した雷の研究で「避雷針」を発明、このとき正電気と負電気について理論付けた。

以後、たくさんの研究者によって電気の性質から、電気の発生、そして電気の応用に至る研究が進められてきた。この中で我々、電気を学ぶものにとって最も身近に感じる「オームの法則」は1827年、ドイツのオームによって発見されている。

また、1831年にはイギリスのファラデーが、「電磁誘導現象」の解析を行っている。さらに、フレミングは「フレミングの右手の法則」や「フレミングの左手の法則」など、電気応用分野では欠かすことのできない法則を発見している。

このほか、たくさんの研究者によって法則や理論が発表され、電気・電子への応用技術に活用されている。

## 1.2 静電気

### 1.2.1 静電気

エボナイトの棒を毛皮でこすると、図1.1のように電気を帯びる。これは異なった物体が摩擦によって、電子の移動が起こったためである。このような電気を静電気という。

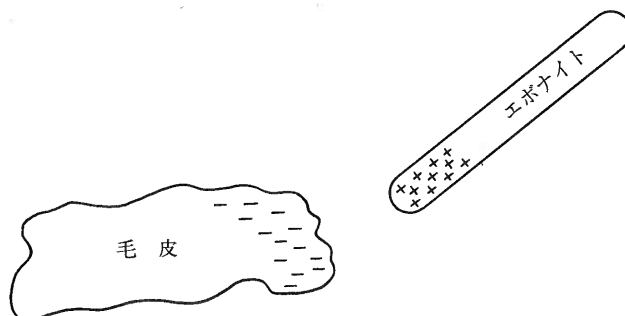


図1.1 摩擦による帯電

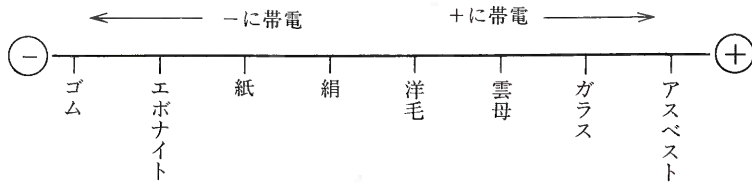


図1・2 帯電列

静電気の帯電現象は、二つの物体のうち一方または両方が、絶縁体であるか大地から絶縁された状態にあるときに生じる。

摩擦によって生じる電気の種類（+または-）は物質によって違っている。図1・2は左側に-の電気，右側に+の電気が発生するものを並べた帯電序列である。二つの物質が離れているほど沢山の電気が発生する。

ただし、二つの物体のうち帯電列の右側の物体に+の帯電，左側の物体に-側の帯電。

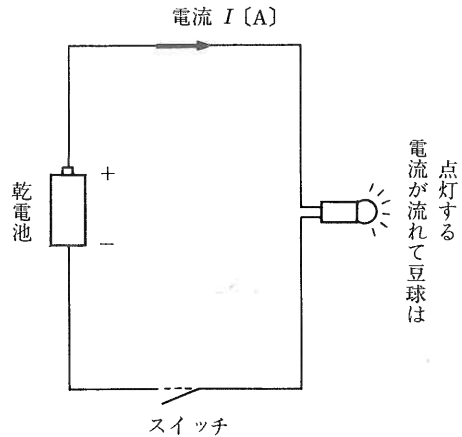


図1・3 スイッチを閉じると電流が流れる

静電気の量を表すために、クーロン [C] という電気量の単位が使われる。

1クーロンは1秒間に1アンペア [A] の電流を流すことのできる電気量である。

電流は、図1・3に示すように、蓄えられた電気が+極から-極に流れる電気の流れをいう。この電流の単位を [A] で表す。

この電流には発熱作用，磁気作用，化学作用，放電作用などがある。

### 1・2・2 クーロンの法則

二つの物体に帯電した静電気などの電荷を図1・4のように点電荷  $Q_1$  [C] と  $Q_2$  [C] として  $r$  [m] 離して置いたとき，両電荷を結ぶ直線上には式 (1・1) で示す力が働く。これをクーロンの法則という。

$$f = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \text{ [N]} \quad (1 \cdot 1)$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \text{ [N]}$$

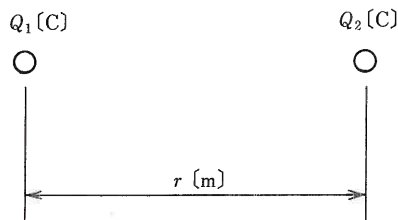


図1・4 クーロンの法則

ただし、 $\epsilon_0$ ：真空中の誘電率

N：ニュートン [kg・m/s<sup>2</sup>]

なお、点電荷  $Q_1$ 、 $Q_2$  が同種の電荷（+と+または-と-）であれば  $f$  は反発力となり、異種（+と-または-と+）であれば  $f$  は吸引力となる。

### 1・2・3 電 界

静電力の作用する空間を**電界**といい、電界の強さは電界に置かれた +1C の電荷に働く力で表される。この単位は [V/m] である。

たとえば、電界中のある点に置かれた +1C の電荷に 10N の力が加われば、その点の電界の強さは 10V/m である。

したがって、 $E$  [V/m] の電界中に  $Q$  [C] の電荷を置いたとき、これに働く力  $f$  は式 (1・2) で求められる。

$$f = QE \text{ [N]} \tag{1・2}$$

なお、電界の強さを表す仮想した力線を**電気力線**という。電気力線は、図1・5のように正電荷から負電荷に終わる。

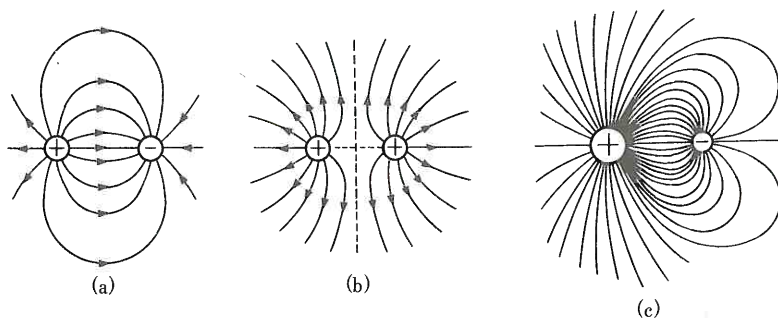


図1・5 点電荷と電気力線

## 1・3 磁気と磁界

### 1・3・1 磁 気

磁気は鉄片や鉄粉をよく吸い付ける。また、磁石を糸で吊るすと南北を向いて止まる。このような性質を**磁気**といい、磁気に起因する作用を**磁気作用**という。

磁石には図1・6に示すような磁極があり、北を向く磁極を**N極**または**正極**といい、南を

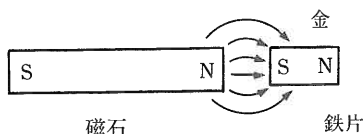


図1・6 磁気の性質

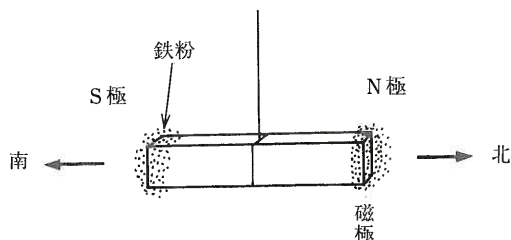


図1・7 磁気誘導

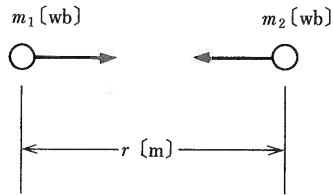


図1・8 クーロンの法則

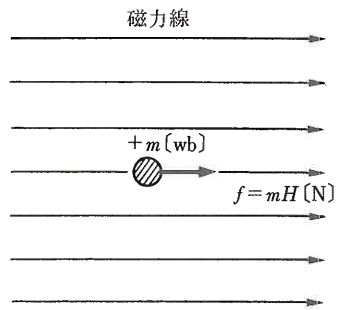


図1・9 磁界

向く磁極をS極または負極という。

一つの磁石の磁極の強さ(磁荷ともいう)は互いに等しく、磁極が互いに同種のときは反発力が、互いに異種のときは吸引力が働く。

鉄やニッケルのような、磁石を近づけると容易に磁化されて強い磁性を表す物体を強磁性体(または磁性体)といい、鉛や銅などのように磁気作用を持たない物体を非磁性体という。

図1・7に示すように磁石に鉄片を近づけると、鉄片は磁石の極性と異なる磁荷を帯び、鉄片は吸引される。鉄片から磁石を遠ざけると磁荷は消滅する。このような現象を磁気誘導という。

### 1・3・2 クーロンの法則(電磁的)

図1・8のように、2個の点磁荷  $m_1$  [wb] および  $m_2$  [wb] を透磁率  $\mu$  [H/m] の媒質中に  $r$  [m] 離して置いたとき、両磁荷を結ぶ直線上には式(1・3)で示す力が働く。これをクーロンの法則という。

$$f = 6.33 \times 10^4 \frac{m_1 m_2}{\mu_s r^2} \text{ [N]} \quad (1 \cdot 3)$$

ただし、 $\mu_s$ : 媒質の透磁率と真空の透磁率の比

### 1・3・3 磁界

磁気力の作用する空間を磁界または磁場といい、磁界の強さを表す単位をアンペア毎メートル [A/m] で表す。

したがって、磁界の強さ  $H$  [A/m] の点で  $+m$  [wb] の磁極は式(1・4)の力を磁界方向に受ける(図1・9)。

$$f = m H \text{ [N]} \quad (1 \cdot 4)$$

なお、磁界の強さを表す仮想した力線を磁力線という。また、磁力線を束にして数えたものを磁束といい、1wbの磁荷からは1本の磁束を仮想している。

### 1・3・4 電流の磁気作用

#### (1) 電流による磁界

導体に電流が流れると、導体の周囲には図1・10のような磁界が生じる。電流を右ねじの

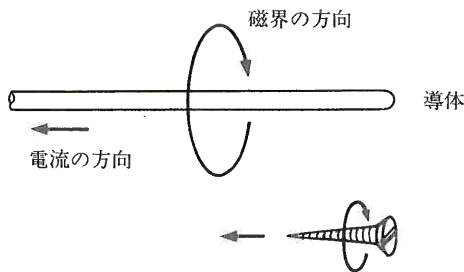


図1・10 右ねじの法則

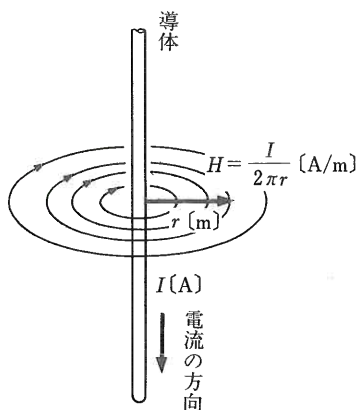


図1・11 磁界の強さ H

進む方向に流したとき、その電流によって、ねじを回す方向に磁界ができる。これを右ねじの法則という。

また、図1・11のように直線上の長い導体の周囲に生じる磁界の強さ  $H$  [A/m] は式(1・5)で表される。

$$H = \frac{1}{2\pi r} \text{ [A/m]} \tag{1・5}$$

(2) 電 磁 力

図1・12のように、磁界中の導体に電流を流すと、磁界と電流との間に力が働く。これを電磁力という。

電磁力  $f$  の方向は電流  $I$  と磁界  $B$  の方向に対して垂直に働くことから、電流と磁束と力の関係はフレミングの左手の法則が成立する。

電動機はこの原理を応用したものである。

(3) 電 磁 誘 導

図1・13のように、環状鉄心に二つのコイル A および B を巻き、コイル A の電源を開閉するとその瞬間だけ磁針が振れる。

これは、環状鉄心の磁束が変化をしたために、コイル B に起電力を誘導し、導体 C に電流が流れて磁界が生じ、磁針と作用し合ったためである。このような現象を電磁誘導という。

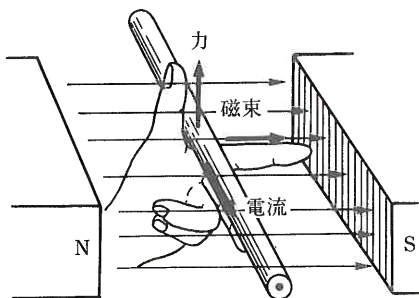


図1・12 フレミングの左手の法則

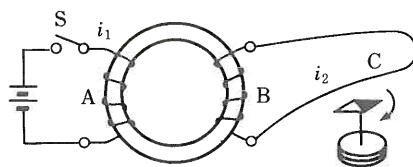


図1・13 電磁誘導

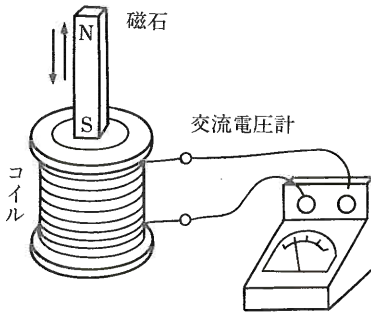


図1・14 誘導起電力

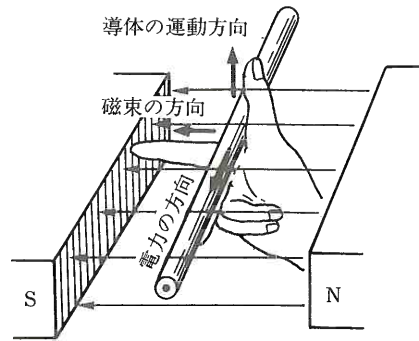


図1・15 フレミングの右手の法則

電磁誘導は図1・14のようにコイルの中に棒磁石を出し入れしたときや、磁界中に導体やコイルを動かしたときにも発生する。

電磁誘導によって発生する誘導起電力は、レンツの法則により式(1・6)で求めることができる。

$$e = Blv \text{ [V]} \quad (1 \cdot 6)$$

ただし、 $e$ ：誘導起電力

$B$ ：磁束密度

$l$ ：磁界の中の導体の長さ [m]

$v$ ：導体が磁界と直角方向に動く速度 [m/s]

なお、図1・15のように、磁界の方向と導体の運動方向と誘導起電力の方向の関係ではフレミングの右手の法則が成立する。

## 1・4 直 流

### 1・4・1 電圧と電流・抵抗

電気回路に流れる電流の大きさは、電源の容量や導体の抵抗の大きさによって変化する。

たとえば、電荷量10Cの電源に接続された導体の抵抗を0と仮定したとき、この導体には1秒間に10Aの電流が流れる。

このように、導体に電流を流すことのできる力を電圧(電位差)といい、単位をボルト[V]で表す。

また、導体は種類や形状、温度差などによって、電流の流れを妨げようとする性質を持っている。このような性質を電気抵抗といい、単位をオーム[Ω]で表す。

電流の流れは導体中の自由電子の移動によって生じるもので、この自由電子の移動を妨げる性質が、その導体の電気抵抗といえる。

### 1・4・2 オームの法則

図1・16のように、 $R$  [Ω] の抵抗の両端に  $E$  [V] の電圧を加えたとき、導体に  $I$  [A] の電流が流れたとすれば、電圧、電流と抵抗の間には、式(1・7)に示すオームの法則が成立する。

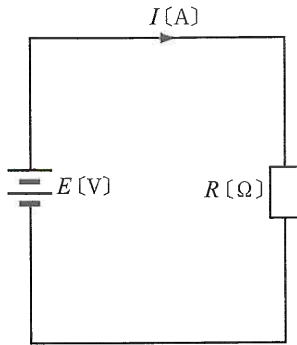


図1・16 電気回路

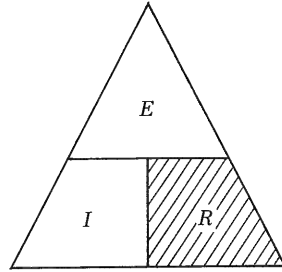


図1・17 オームの法則

$$I = \frac{E}{R} \text{ [A]} \tag{1・7}$$

したがって、「電流は電源の電圧に比例し，抵抗に反比例する」。

なお，抵抗値  $1\Omega$  は， $1\text{V}$  の電圧で  $1\text{A}$  の電流が流れたときの抵抗を表す。

図1・17は，電圧，電流，抵抗の関係を示すもので，回路の抵抗値を求めるときは，抵抗の部分（斜線部分）を未知（斜線部分）とすると，残った電圧を電流で除した  $R = E/I$  で求められる。

【例題1】 図1・18に示す回路に流れる電流  $I$  [A] を求めよ。なお，図中の $\sim$ は交流の電源を表す。

【解答】 図1・19のように電流を未知の部分（斜線）とすると， $I = E/R$  となり，式(1・8)が得られる。

$$I = \frac{100}{25} = 4 \text{ [A]} \tag{1・8}$$

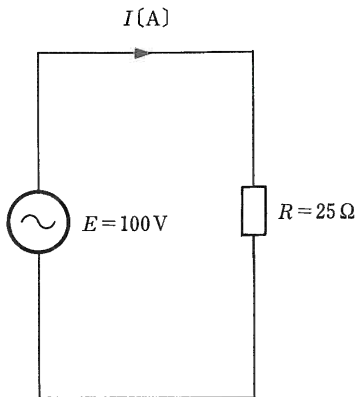


図1・18 例題1の図

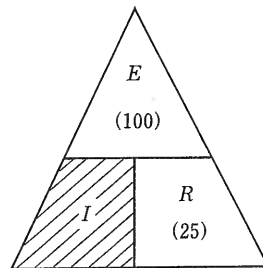


図1・19

【例題2】 図1・20に示す回路の電源電圧  $E$  [V] を求めよ。

【解答】 図1・21のように電圧を未知の部分（斜線）とすると，式(1・9)が得られる。

$$\begin{aligned} E &= I \cdot R \\ &= 5 \times 20 \\ &= 100 \text{ [V]} \end{aligned} \tag{1・9}$$

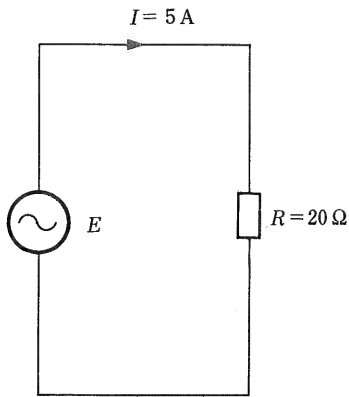


図1・20 例題2の図

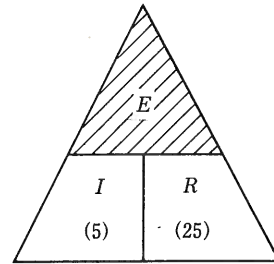


図1・21

### 1・4・3 抵抗の接続と合成抵抗

電気回路に流れる電流の働きの代表的なものに、発熱作用、磁気作用、化学作用、放電作用がある。これらの働きは、電気エネルギーを熱エネルギーや運動エネルギーなどに変換するための負荷（抵抗）へ流れる電流によるもので、抵抗は電気エネルギーを他のエネルギーに変換する負荷装置である。

#### (1) 直列接続

図1・22のように、 $R_1$  [ $\Omega$ ],  $R_2$  [ $\Omega$ ],  $R_3$  [ $\Omega$ ] の抵抗を直列に接続し、これに  $E$  [V] の電圧を加えたとき  $I$  [A] の電流が流れたとすると、 $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  の両端の電圧は式 (1・7) から次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= R_1 I \\ E_2 &= R_2 I \\ E_3 &= R_3 I \end{aligned} \right\} \quad (1 \cdot 10)$$

したがって

$$E = E_1 + E_2 + E_3 = (R_1 + R_2 + R_3) I \quad (1 \cdot 11)$$

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{E}{R_0} \quad (1 \cdot 12)$$

ここで、

$$R_0 = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1 \cdot 13)$$

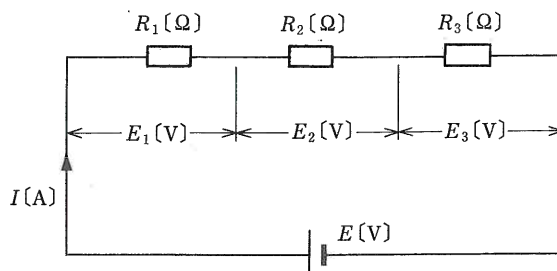


図1・22 抵抗の直列接続



とする。

式 (1・13) の  $R_0$  を抵抗の直列回路の合成抵抗という。

すなわち、直列回路の合成抵抗値は、抵抗値の和に等しい。

【例題3】 図1・23 に示す回路の  $R$  の抵抗値  $[\Omega]$  を求めよ。

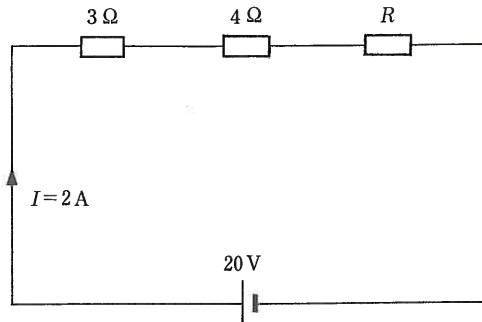


図1・23 例題3の図

【解答】 合成抵抗値  $R_0$  を求めると

$$R_0 = \frac{20\text{V}}{2\text{A}} = 10\text{ }[\Omega] \quad (1 \cdot 14)$$

$$\text{したがって、} R_1 = 3 + 4 + R = 10 \quad (1 \cdot 15)$$

$$R = 10 - 7 = 3\text{ }[\Omega] \quad (1 \cdot 16)$$

## (2) 並 列 接 続

図1・24のように、 $R_1$   $[\Omega]$ 、 $R_2$   $[\Omega]$ 、 $R_3$   $[\Omega]$  の抵抗を並列に接続し、これに  $E$   $[\text{V}]$  の電圧を加えたとき、それぞれの抵抗に  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  の電流が流れたとすると、並列回路の合成抵抗は次の通りである。

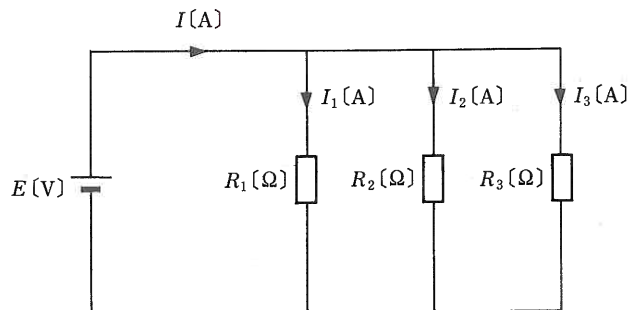


図1・24 抵抗の並列接続

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{E}{R_1} \\ I_2 &= \frac{E}{R_2} \\ I_3 &= \frac{E}{R_3} \end{aligned} \right\} \quad (1 \cdot 17)$$

$I = I_1 + I_2 + I_3$  であるから

$$I = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) E = \frac{E}{R_0} \quad (1 \cdot 18)$$

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (1 \cdot 19)$$

したがって、合成抵抗  $R_0$  は、式 (1・20) で求めることができる。

$$R_0 = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1} \quad (1 \cdot 20)$$

並列回路の合成抵抗値の逆数は、各抵抗値の逆数の和に等しい。

【例題4】 図1・25に示す回路におけるそれぞれの電流 [A]，および合成抵抗値 [ $\Omega$ ] を求めよ。

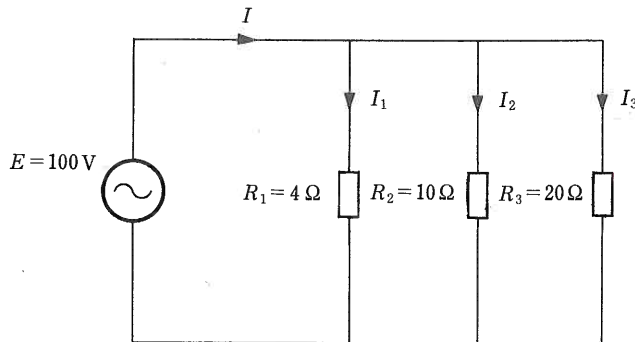


図1・25 例題4の図

【解答】 各抵抗に流れる電流を求めると

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{100}{4} = 25 \text{ [A]} \\ I_2 &= \frac{100}{10} = 10 \text{ [A]} \\ I_3 &= \frac{100}{20} = 5 \text{ [A]} \end{aligned} \right\} \quad (1 \cdot 21)$$

したがって

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 25 + 10 + 5 = 40 \text{ [A]} \quad (1 \cdot 22)$$

合成抵抗

$$R_0 = \frac{E}{I} = \frac{100}{40} = 2.5 \text{ [\Omega]} \quad (1 \cdot 23)$$

または

$$R_0 = \frac{4 \times 10 \times 20}{4 \times 10 + 10 \times 20 + 4 \times 20} = \frac{800}{320} = 2.5 \text{ [\Omega]} \quad (1 \cdot 24)$$

なお、図1・26のような並列回路の合成抵抗  $R_0$  [ $\Omega$ ] は式 (1・25) で求めることができる。

$$R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1 \cdot 25)$$

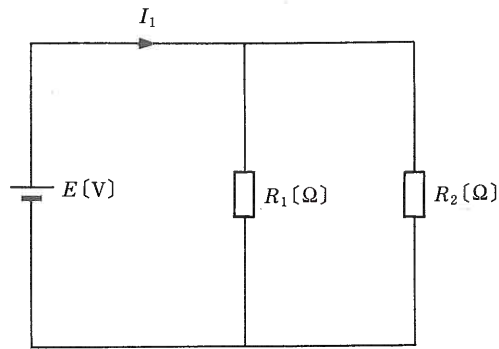


図1・26 抵抗2個の並列回路

## (3) 直並列接続

図1・27のように  $R_1$  [Ω],  $R_2$  [Ω],  $R_3$  [Ω] の抵抗が直並列接続された合成抵抗値は式(1・26)で求めることができる。

$$R_0 = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \quad (1 \cdot 26)$$

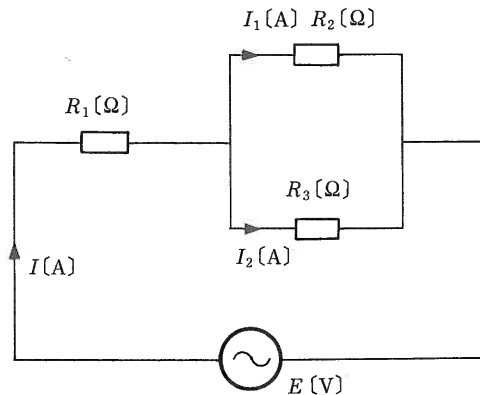


図1・27 抵抗の直並列回路

【例題5】 図1・28に示す回路の電流 [A] および合成抵抗値 [Ω] を求めよ。

[解答] 抵抗  $R_1$ ,  $R_2$  および  $R_3$  の両端に加わる電圧を  $E_1$  [V] および  $E_2$  [V] とすると

$$E_2 = 6 \times 1 = 6 \text{ [V]} \quad (1 \cdot 27)$$

$$R_3 = \frac{6 \text{ [V]}}{2 \text{ [A]}} = 3 \text{ [Ω]} \quad (1 \cdot 28)$$

また

$$I_1 = I_2 + I_3 = 1 + 2 = 3 \text{ [A]} \quad (1 \cdot 29)$$

$$E_1 = E - E_2 = 30 - 6 = 24 \text{ [V]} \quad (1 \cdot 30)$$

$$R_1 = \frac{24 \text{ [V]}}{3 \text{ [A]}} = 8 \text{ [Ω]} \quad (1 \cdot 31)$$

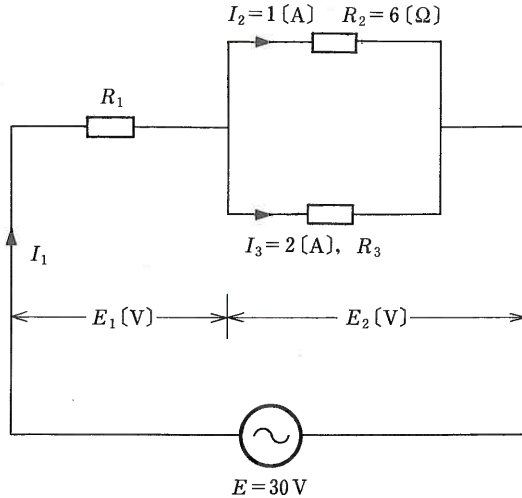


図1・28 例題5の図

### 1・5 導体と絶縁体

物質に電圧を加えると、一般的には多少なりとも電流が流れる。このように、物質は電気を通す性質を持っている。

金属のように電気をよく通す導体（導電材料）と通しにくい絶縁物がある。また、導体と絶縁物との中間的な抵抗率を持つ半導体材料がある。

図1・29は導体、半導体と絶縁物の導電率や抵抗率の関係を示す。

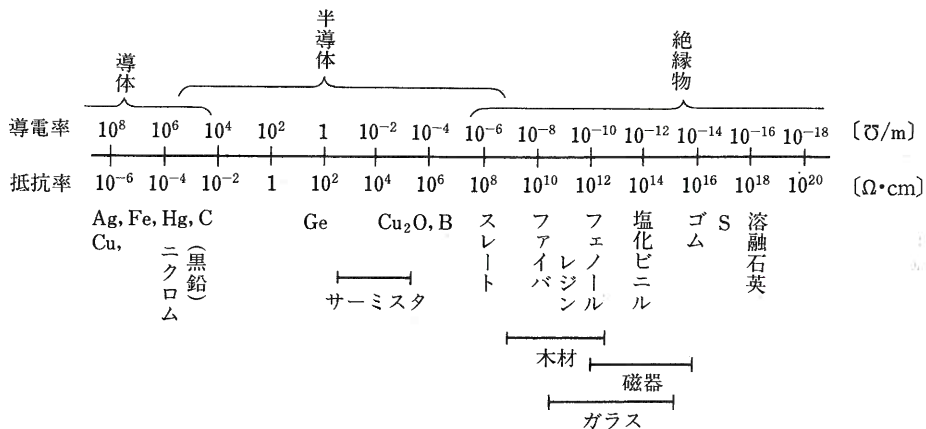


図1・29 導体、半導体、絶縁物と導電率（室温）の関係

#### 1・5・1 導 体

導体の主な用途として、電流の通路や電極などがある。銅電線は電流の通路として最も多く使用されている。

導体の電気抵抗は導体の種類、形状、温度などによって異なる。

なお、長さ  $l$  [m]、断面積  $A$  [ $m^2$ ] の導体の電気抵抗  $R$  [ $\Omega$ ] は、式 (1・32) で表すこと

ができる。

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad [\Omega] \quad (1 \cdot 32)$$

なお、 $\rho$  は導体の抵抗率または固有抵抗といい、単位は  $[\Omega \cdot \text{m}]$  で表す。抵抗率の逆数  $1/\rho$  を導電率といい、電流の通りやすさを表す。

主な金属の導電率は表1・1に示す通りである。

表1・1 金属の抵抗率と%導電率

種別	抵抗率 [ $\Omega \cdot \text{m} \times 10^3$ ]	%導電率
銀 (Ag)	1.62	106.4
銅 (Cu)	1.69	102.1
万国標準軟鋼	1.7241	100.0
金 (Au)	2.4	71.8

【例題6】直径2.6mmの軟銅電線300mの抵抗  $[\Omega]$  を求めよ。ただし、 $\rho = 1/58 \text{ } [\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}]$  とする。

【解答】導体の電気抵抗は、式(1・20)より

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad [\Omega] \quad (1 \cdot 33)$$

である。直径2.6mmの電線の断面積  $A$  を求めると

$$A = \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2 = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{3.14}{4} \times (2.6)^2 = 5.3 \text{ } [\text{mm}^2] \quad (1 \cdot 34)$$

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{1}{58} \times \frac{300}{5.3} = 0.98 \text{ } [\Omega] \quad (1 \cdot 35)$$

## 1・5・2 絶縁物

絶縁物は電気を非常に通しにくい材料、電気絶縁材料として用いられる。

絶縁材の抵抗を絶縁抵抗といい、非常に大きい抵抗値であることから、一般にメガオーム  $[M\Omega]$  で表す。なお、 $1M\Omega = 10^6\Omega$  である。

また、絶縁抵抗を通して流れる電流を漏れ電流という。絶縁体が湿気を吸収したり、表面に塵埃が付着すると絶縁抵抗値が低下し、漏れ電流が増加する。

表1・2は、絶縁材料の耐熱区分例を示す。

## 1・5・3 半導体

導体と絶縁物との中間的な抵抗率を持つもので、たとえば、シリコン、セレン、ゲルマニウムなどの単結晶材料から、亜酸化銅や硫化銀などのような化合物に至るまでたくさんの種類がある。

半導体の中には、温度の変化や光の強弱、電圧の高低により抵抗値が変化するものもある。今日の電子技術の発達には、半導体材料の研究開発が進んだ結果でもある。

表1・2 絶縁材料の耐熱区分

絶縁種別	許容最高温度 〔°C〕	主な絶縁材料
—	60～90	塩化ビニル
Y	90	紙, ポリエチレン, 絶縁油
A	105	油性ワニス, ワニクラス, ワニスパード
E	120	コンパウンド, ポリビニルホルマール被膜
B	130	ガラス繊維, マイカナイトペーパー
F	155	ガラス, 雲母製品
H	180	シリコンゴム, フッ素樹脂製品
C	180～	石綿, ガラス布 (300°C), 磁器 (1,000°C)

#### 1・5・4 導体の温度による抵抗変化

金属のような導体の抵抗は温度の上昇に伴って抵抗も増加する。

このような抵抗と温度の変化の割合を**抵抗の温度係数**といい、温度  $t$ 〔°C〕における導体の抵抗は、式 (1・36) で求めることができる。

$$R_t = R_{t_0} \{1 + \alpha_{t_0} (t - t_0)\} \quad (1 \cdot 36)$$

ただし、 $R_{t_0}$  :  $t_0$ 〔°C〕のときの導体の抵抗

$\alpha_{t_0}$  : 基準温度  $t_0$ 〔°C〕に対する抵抗の温度係数

表1・3は、温度係数の例を示す。

表1・3 抵抗の温度係数

金 属	係 数
銀 (Ag)	0.0038
銅 (Cu)	0.00393
アルミニウム (Al)	0.0039
金 (Au)	0.0034
鉄 (Fe)	0.005

#### 1・5・5 接 触 抵 抗

電気回路には、必ず導体相互（たとえば電線と電線）あるいは導体と機器や器具との接続する部分がある。この接続部分の金属表面には顕微鏡で観察すると凹凸がある。したがって、導体相互を接触させても実際に全面で接触することは考えられず、いくつかの凸部で接触し、電気の流れる道をつくる。この電気の流れる道の接触面を**真実接触面**という。

このように、接触部分は見かけの接触面積（真実接触面とそれ以外の部分を含んだ面）に比べて極めて小さく、電流はこの凸部接触面に集中して流れるため集中抵抗（図1・30）が生じる。さらに、金属表面には酸化膜や油、汚れなどの被膜抵抗が存在するため、電流はこれらを通り流れる。

このように、導体面を接触させたときに生じる抵抗を**接触抵抗**という。

### 1・5・6 接地抵抗

接地とは、大地に電氣的に結び付けることをいい、その目的には電気機器などの漏電による感電防止や電撃防止といった安全保護用接地と、電位の均等化を主とした機能接地に大別することができる。

接地極には棒銅や銅板を使用し、大地に打ち込んだり埋設する方法などがある。

接地抵抗は導体の接触抵抗と異なり、図1・31のように、接地極を通じて  $I$  [A] の電流が流れたとき、接地極の電位が  $E$  [V] であったとすれば、接地抵抗値は式 (1・37) で求めることができる。

$$R = \frac{E}{I} \text{ } [\Omega] \tag{1・37}$$

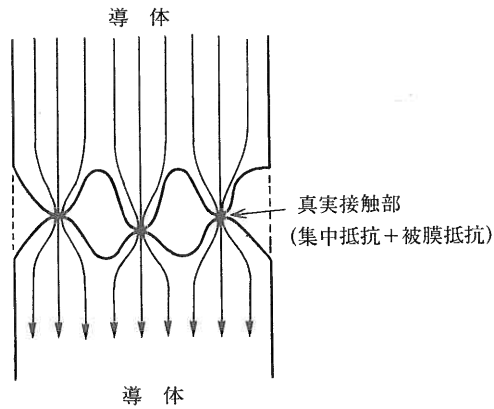


図1・30 接触抵抗

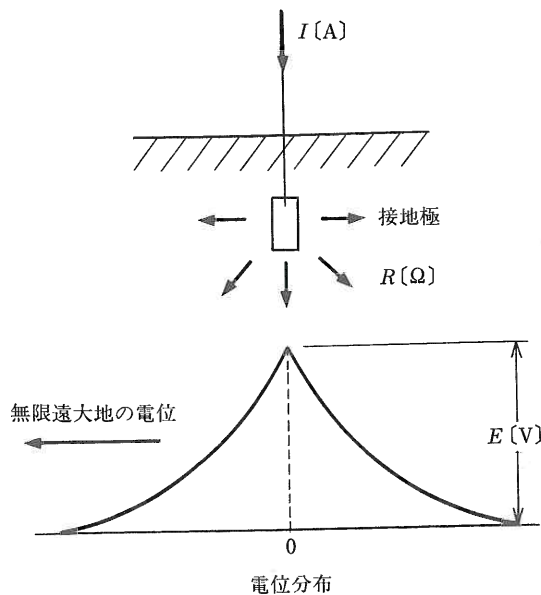


図1・31 接地抵抗

## 1・6 放 電

放電は気体や液体、あるいは固体表面で絶縁破壊が生じ、電子なだれからストリーマに成長し電極間に大電流が流れたりするもので、このような放電によって電極間が短絡されることを**全路破壊**という。

一般に、気体や液体中あるいは固体表面で生じる全路破壊を**フラッシュオーバー**、あるいは**スパークオーバー**といい、さらに電極間の一部で気体中など、導体表面で発生する部分的な放電を**コロナ放電**という。

**アーク放電**は、コロナ放電などから全面破壊が起き大電流が流れた放電である。

**グロー放電**はアーク放電に移行する前の自続放電である。低気圧中では放電が安定するが大気中では一般的に不安定であり、短時間しか持続できない。

たとえば、ガラス管内の気圧を1hPa（ヘクトパスカル）程度にして電極間に電圧を加えると、放電して美しい光色を放つ。これを**グロー放電**という。ネオン管はグロー放電の陽光柱を利用したものであり、ネオン電球は陰光柱を利用したものである。

なお、気体放電の放電形式による分類を図1・32に示す。



図1・32 気体放電の放電形態

## 1・7 電力と電力量

電気回路の負荷に電流が流れると、電流の働きによって、電気エネルギーが熱エネルギーや運動エネルギーに変換される。

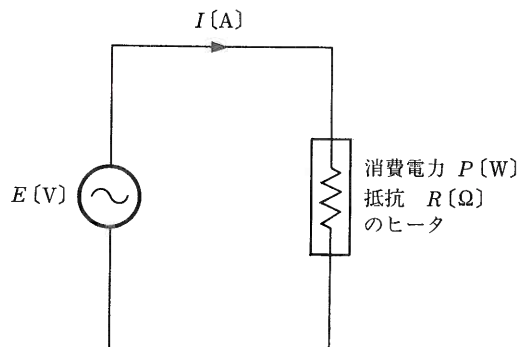


図1・33 電力



このように、電気エネルギーが他のエネルギーに変わるために消費される電気を電力といふワット〔W〕で表す。

図1・33に示す回路で消費される電力を $P$ 〔W〕とすれば、電力と電圧および電流との関係は式(1・38)で表すことができる。

$$P = EI = I^2 R = \frac{E^2}{R} \quad \text{〔W〕} \quad (1 \cdot 38)$$

また、 $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ である。

なお、 $P$ 〔W〕の電力が $t$ 〔s〕間続いたときの電力量は、 $Q = P_t$ 〔W・sまたはJ〕である。電力量 $Q$ 〔W・s〕と発熱量 $H$ 〔cal〕の関係は、次の通りである。

$$1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J} \quad (1 \cdot 39)$$

$$Q = P_t = I^2 \cdot R_t \quad \text{〔W・s〕} \quad (1 \cdot 40)$$

$$H = 0.24 I^2 R_t \quad \text{〔cal〕} \quad (1 \cdot 41)$$

$$1 \text{ kWh} = 1,000 \text{ W} \times 3,600 \text{ s} = 860 \quad \text{〔kcal〕} \quad (1 \cdot 42)$$

【例題7】600 Wの電熱器を毎日6時間ずつ10日間使用したときの電力量〔kWh〕と熱量〔kcal〕を求めよ。

〔解答〕

$$Q = P \cdot t = 600 \times 6 \times 10 = 36,000 \text{ Wh} = 36 \quad \text{〔kWh〕} \quad (1 \cdot 43)$$

$$H = 860 \times 36 = 30,960 \quad \text{〔kcal〕} \quad (1 \cdot 44)$$

## 1・8 単相交流

### 1・8・1 単相交流

直流(DC: Direct Current)は、図1・34のように電圧が時間 $t$ に対して大きさおよび方向が一定である。

我々の一般家庭に送られてくる電圧は図1・35のような電圧波形(正弦波交流)を示す交流であり、単相交流である。

この単相交流の電圧の変化は図1・35に示すように時間とともに正弦波形に変化し、その変化は1サイクル(周期)が $T = 1/50$ 秒(周波数50 Hz)と $T = 1/60$ 秒(周波数60 Hz)である。

我々の家庭に送られてくる電圧を電圧計で計測すると指針は100 Vを示すが、これは電圧の実効値を指示したもので、シンクロスコープなどにより波形観測すると最大値 $V_m$ は141 V

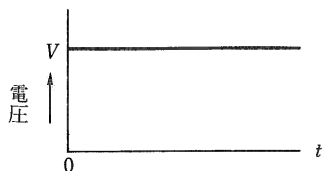


図1・34 直流(DC)

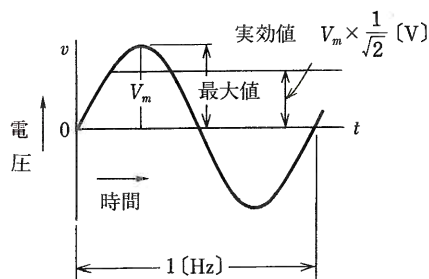


図1・35 単相交流(AC)

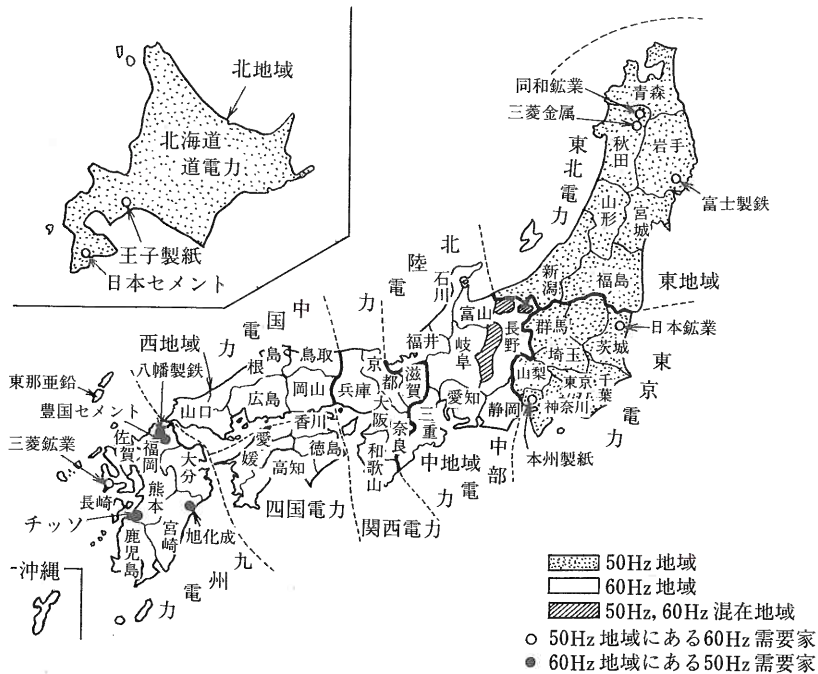


図1・36 周波数で表した日本地図

を示す。

なお、実効値 100 V とは、同じ抵抗体に直流電圧 100 V を加えたときと同じ発熱効果を生ずる電圧である。実効値と最大値の関係は式 (1・45) に示す。

$$\left. \begin{aligned} \text{実効値} &= \frac{1}{\sqrt{2}} \times \text{最大値} \\ \text{最大値} &= \sqrt{2} \times \text{実効値} \end{aligned} \right\} \quad (1 \cdot 45)$$

また、我が国は商用周波数として 50 Hz と 60 Hz の 2 種類が使用されている。50 Hz は主に富士川以東の地域、60 Hz は富士川以西の地域である。

図 1・36 は周波数の使用分布図を示す。

【例題 8】 50 Hz と 60 Hz の正弦波交流電圧の周期 [秒] を求めよ。

【解答】

・ 50 Hz の場合

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0.02 \text{ [秒]} \quad (1 \cdot 46)$$

・ 60 Hz の場合

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60} = 0.017 \text{ [秒]} \quad (1 \cdot 47)$$

【例題 9】 実効値 200 V の正弦波交流電圧の最大値 [V] を求めよ。

【解答】

$$\begin{aligned} \text{最大値} &= \sqrt{2} \times \text{実効値 [V]} \\ &= \sqrt{2} \times 200 = 282.8 \text{ [V]} \end{aligned} \quad (1 \cdot 48)$$

### 1・8・2 単相交流回路の電圧と電流

直流回路では図1・37に示すような、電圧  $E$  [V] が一定のとき、回路に流れる電流  $I$  [A] は抵抗  $R$  [ $\Omega$ ] で除した値となる。

しかし、交流回路の場合、交流電圧  $V$  は、時間  $t$  に対して、大きさも方向も変化するところから、回路に接続された負荷の種類、たとえば、抵抗  $R$  [ $\Omega$ ] のみの場合や、鉄心にコイルを巻いたインダクタンス  $L$  (H：ヘンリー) の負荷、あるいはコンデンサのようなキャパシタンス  $C$  (F：ファラッド) の負荷のある場合では、電圧波形と電流波形の始まりが異なってくる。

図1・38は、交流回路の負荷の違いによる電圧波形と電流波形の関係を示す。

図 (a) は、抵抗  $R$  [ $\Omega$ ] のみの回路であり、電圧と電流は同時に始まっている。図 (b) は、インダクタンス  $L$  [H] の負荷がある場合であり、電流は電圧に対して  $90^\circ$  遅れている。このとき

$$i_L = \frac{e}{X_L} \text{ [A]} \tag{1・49}$$

である。なお、 $X_L$  は誘導性リアクタンスといい、 $X_L = 2\pi fL$  [ $\Omega$ ] である。

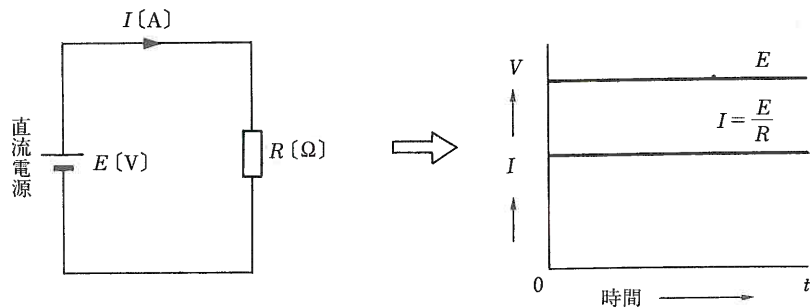
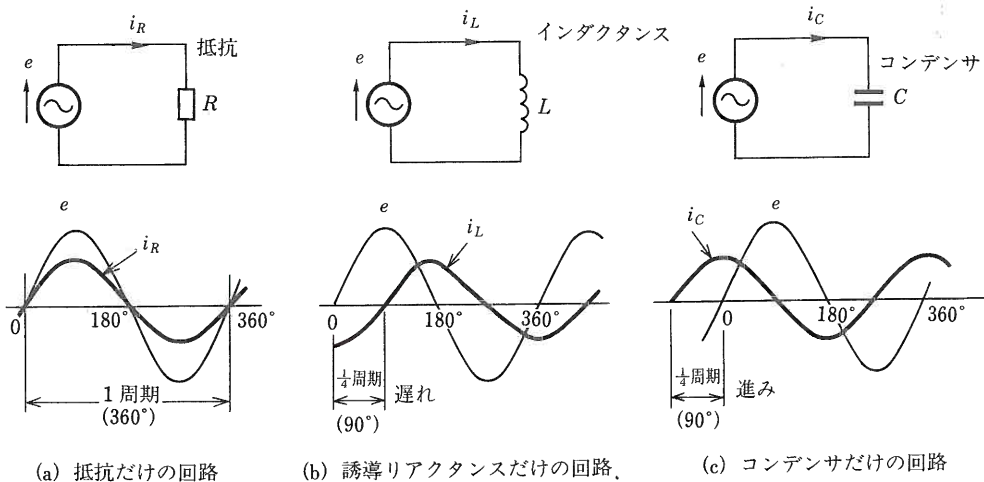


図1・37 直流回路の電圧と電流



(a) 抵抗だけの回路

(b) 誘導リアクタンスだけの回路、

(c) コンデンサだけの回路

図1・38 交流回路の電圧と電流の関係

ただし、 $\pi = 3.14$ 、 $f$ は周波数。

図(c)は、キャパシタンス  $C$  [F] の負荷がある場合であり、電流は電圧に対して90度進んでいる。このとき

$$i_c = \frac{e}{X_c} \text{ [A]} \quad (1 \cdot 50)$$

である。

なお、 $X_c$ は容量性リアクタンスといい

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} \text{ [\Omega]} \quad (1 \cdot 51)$$

である。

ただし、 $\pi = 3.14$ 、 $f$ は周波数、 $C$ はキャパシタンス。

【例題10】図1・39のようなインダクタンス100mHのときの誘導性リアクタンス  $X_L$  [\Omega] を求めよ。また、回路に流れる電流  $I_L$  [A] はいくらか。

【解答】

$$X_L = 2\pi fL = 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.1 = 31.4 \text{ [\Omega]} \quad (1 \cdot 52)$$

$$I_L = \frac{E}{X_L} = \frac{100}{31.4} = 3.2 \text{ [A]} \quad (1 \cdot 53)$$

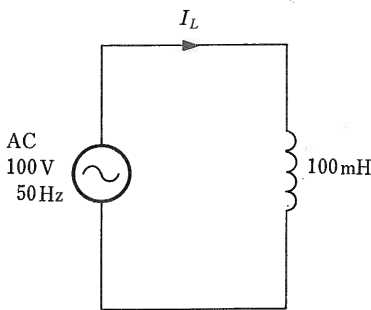


図1・39 例題10の図

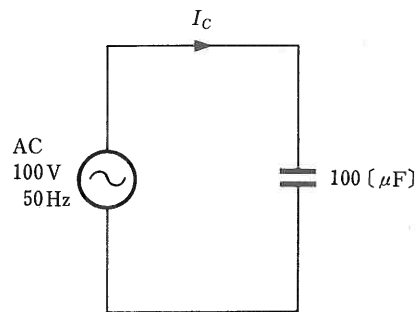


図1・40 例題11の図

【例題11】図1・40のようなキャパシタンス  $100\mu\text{F}$  のときの容量性リアクタンス  $X_c$  はいくらか。また、回路に流れる電流  $I_c$  [A] はいくらか。

【解答】

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times 0.0001} = 31.8 \text{ [\Omega]} \quad (1 \cdot 54)$$

$$I_c = \frac{E}{X_c} = \frac{100}{31.8} = 3.14 \text{ [A]} \quad (1 \cdot 55)$$

### 1・8・3 RLCの直列回路

図1・41のような交流電源  $E$  [V] に抵抗  $R$ 、インダクタンス  $L$  およびキャパシタンス  $C$  が直列に接続されている場合の  $R$  と  $L$  と  $C$  の合成抵抗をインピーダンスといい  $Z$  で表す。

したがって、回路に流れる電流  $I$  [A] を求める場合はインピーダンス  $Z$  を求める必要がある。

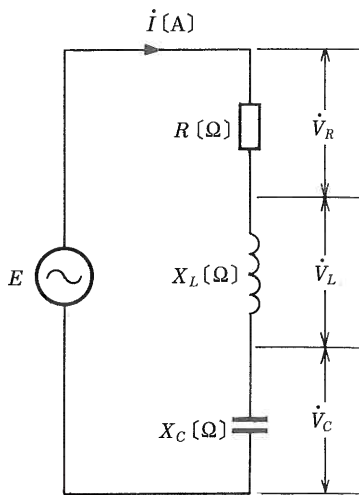


図1・41 RLC直列回路

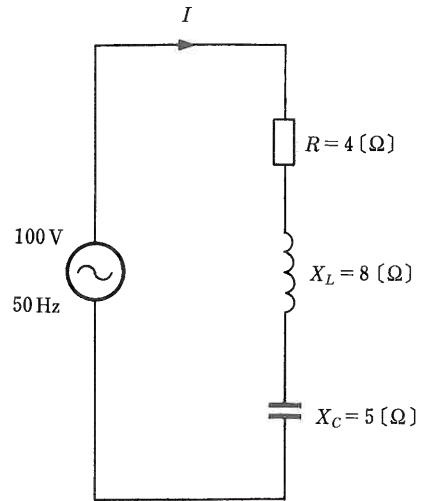


図1・42 例題12の図

この場合、インピーダンス  $Z$  は式 (1・56) で得られ、また、電流  $I$  は式 (1・57) で求められる。

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad [\Omega] \quad (1 \cdot 56)$$

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \quad [\text{A}] \quad (1 \cdot 57)$$

ただし、 $X_L$  は誘導性リアクタンス、 $X_C$  は容量性リアクタンス。

なお、式 (1・56)、式 (1・57) において、 $X_L = X_C$  のときはインピーダンス  $Z$  は抵抗  $R$  [ $\Omega$ ] のみとなり、図1・41の回路の抵抗は最小値となる。このように、合成リアクタンスがゼロ ( $X_L - X_C = 0$ ) になる状態を直列共振という。

直列共振のときの周波数を  $f_r$  とすると、式 (1・58) が成立する。

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{Hz}] \quad (1 \cdot 58)$$

この回路における力率  $\cos \theta$  は、式 (1・59) で求められる。

$$\cos \theta = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \quad (1 \cdot 59)$$

【例題12】 図1・42に示す回路のインピーダンス  $Z$  [ $\Omega$ ] を求めよ。また、回路に流れる電流  $I$  [A] はいくらか。

【解答】

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{4^2 + (8 - 5)^2} = 5 \quad [\Omega] \quad (1 \cdot 60)$$

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{100}{5} = 20 \quad [\text{A}] \quad (1 \cdot 61)$$

#### 1・8・4 RLCの並列回路

図1・43のような交流電源  $E$  [V] に、抵抗  $R$ 、インダクタンス  $L$  およびキャパシタンス  $C$  が並列に接続されている場合の  $R$  と  $C$  と  $L$  のインピーダンス (合成抵抗)  $Z$  は式 (1・62)

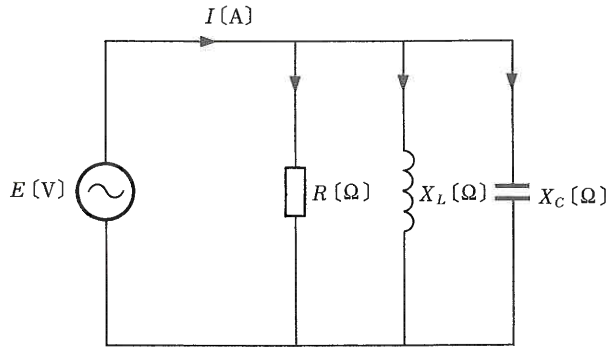


図1・43 RLC並列回路

で、電流  $I$  は式 (1・63) で求められる。

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}} \quad [\Omega] \quad (1 \cdot 62)$$

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{E}{\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}}} = E \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2} \quad [\text{A}] \quad (1 \cdot 63)$$

この回路における力率  $\cos \theta$  は式 (1・64) で求められる。

$$\cos \theta = \frac{R}{Z} = R \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2} \quad (1 \cdot 64)$$

【例題13】 図1・44 に示す  $R$ 、 $L$ 、 $C$  が並列に接続されているときの回路のインピーダンス  $Z$  [ $\Omega$ ] を求めよ。また、回路に流れる電流  $I$  [A] はいくらか。

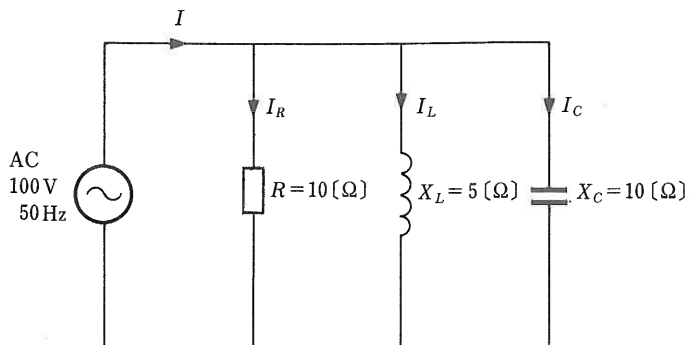


図1・44 例題13の図

【解答】

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{10}\right)^2 + \left(\frac{1}{5} - \frac{1}{10}\right)^2}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{100}\right)^2 + \left(\frac{1}{100}\right)^2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = 8.76 \text{ } [\Omega] \quad (1 \cdot 65)$$

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{100}{8.76} = 11.4 \text{ } [A] \quad (1 \cdot 66)$$

### 1・8・5 交流の電力と力率

#### (1) 抵抗負荷 $R$ の場合

電熱器や白熱電灯のような、ほぼ抵抗  $R$  だけの交流回路においては、図1・45のように、電圧波形と電流波形の変化は同時に始まる。

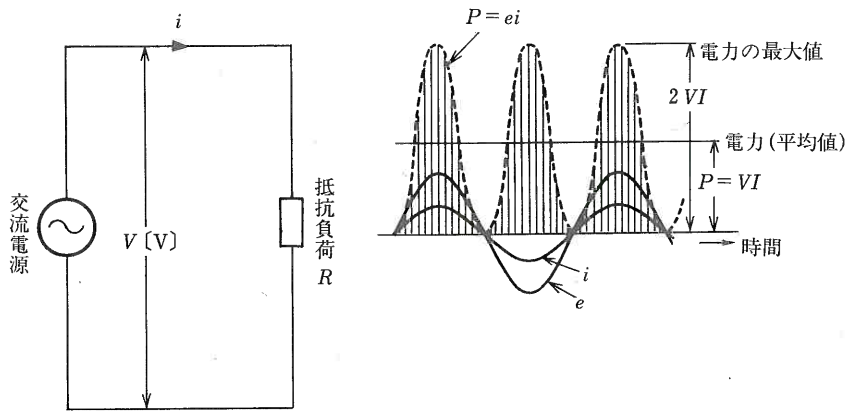


図1・45 交流の電力 (抵抗負荷の場合)

交流電圧を  $e$  [V] とすれば、回路に流れる電流  $i$  [A] は

$$i = \frac{e}{R} = [A] \quad (1 \cdot 67)$$

である。瞬時の電力  $P$  [W] は、式 (1・38) から

$$P = ei = i^2 R = \frac{e^2}{R} \text{ } [W] \quad (1 \cdot 68)$$

したがって、交流回路における抵抗負荷  $R$  のみの場合、図1・45に示す通り交流電力平均値 (電力 [W]) は

$$P = VI \text{ } [W] \quad (1 \cdot 69)$$

である。

#### (2) 抵抗 $R$ と誘導リアクタンス $X_L$ のある場合

図1・46に示すとおり、電流波形は電圧波形に対して少し遅れた波形となり、回路に流れる電流  $i$  [A] は

$$i = \frac{e}{Z} = \frac{e}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \text{ } [A] \quad (1 \cdot 70)$$

である。

このときの瞬時の電力  $P = ei$  は図1・46 (b) でもわかるように、正の領域の電力と負の

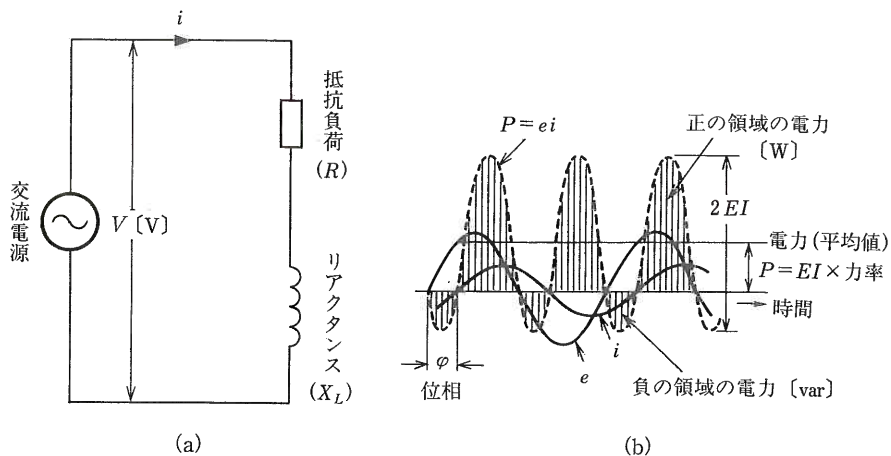


図1・46 リアクタンスを含んだ交流の電力

領域の電力に分けられる。

この正の領域にある電力を有効電力 [W] で表し、負の領域にある電力を無効電力 [var] で表す。力率 ( $\cos \theta$ ) は、有効電力 [W] と電圧と電流の積 [VA] の比をいう。

$$\text{力率 } (\cos \theta) = \frac{P [\text{W}]}{VI [\text{VA}]} \quad (1 \cdot 71)$$

したがって、抵抗負荷とリアクタンスを含んだ回路の単相交流の電力  $P$  [W] は式 (1・72) で求めることができる。

$$P = VI \cos \theta \quad [\text{W}] \quad (1 \cdot 72)$$

なお、電圧と電流との積 ( $VI$ ) を皮相電力という。

皮相電力  $S$  と有効電力  $P$  と無効電力  $Q$  との関係を示す。

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad [\text{VA}] \quad (1 \cdot 73)$$

【例題14】 交流電源 100 V に 500 W の電熱器と 100 W の白熱電球を図1・47のように並列に接続したとき、回路に流れる電流  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  はそれぞれいくらか。また、消費電力 [W] はいくらか。

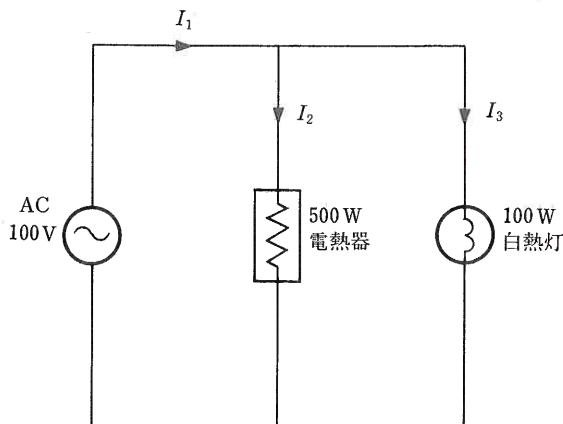


図1・47 例題14の図



[解答]

$$I_2 = \frac{P}{V} = \frac{500 \text{ [W]}}{100 \text{ [V]}} = 5 \text{ [A]} \quad (1 \cdot 74)$$

ここで、 $P = V I \cos \theta$  (この場合、 $\cos \theta = 1$ )

$$I_2 = \frac{P}{V} = \frac{100 \text{ [W]}}{100 \text{ [V]}} = 1 \text{ [A]} \quad (1 \cdot 75)$$

したがって

$$I_1 = I_2 + I_3 = 5 + 1 = 6 \text{ [A]} \quad (1 \cdot 76)$$

消費電力は

$$P = V I = 100 \times 6 = 600 \text{ [W]} \quad (1 \cdot 77)$$

または

$$500 \text{ [W]} + 100 \text{ [W]} = 600 \text{ [W]} \quad (1 \cdot 78)$$

## 1・9 三 相 交 流

### 1・9・1 三 相 交 流

三相交流電圧は三相交流発電機によって発電された電圧であり、工場などの三相誘導電動機や三相負荷機器の電源として多く使用されている三相200V (3φ 200V)の正弦波交流電圧である。

図1・48に示すような正弦波三相交流発電機によって発生した端子間の電圧は、図1・49のように位相が120°ずれた正弦波交流電圧となる。この三つの単相交流電圧を組み合わせた電圧が三相交流電圧である。なお、図1・50のような電圧を対称三相交流という。また、各相の電圧は式(1・79)で表される。

$$\left. \begin{aligned} v_a &= V_m \sin \omega t \\ v_b &= V_m \sin \left( \omega t - \frac{2}{3} \pi \right) \\ v_c &= V_m \sin \left( \omega t - \frac{4}{3} \pi \right) \end{aligned} \right\} \quad (1 \cdot 79)$$

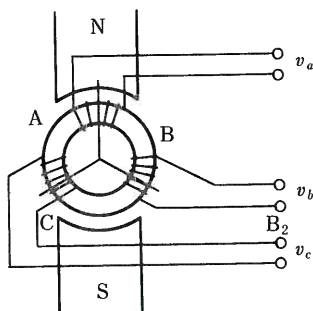


図1・48 三相交流電圧発生原理

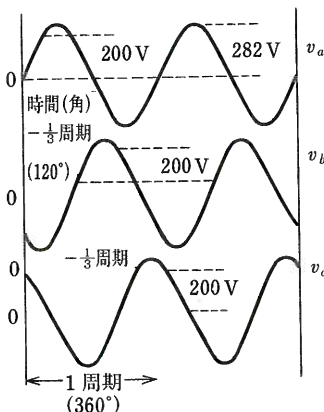


図1・49 120°ずつ位相のずれた単相交流

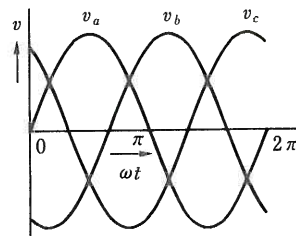


図1・50 対称三相交流

ただし,  $V_m$ : 電圧の最大値

$\omega$ : 角速度 ( $2\pi f$ )

$t$ : 時間 [秒]

### 1・9・2 三相の結線

発電機で発生された三相電圧は, 一般に変圧器を介して負荷に供給される.

この場合, 電源側と負荷側の結線方法の代表的なものとして, 星形結線 (Y: スター結線) や三角結線 ( $\Delta$ : デルタ結線) がある. なおこのほか, 電源側の結線方法として V 結線などがある.

#### (1) 星形結線 (Y 結線)

対称三相交流電圧をベクトルで表すと, 図 1・51 のようになる.

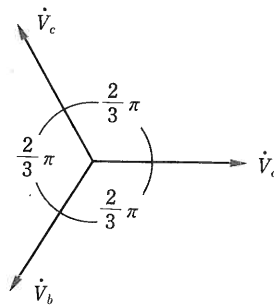


図 1・51 対称三相電圧のベクトル図

ベクトルとは, 大きさと方向を表示する方法である. たとえば図 1・51 では,  $\dot{V}_a$  ( $\cdot$  (ドット) はベクトルを表示する) を基準とすると,  $\dot{V}_b$  は  $120^\circ$  位相が遅れていることを表す.  $\dot{V}_c$  は  $\dot{V}_a$  に対して  $240^\circ$  の位相の遅れを表す. また, 矢の長さが大きさ (量) を表す.

図 1・52 は, 電源と負荷を星形結線にした場合である. この結線法を一般に Y-Y 結線という. 図 (a) は, 中性点 O, O' を結んだ場合の配線方法を示す. この配線方式を三相 4 線式といい, O, O' を中性線という.

また,  $\dot{V}_a, \dot{V}_b, \dot{V}_c$  の電圧を相電圧といい,  $\dot{V}_{ab}, \dot{V}_{bc}, \dot{V}_{ca}$  の電圧を線間電圧という.

いま, 相電圧を  $V_p$  とし, 線間電圧を  $V_l$  とすると, 両者の関係は式 (1・80) で表される.

$$\left. \begin{aligned} V_l &= \sqrt{3} V_p \\ V_p &= \frac{1}{\sqrt{3}} V_l \end{aligned} \right\} \quad (1 \cdot 80)$$

したがって, Y 結線の場合, 線間電圧は相電圧の  $\sqrt{3}$  倍である.

また, 線間電流を  $I_l$ , 相電流を  $I_p$  とすれば,  $I_l$  と  $I_p$  の関係は, 式 (1・81) で表される.

$$I_l = I_p \quad (1 \cdot 81)$$

したがって, Y 結線の場合, 線電流と相電流は等しい.

#### (2) 三角結線 ( $\Delta$ 結線)

図 1・53 は電源と負荷を三角結線 ( $\Delta$  結線またはデルタ結線) にした場合である. この結線法を一般に  $\Delta$ - $\Delta$  結線という.

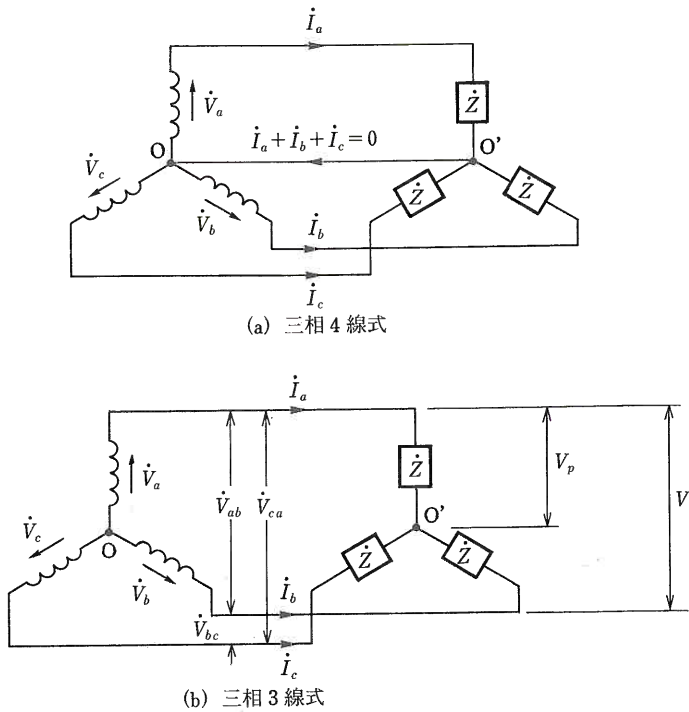


図1・52 星形結線 (Y結線)

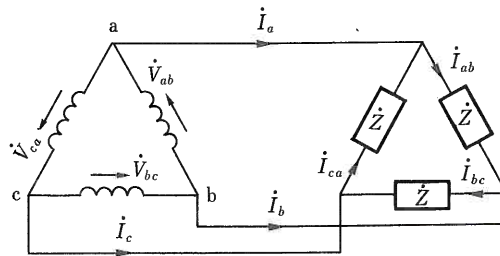


図1・53 三角結線 (Δ結線)

いま、 $\Delta$ 結線の線間電圧を  $V_l$ 、相電圧を  $V_p$  とすると、両者の関係は式 (1・82) で表される。

$$V_l = V_p \tag{1・82}$$

したがって、三角結線の場合、線間電圧と相電圧は等しい。

また、線電流を  $I_l$  とし、相電流を  $I_p$  とすると、両者の関係は式 (1・83) で表される。

$$\left. \begin{aligned} I_l &= \sqrt{3} I_p \\ I_p &= \frac{1}{\sqrt{3}} I_l \end{aligned} \right\} \tag{1・83}$$

したがって、三角結線の場合、線電流は相電流の  $\sqrt{3}$  倍である。

### (3) V 結 線

電源の結線を図1・54のように結線した場合である。この結線を **V結線** という。

この章の最初にも述べたように、発電機で発生された三相電圧は、変圧器を介して負荷に供給される。

V結線は単相変圧器2台を図1・54のように結線して負荷に供給する方式であるが、一般に3台の単相変圧器を△結線で使用していたところ、1台の変圧器が故障などにより使用できなくなった場合、その1台を取り除いて負荷へ供給する方法として利用されている。

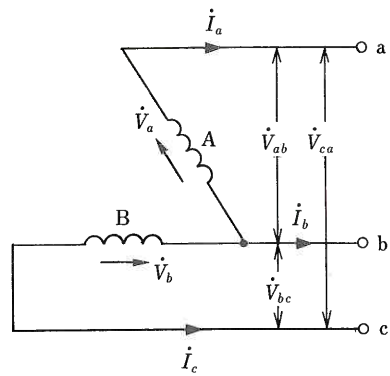


図1・54 V結線

### 1・9・3 星形結線と三角結線との置換

1・9・2の三相の結線では、Y-Y結線と△-△結線について述べた。しかし、Y-△結線や△-Y結線も考えられる。

このような場合、負荷側の結線と電源側の結線と同じ結線法に置換して考えると、線電流や相電流などを求める場合に便利である。

#### (1) △結線からY結線への置換

負荷側を△結線からY結線に置換する場合、各相に接続されているインピーダンスを図1・55のようにすれば、式(1・84)の関係が成立する。

$$\left. \begin{aligned} \dot{Z}_a &= \frac{\dot{Z}_{ca} \dot{Z}_{ab}}{\dot{Z}_{ab} \dot{Z}_{bc} \dot{Z}_{ca}} \quad [\Omega] \\ \dot{Z}_b &= \frac{\dot{Z}_{ab} \dot{Z}_{bc}}{\dot{Z}_{ab} \dot{Z}_{bc} \dot{Z}_{ca}} \quad [\Omega] \\ \dot{Z}_c &= \frac{\dot{Z}_{bc} \dot{Z}_{ca}}{\dot{Z}_{ab} \dot{Z}_{bc} \dot{Z}_{ca}} \quad [\Omega] \end{aligned} \right\} \quad (1 \cdot 84)$$

なお、式(1・84)において、それぞれのインピーダンス $\dot{Z}_a = \dot{Z}_b = \dot{Z}_c = \dot{Z}_Y$ 、ならびに $\dot{Z}_{ab} = \dot{Z}_{bc} = \dot{Z}_{ca} = \dot{Z}_\Delta$ の平衡負荷とすれば、式(1・84)は式(1・85)となる。

$$\dot{Z}_Y = \frac{\dot{Z}_\Delta}{3} \quad (1 \cdot 85)$$

#### (2) Y結線から△結線への置換

図1・55のように負荷側をY結線から△結線へ置換する場合、それぞれのインピーダンスの関係を示す。

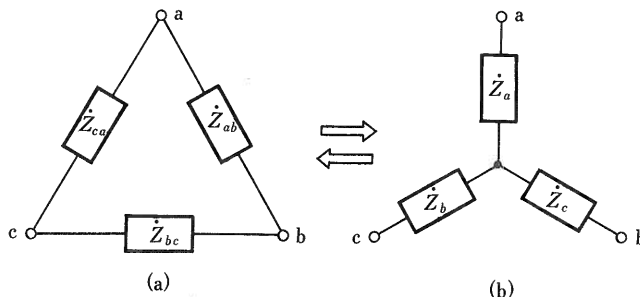


図1・55 三角結線と星形結線の置換

また、それぞれのインピーダンスが等しい場合は式 (1・87) が成立する。

$$\left. \begin{aligned} \dot{Z}_{ab} &= \frac{\dot{Z}_a \dot{Z}_b + \dot{Z}_b \dot{Z}_c + \dot{Z}_c \dot{Z}_a}{\dot{Z}_c} \quad [\Omega] \\ \dot{Z}_{bc} &= \frac{\dot{Z}_a \dot{Z}_b + \dot{Z}_b \dot{Z}_c + \dot{Z}_c \dot{Z}_a}{\dot{Z}_a} \quad [\Omega] \\ \dot{Z}_{ca} &= \frac{\dot{Z}_a \dot{Z}_b + \dot{Z}_b \dot{Z}_c + \dot{Z}_c \dot{Z}_a}{\dot{Z}_b} \quad [\Omega] \end{aligned} \right\} \quad (1 \cdot 86)$$

$$\dot{Z}_\Delta = 3 \dot{Z}_Y \quad (1 \cdot 87)$$

### 1・9・4 三相の電圧, 交流, 電力

#### (1) 三 相 電 力

三相交流の電力〔W〕は、三つの相の電力の和である。したがって、平衡負荷のときは一相の電力の3倍である。

図1・56に示すように、相電圧  $V_p$ 、線間電圧  $V_l$ 、相電流  $I_p$ 、線電流  $I_l$ 、力率を  $\cos \theta$  とすると、Y結線の電力  $P_Y$ は式 (1・88) で表される。

$$P_Y = 3 V_p I_p \cos \theta = \frac{3 V_l}{\sqrt{3}} I_l \cos \theta = \sqrt{3} V_l I_l \cos \theta \quad [\text{W}] \quad (1 \cdot 88)$$

また、 $\Delta$ 結線の電力  $P_\Delta$ は式 (1・89) で表される。

$$P_\Delta = 3 V_p I_p \cos \theta = \frac{3 V_l}{\sqrt{3}} I_l \cos \theta = \sqrt{3} V_l I_l \cos \theta \quad [\text{W}] \quad (1 \cdot 89)$$

したがって、三相交流の電力  $P$ 〔W〕は、負荷の結線方法にかかわらず式 (1・90) で求めることができる。

$$P = \sqrt{3} \times V_l I_l \cos \theta \quad [\text{W}] \quad (1 \cdot 90)$$

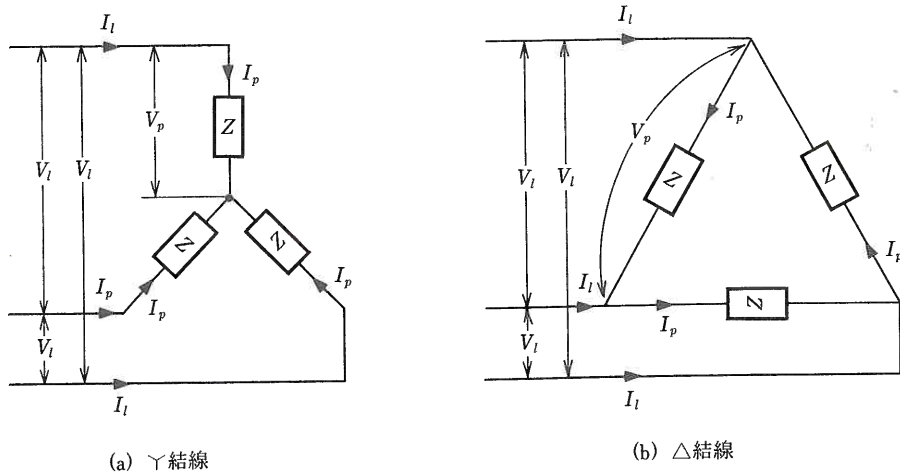


図1・56

#### (2) 三相交流の電源に負荷 (Z) がY結線された場合の電圧, 電流

図1・57は、各相に抵抗  $R$  と誘導リアクタンス  $X_L$  が直列に接続されたインピーダンス  $Z$  をY接続した場合を示す。

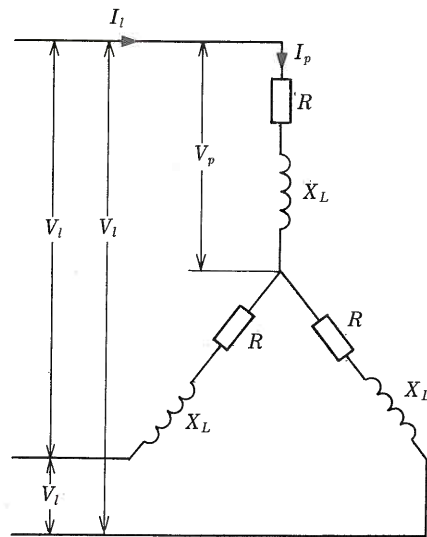


図1・57

Y接続では式(1・91)の通り、線電流と相電流は等しい。

$$I_l = I_p \text{ [A]} \quad (1 \cdot 91)$$

また、相電圧と相電流は式(1・92)の通りである。

$$\left. \begin{aligned} V_l &= \sqrt{3} V_p \\ V_p &= \frac{1}{\sqrt{3}} V_l \\ V_p &= \frac{1}{\sqrt{3}} V \text{ [V]} \end{aligned} \right\} \quad (1 \cdot 92)$$

各相のインピーダンス  $Z$  は、式(1・93)となる。

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \text{ [\Omega]} \quad (1 \cdot 93)$$

したがって

$$I_p = \frac{V_p}{Z} = \frac{V_l}{\sqrt{3} \sqrt{R^2 + X_L^2}} \text{ [A]} \quad (1 \cdot 94)$$

また、電力  $P$  [W] は、式(1・95)で得られる。

$$P = \sqrt{3} V_l I_l \cos \theta = \frac{V_l^2}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \cos \theta \text{ [W]} \quad (1 \cdot 95)$$

ただし、 $\cos \theta$  は力率である。

(3) 三相交流の電源に負荷 ( $Z$ ) が  $\Delta$  結線された場合の電圧、電流

図1・58は、各相に抵抗  $R$  と誘導リアクタンス  $X_L$  が直列に接続されたインピーダンス  $Z$  を  $\Delta$  結合した場合を示す。

$\Delta$  接続では、式(1・96)で示す通り、線間電圧と相電圧は等しい。

$$V_l = V_p \quad (1 \cdot 96)$$

また、線電流と相電流は式(1・97)に示す通りである。

$$I_l = \sqrt{3} I_p \quad (1 \cdot 97)$$

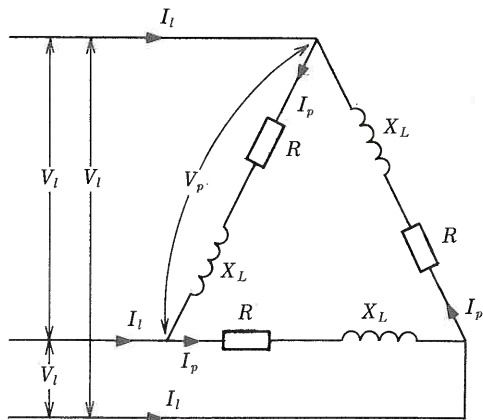


図 1・58

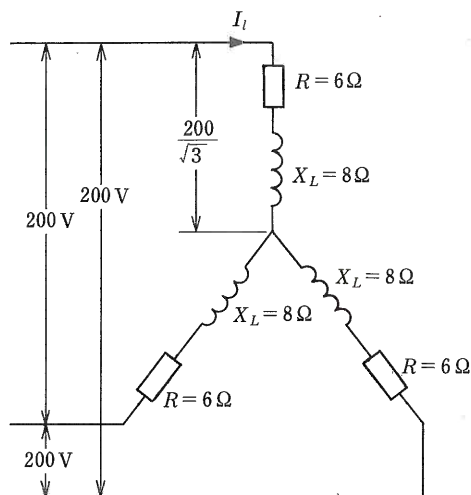


図 1・59

なお、各相のインピーダンス  $Z$  は、式 (1・98) により求められる。

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (1 \cdot 98)$$

相電流  $I_p$  [A] は、式 (1・99) で得られる。

$$I_p = \frac{V_p}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \quad [\text{A}] \quad (1 \cdot 99)$$

したがって、線電流  $I_l$  [A] は、式 (1・100) で求められる。

$$I_l = \sqrt{3} I_p \frac{\sqrt{3} V_p}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \quad [\text{A}] \quad (1 \cdot 100)$$

電力  $P$  [W] は、式 (1・101) で得られる。

$$P = \sqrt{3} V_l I_l \cos \theta = \frac{3 V_l^2}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \cos \theta \quad [\text{W}] \quad (1 \cdot 101)$$

ただし、 $\cos \theta$  は力率。

**【例題 15】** 図 1・59 に示す回路のインピーダンス  $Z$  [Ω] および線電流  $I_l$  [A]、三相電力  $P$  [W] を求めよ。

**【解答】** 各相のインピーダンス  $Z$  [Ω] は、式 (1・102) で得られる。

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10 \quad [\Omega] \quad (1 \cdot 102)$$

相電流  $I_p$  [A] は、式 (1・103) で得られる。

$$I_p = I_l = \frac{\frac{200}{\sqrt{3}}}{Z} = \frac{200}{\sqrt{3} \times 10} = 11.5 \quad [\text{A}] \quad (1 \cdot 103)$$

力率は、式 (1・104) で得られる。

$$\cos \theta = \frac{R}{Z} = \frac{6}{10} = 0.6 \quad (1 \cdot 104)$$

電力  $P$  [W] は、式 (1・105) で得られる。

$$P = \sqrt{3} \times V_l \cdot I_l \cos \theta = \sqrt{3} \times 200 \times 11.5 \times 0.5 \quad [\text{W}] = 2,400 \quad [\text{W}]$$

$$= 2.4 \text{ [kW]} \quad (1 \cdot 105)$$

【例題16】 図1・60に示す回路の相電流  $I_p$  [A]，および線電流  $I_l$  [A]，三相電力  $P$  [W] はいくらか。ただし，力率 ( $\cos \theta$ ) を0.8とする。

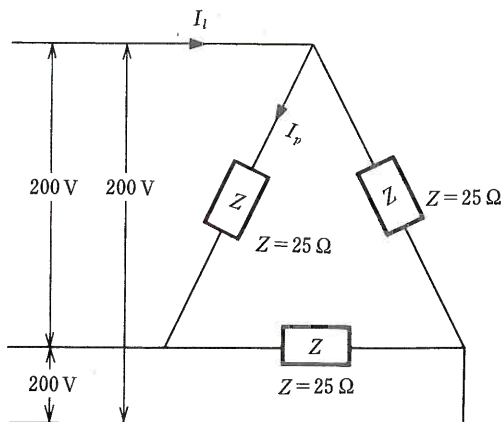


図1・60 例題16の図

【解答】 相電流  $I_p$  [A] は，式 (1・106) で得られる。

$$I_p = \frac{V_p}{Z} = \frac{200}{25} = 8 \text{ [A]} \quad (1 \cdot 106)$$

線電流  $I_l$  [A] は，式 (1・107) で求められる。

$$I_l = \sqrt{3} I_p = \sqrt{3} \times 8 \text{ [A]} \quad (1 \cdot 107)$$

電力  $P$  [W] は，式 (1・108) で得られる。

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} V_l I_l \cos \theta = \sqrt{3} \times 200 \times \sqrt{3} \times 8 \times 0.8 \text{ [W]} \\ &= 3 \times 200 \times 8 \times 0.8 = 3,840 \text{ [W]} \\ &= 3.84 \text{ [kW]} \end{aligned} \quad (1 \cdot 108)$$

#### (4) 三相4線式配電方式

図1・61のような三相4線式配電方式は，大規模のビルなどの大容量電力を必要とする配電方式に採用される場合が多く，線間電圧の415Vを動力源として，また，相電圧の240Vを40W以上の蛍光灯用の電源として使用される。

なお，100Vの負荷に対しては降圧用の変圧器 (420 / 100V) によって供給される。

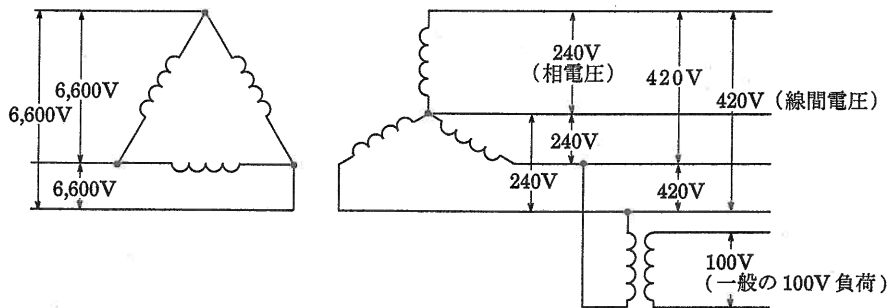


図1・61 三相4線式配電方式



### 1・9・5 電力の力率改善

交流の電力と力率 (1・8・5) で述べたように、負荷に誘導性リアクタンスが含まれると、電流波形は電圧波形に対して遅れた波形で回路に電流が流れる。

このため、瞬時の電力  $P = ei$  は図1・46 に示したとおり、正の領域と負の領域の電力に分けられる。この負の領域は無効電力 [var] として作用するため、この無効電力をできるだけ少なくする必要がある。

無効電力は力率が低い負荷ほど多く発生することから、遅れ電流を改善するためには、電圧波形に対して、進み電流波形を持った性質のコンデンサを使用することが有効である。

よって、遅れ力率を改善するためには、容量性リアクタンス  $X_C$  (コンデンサ) を回路に接続する必要がある。

なお、誘導性リアクタンスを持つ負荷の代表的なものとして、誘導電動機がある。

図1・62 は、単相交流の力率改善例を示す。

図1・63 は、三相交流電源に接続された誘導電動機の力率改善例を示す。

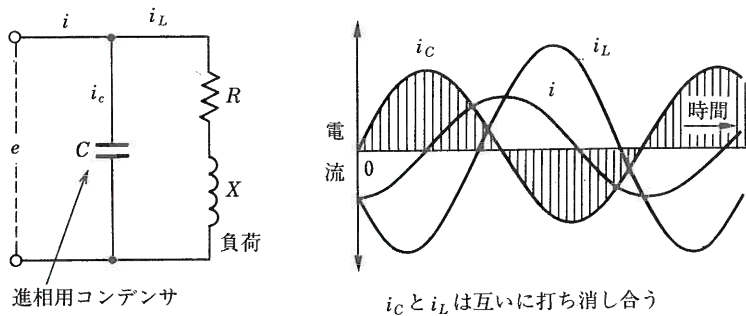


図1・62 単相交流の力率改善例

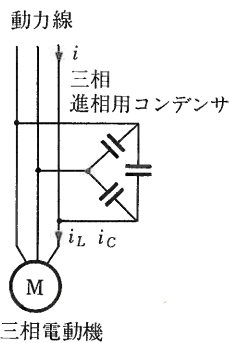


図1・63 三相誘導電動機の力率改善例

