

－ 初級者対象講座 －

物理学の初歩（V）  
－ 初級者対象講座 －

野口 駿雄 ※)

18. 電圧波形

前回まで、既に述べてきましたように、電気には直流と交流があります。前号で述べた交流は、単相交流ですが他に三相交流もあります。直流は、時間の経過による電圧や電流の変化は無く、一本の直線で表すことができます。交流は、単相交流の場合正弦波で表すことが出来、三相交流は、単相交流を三つ重ね合わせた波形になります。これ等は、一般に電池や商用電源として使用されていますが、これら以外に種々変わった波形もあります。比較のために直流、単相交流及び三相交流を含め以下に述べます。また、アルミニウムの陽極酸化では、一般に直流や交流などが用いられていますが、特殊な波形を用いる方法も研究されていますので、これらについても紹介致します。

18.1 直流

直流電流は、一般には電池より得られます。その電流(電圧)波形は図29に示しましたように、直線で表すことが出来ます。直流は時間の経過により、電流や電圧が変化することなく常に一定値を示します。一般的に直流は電池から得ることが出来ますが、電圧が低いため、高電圧を得るためにはいくつもの乾電池を直列に重ね合わせて(積層乾電池)用います。また、交流を直流に変換して高電圧の直流を得ています。

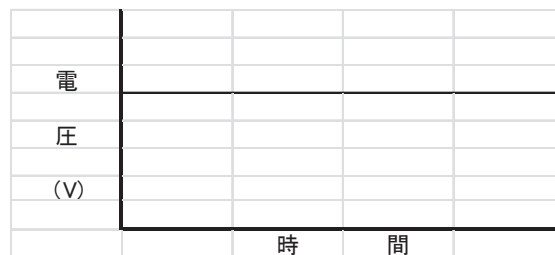


図29 直流の波形

18.2 交流

18.2.1 単相交流

一般家庭で使用されている商用電気は、交流で、関西以西では周波数が 60Hz です。交流につ

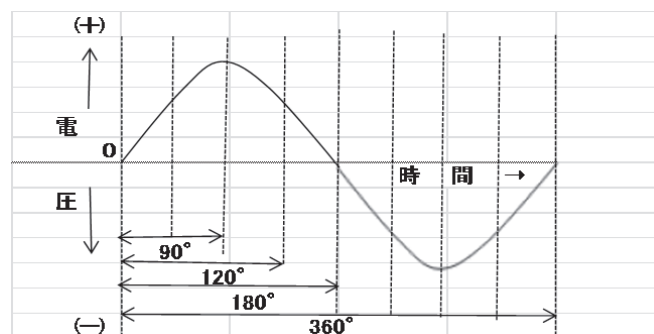


図30 単相交流の電圧(又は電流)波形

※) 本会会長・元近畿大学

－ 初級者対象講座 －

いては、既に述べてきましたが、電圧（電流）の大きさは時間と共に変化し、単相交流と言われる交流は正弦波を示します。直流の場合は、電圧を示すのに、例えばマンガン乾電池の場合 1.5V と表示されています。図 29 に示しましたように、直流では 1.5V 一定の電圧を常に得ることが出来ます。また、鉛蓄電池は 2.V の電圧が一定して得られます。しかし交流の場合、図 30 に示しましたように、電圧（又は電流）は一定値を示さず、時間の経過と共に常に変化し続けます。

18.2.1.1 実効値<sup>1)</sup>

例えば、商用交流電源の電圧が 100V と言われていますが、どの電圧を指しているのでしょうか。電気のする仕事の大きさは熱量に換算することが出来ますので、同じ容積の水中に、同じ大きさの抵抗を交流と直流のそれぞれに接続して電流を流し、その時の発熱量を同じになるように交流の電圧を調整します。すると次の関係が得られます。

直流電流 : I と置く

交流電流 : 交流電流の最大値 (I) は直流電流の $\sqrt{2}$ 倍になります。

即ち、交流電流の最大値 =  $\sqrt{2} \times I$ , ( $\sqrt{2}=1.414$ )

故に、交流電流の最大値の $\sqrt{2}$ 分の 1 を実効値と言います。通常、家庭用の商用交流電圧は、100V と表示されていますが、実効値で表されています。

$$\text{実効値} = \frac{\text{交流の最大値}}{1.414} = 0.707 \times \text{最大値}$$

18.2.1.2 同相<sup>1)</sup> と位相<sup>2)</sup>

位相については、前号の誘導モーターの所で少し述べましたが、ここでもう少し詳しく述べる

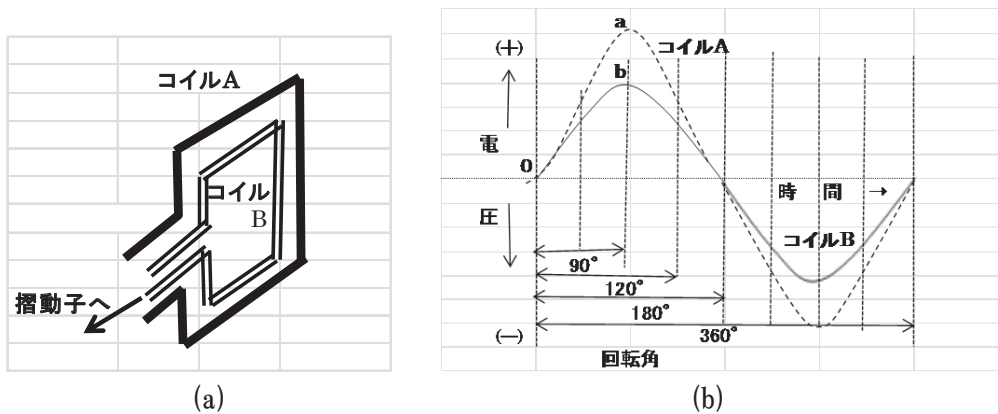


図 3 1 同相のコイルの位置と波形<sup>1)</sup>

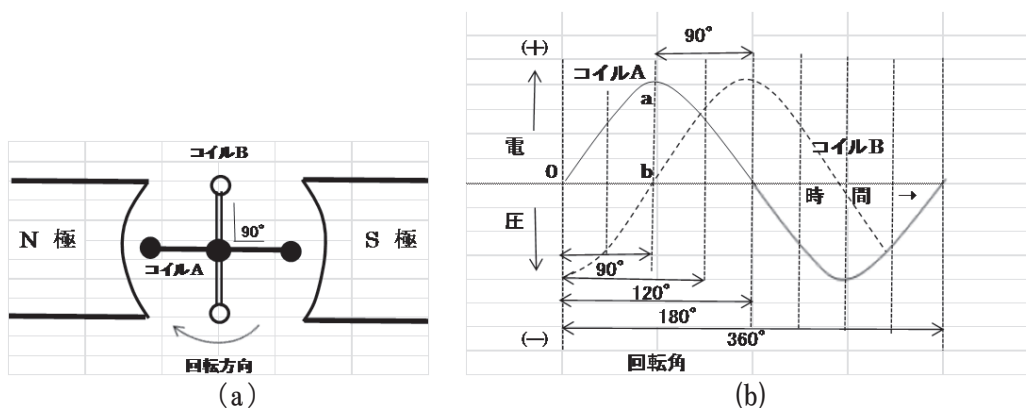


図 3 2 位相のコイルの位置と波形<sup>2)</sup>

－ 初級者対象講座 －

ことにします。N極とS極の磁石間にコイルを置いて回転させると、交流の取り出せることを前号までに述べてきました。そのコイルを、大きいコイル A と小さいコイル B を図 3 1 (a) のように重ねて設置し、磁石間で回転させます。

- 1) 大きいコイル A では、磁石に近く強い磁力を受ける為、起電力が大きくなり、従って電圧が高くなります〔図 3 1 (b) の点線 a の位置〕。
- 2) コイル B では、起電力が小さいため電圧は小さくなります〔図 31 (b) の実線 b の位置〕。
- 3) コイル A 及びコイル B の電圧の変化は、時間の経過により、大きさは異なりますが常に同じ方向に変化します。

このように二つの交流波形が、時間の経過とともに全く同じように変化する場合を同相（同じ位相）であると言います。

また、図 3 2 に、二つのコイルの配置 (a) と交流波形 (b) を示しました。コイル A とコイル B を 90° 角度を変えて直角に設定した場合を示しました。

- 1) 図 32 (a) では、コイル A は、N 極側で磁力線に対して直角に移動している位置にあるため、電圧（又は電流）は最大値を示します〔図 32 (b) の実線 a の位置〕。
- 2) しかしコイル B は磁力線に対して平行に移動する位置にあるため電圧（又は電流）はゼロを示します〔図 32 (b) の点線 b の位置〕。
- 3) 次に、コイル A がコイル B の位置に来たときは、コイル B は磁力線と直角に交差する位置（コイル A の最初の位置）に来るため電圧は最大値を示します。

即ち、コイル A が電圧の最大値を示す位置にあるときは、

- 4) コイル B は電圧がゼロを示す位置にあり、コイル A がゼロ示す位置に来た時は、コイル B は電圧の最大値を示します。
- 5) コイル A に対してコイル B を 90° 後ろにずらせて設置して磁束中で回転させると、コイル B は、コイル A より 90° 遅れ、コイル A の起電力に準じて変化します。
- 6) このような場合、コイル A とコイル B の電圧の間には、90° の位相差があると言い、コイル A の電圧（起電力）は、コイル B の電圧（起電力）より 90° 位相が進んでいると言います。

18.2.2 三相交流<sup>3)</sup>

三相交流では、同じコイルを図 3 3 (a) で示したように 120° ずらして（両隣のコイルと 60° あける）発電機に取り付け、回転させると図 3 3 (b) の波形が得られます。コイル A が正の最大電圧値を示している時、コイル B は負から正の電圧に向かう途上にあり、コイル C は、負の電圧の最大値を示す方向に向かっています。

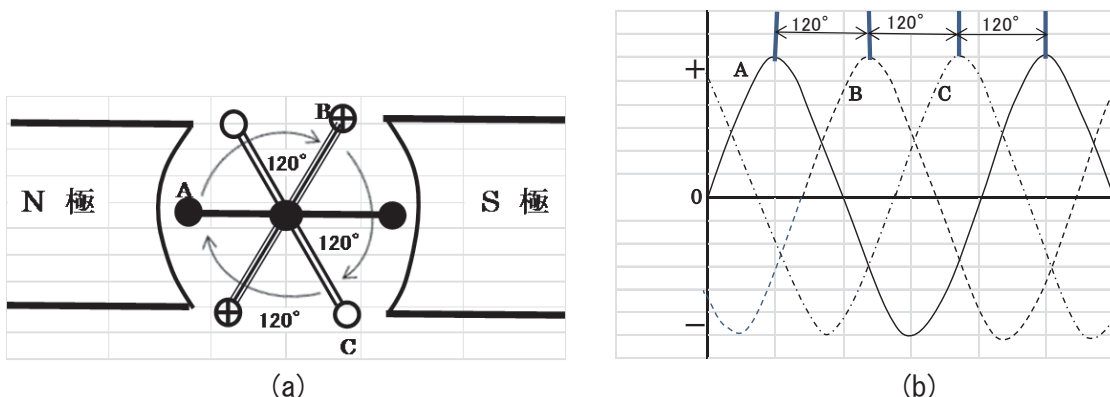


図 3 3 三相交流の発電機のコイルの配置と電圧波形

## — 初級者対象講座 —

## 18.2.3 各種電流波形について

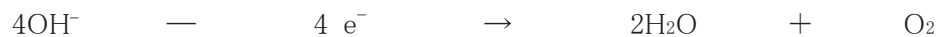
電流波形について説明する前に、陽極と陰極で起こる反応について簡単に説明します。

アルミニウムの陽極酸化では、一般に、希硫酸を電解液としてアルミニウムを陽極に、鉛や炭素を陰極にして直流電流を流して行われています。硫酸や水酸化ナトリウムなどの水溶液では、水が電気分解されて、硫酸や水酸化ナトリウムは消費されません（硫酸の場合は、硫酸が分解されて二酸化硫黄や硫化水素の微量発生が確認されています）。電気分解では、陽極と陰極で次のような反応が主として起こるためです。

## 【陽極】

## 酸化反応

- ① 陽極で陰イオンである水酸化物イオンが電子を放出し、水と酸素ガスを生じます。



〔陽極で陰イオンが電子を放出〕

- ② 陽極に金属を用いた場合、金属が電子を放出し、陽イオンとなって溶解します。



〔陽極で金属が電子を放出〕

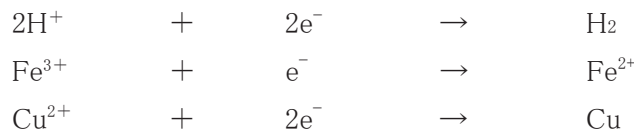
## 注)〔陽極での主な酸化反応〕

- 1) 陽イオンの原子価が増加する反応。
- 2) 陽極が酸素と結合する反応（不導体化など）
- 3) 陰イオンの原子価が減少する反応。

## 【陰極】

## 還元反応

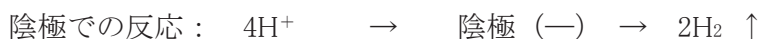
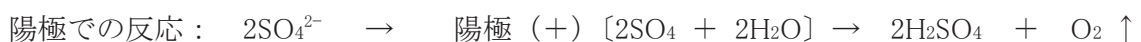
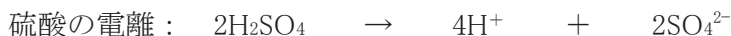
- ① 陰極で陽イオンが還元されて原子価が減少し、低原子価のイオンに還元されるか又は金属イオンの場合は金属に還元されます。



## 注)〔陰極での主な還元反応〕

- 1) 陽イオンの原子価が減少する反応。
- 2) 陰イオンの原子価が増加する反応。

## 【硫酸電解液を用いた場合の水の電解反応】



上記酸化反応を利用してアルミニウムの陽極酸化は行われていますが、その過程を簡単に述べますと、アルミニウムを陽極、鉛を陰極とし、希硫酸を電解液として直流電流を流すと、アルミニウム陽極側では、アルミニウム表面で酸素を発生し、アルミニウム自体は溶解してアルミニウムイオンになります。その途上で発生した酸素と反応して酸化アルミニウムを表面で生成します。

－ 初級者対象講座 －

以上のような、一般的な直流電流によるアルミニウムの陽極酸化以外に、短時間で厚い酸化皮膜を生成させるためや、また、複雑な形状の品物の表裏全面に同じ厚さの陽極酸化皮膜を生成させるために、高電流密度で陽極酸化が行われることがあります。高電流密度で陽極酸化を行うと、ジュール熱の発生により皮膜溶解への影響が大きくなります。その影響を少なくする目的から、例えば、瞬間的に電流を遮断して冷却し、再び高電流密度にし、これを繰り返して陽極酸化をする方法が用いられています。他に交流電流波形のように、負成分の電流（還元作用がある）を加える方法、また、交直重畳法など、種々の電流波形が用いられています。

18.2.3.1 半波整流波形

整流波形について述べる前に、交流の負の部分の電圧（電流）を削除又は正の部分に変換する働き（整流作用）をするシリコンダイオードについて簡単に解説します。

交流電圧から正の電圧のみを取り出し、負の電圧を消去する方法またはその逆の方法により、直流電圧にすることを整流と言い、このような働きを整流作用と言います。

交流を整流するには、一般には、整流作用のあるシリコン（ケイ素）半導体を使用します。図34に示しましたように、シリコン半導体は、正（+）の電流を一方向に通しますが、逆には通すことが出来ません。（シリコン半導体につきましては、本誌No.275 会誌<sup>4)</sup>にて詳述していますのでここでは省略します。）ただ、ダイオードという言葉も使用されますが、ダイオードとは二つの端子を持ち、整流作用のある半導体にも使用され、図記号では図34のように描きます。電流はアノードからカソード方向に向かって流れますが、逆方向には流れません。交流電流では、正の部分の電流はアノードからカソードに向かって（順方向）流れますが、負の電流はカソードからアノードに向かって流れることは出来ません。

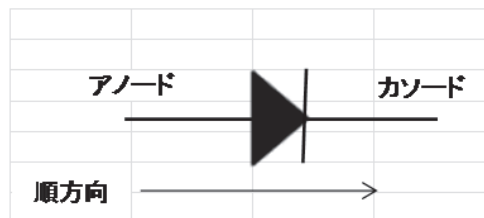
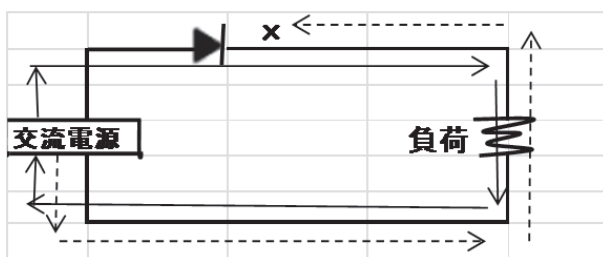
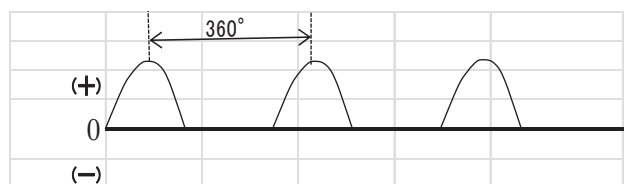


図34 半導体の図記号

従って、図35(a)中に示しましたシリコン半導体では、右向き（実線矢印）に電流は流れますが、逆の左向き（点線矢印）には電流は流れません。そのために、例えば、図30で示しました波形の負部分の下半分が消去され、上部の正部分の電流が流れます。故に、図35(b)で示しました波形のようになります。これを半波整流波形と言います。



(a) 半波整流回路



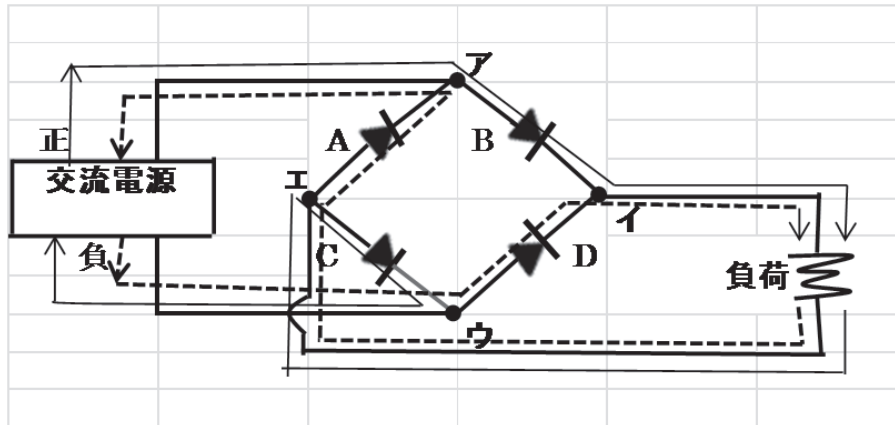
(b) 半波整流波形

図35 半波整流回路（略図）及び半波整流波形

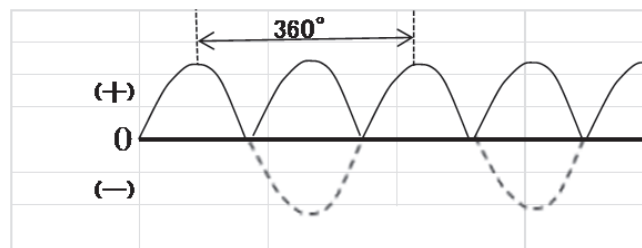
－ 初級者対象講座 －

18.2.3.2 全波整流波形

半波整流波形は単相交流波形の負部分を消去する回路を用いることにより得られましたが、これでは、単相交流の正の部分を残したにすぎず、直流とは程遠いものになり、正電流の部分は少ない状態のままです。従って、負の部分を実正側へ転換する方法をとれば、より多く正電流が流れるようになります。



(a) 全波整流回路



(b) 全波整流波形

図 3 6 全波整流回路及び全波整流波形

上記、図 3 6 (a) に示した全波整流を得る回路では、交流電源より出た正の電流（実線）は、

- 1) エから半導体 (B) を通りイに出ます。
- 2) 負荷を通過してウから半導体 (C) を通ってエへ進み、電源へ帰ります。

次に、負側の電流（破線）は交流電源より出て、

- 3) ウに入り半導体 (D) を通過して整流され、イから負荷を通過してエに入り半導体 (A) を通過してエより電源に戻ります。

以上のように負の電流も半導体を通過して正の電流と同じように負荷を通過して電源へ帰ることから、正の電流に変換されていることが分かります。

図 3 6 (b) に全波整流波形を示しました。この方法では、負の部分（点線部）が整流されて正側に移行しています。なお、更に、負荷の前にコンデンサーを並列に接続すると直線に近い直流が得られます。

以上を纏めると、交流の正電圧の部分を取り出して整流することが出来ますが、その方法には次の二つの方法があります。

- 1) 交流波形の正の部分のみを利用して、負の部分は削除する方法（半波整流と言います）。
- 2) 交流波形の負の部分を実正側に変換する方法（全波整流と言います）。



－ 初級者対象講座 －

18.2.3.3 その他の電流波形

その他の波形として、次に示すような電流波形があります。陽極酸化皮膜を生成させる場合に用いるアルミニウム材料の形状や電解液の種類により、必ずしも直流電流や交流電流のみで良いとは限りません。先に述べましたように、例えば直流の場合、アルミニウム材料を陽極にして電流を流しますが、アルミニウム表面では酸化反応が起こり、酸化アルミニウムの生成反応が進行します。しかし、厚い皮膜を短時間で生成させたい場合、電流密度を高くして行いますが、その為に、高いジュール熱の発生により電解液の温度が上昇し、皮膜の生成に悪い影響を与えます。これを避けるために、1秒間に何回か瞬間的に電流を一時遮断して電解液の温度を下げる方法が取られます。このような場合は、パルス波形が使用されます。以下に示しました波形では、それぞれ特徴があり興味のある方は参考文献3)などの専門書を参照下さい。

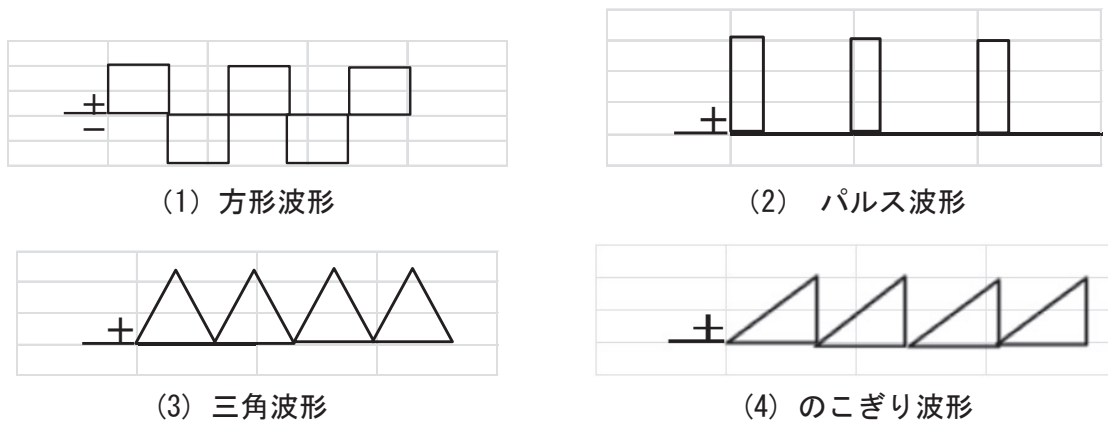


図3.7 種々の電流波形

(続く)

引用文献

- 1) 若山芳三郎, 鈴木清, やさしいカラー版 電気と電子の理論, p74(1981), 啓学出版株式会社
- 2) 若山芳三郎, 鈴木清, やさしいカラー版 電気と電子の理論, p75(1981), 啓学出版株式会社
- 3) 若山芳三郎, 鈴木清, やさしいカラー版 電気と電子の理論, p99(1981), 啓学出版株式会社
- 4) 野口駿雄, 本誌 No.275, やさしい科学 電池エネルギーへの物理の活用 (Ⅲ), p7(2012)

参考文献

- 1) 高田陽, 電気・電子のことが分かる事典, (1993), 株式会社西東社
- 2) 鈴木泰二, 図詳ガッケン・エリア教科事典 12 物理, (1977) 株式会社 学習研究社
- 3) アルミニウム表面技術便覧編集委員会編, アルミニウム表面技術便覧, p159(1980)

【訂正】

前号に於いて、引用文献の名称に誤りがありましたので下記のように訂正してお詫びいたします。

- 誤) 若山芳三郎, 鈴木清, やさしい電気と電子の理論, p81(1981), 啓学出版株式会社  
 正) 若山芳三郎, 鈴木清, やさしいカラー版 電気と電子の理論, p81(1981), 啓学出版株式会社