

電気回路の基本：三相交流の基礎

(読んでほしい人：電気系以外の高専生と大学生)

2016/11/30 舞鶴高専 平地克也

高専や大学の電気系の学科でも最近では三相交流を学習しない所もあるようです。しかしながら電力のほとんどは三相交流で発電、送電、配電されており、工場は三相交流で動いており、交流モータも三相交流で回転しています。したがってパワエレの世界でも三相交流は重要です。ここでは最低限知っておかねばならない三相交流の基礎を説明します。

三相交流とは

図1(a)に3つの単相交流回路を示します。3つの電圧 v_a, v_b, v_c は実効値が同じ値 V_{rms} で位相は120度ずつずれている場合、次の式で表されます。

$$v_a = \sqrt{2} V_{rms} \sin \omega t \text{ [V]}$$

$$v_b = \sqrt{2} V_{rms} \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \text{ [V]}$$

$$v_c = \sqrt{2} V_{rms} \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) \text{ [V]}$$

負荷 Z が3回路全て同じ場合は3つの電流 i_a, i_b, i_c は次の式で表されます。

$$i_a = \sqrt{2} I_{rms} \sin(\omega t + \phi) \text{ [A]}$$

$$i_b = \sqrt{2} I_{rms} \sin\left(\omega t + \phi - \frac{2}{3}\pi\right) \text{ [A]}$$

$$i_c = \sqrt{2} I_{rms} \sin\left(\omega t + \phi - \frac{4}{3}\pi\right) \text{ [A]}$$

なお、 I_{rms} は電流の実効値、 ϕ は電圧と電流の位相差です。

これら3つの単相交流の1線を共有してつなぎ合わせると図1(b)となり、これを三相交流と言います。1線を共有しても電圧電流には何も影響はなく、上記6ヶの電圧電流の式はそのまま(b)でも成立します。よって、図1(b)は図1(a)と等価と言えます。

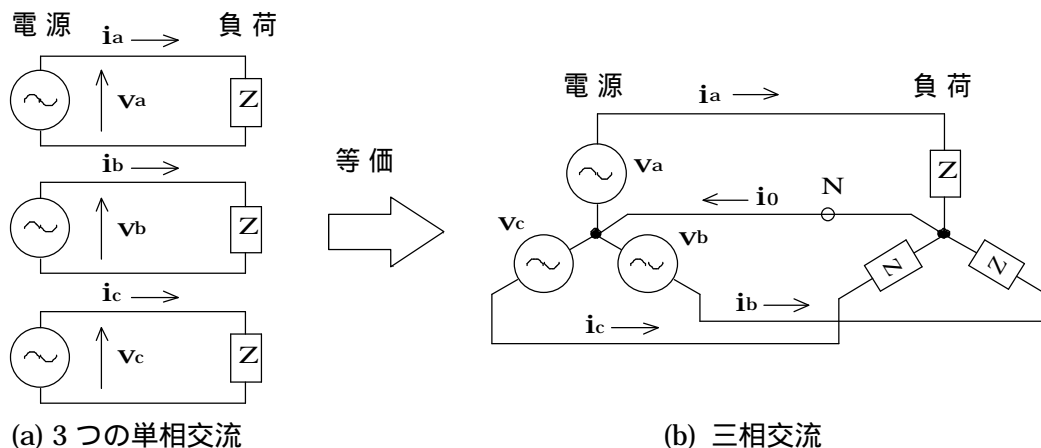


図1 単相交流と三相交流

図1 (b)の電線 N (中性線と言う) の電流 i_0 は次の式で表されます。

$$i_0 = i_a + i_b + i_c = \sqrt{2} I_{rms} \left\{ \sin\left(t + \frac{1}{3}\right) + \sin\left(t + \frac{2}{3}\right) + \sin\left(t + \frac{4}{3}\right) \right\}$$

三角関数の公式を使って計算すれば{ }の中が0になることが分かります。よって、 $i_0 = 0[A]$ であり、中性線 N は省略できます。なお、{ }の計算はやや面倒ですが、120度ずつ位相のずれた3つの電流の和が0になることは図2のベクトル図を見れば計算しなくてもすぐに分かります。

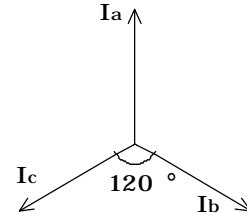


図2 三相交流電流のベクトル図

中性線 N が省略できることは三相交流の大きな長所であり、三相交流で送電すれば単相と比較して送電線を大幅に節約できます。よって送配電は単相ではなく三相で行われるので、電柱の上の電線は2本ではなく3本であり、鉄塔につながる電線は3の倍数の本数であることが町を歩くと確認できます。また、パワエレの世界では交流モータの制御に三相交流を使用します。三相交流は「回転磁界」を作ることができ、交流モータを回転させることができます。

相電圧と線間電圧

図3 (a)に示すように3つの電源 v_a, v_b, v_c が作る3つの相を a 相、b 相、c 相と言い、 v_a, v_b, v_c を相電圧と言います。図3 (a)から分かるように、三相交流では相電圧以外に3つの相それぞれの間の電圧 v_{ab}, v_{bc}, v_{ca} が存在します。これを線間電圧と言い、次の式で表されます。

$$v_{ab} = v_a - v_b = \sqrt{2} V_{rms} \sin t - \sqrt{2} V_{rms} \sin\left(t - \frac{2}{3}\right) = \sqrt{6} V_{rms} \sin\left(t + \frac{1}{6}\right)$$

$$v_{bc} = v_b - v_c = \sqrt{2} V_{rms} \sin\left(t - \frac{2}{3}\right) - \sqrt{2} V_{rms} \sin\left(t - \frac{4}{3}\right) = \sqrt{6} V_{rms} \sin\left(t - \frac{1}{2}\right)$$

$$v_{ca} = v_c - v_a = \sqrt{2} V_{rms} \sin\left(t - \frac{4}{3}\right) - \sqrt{2} V_{rms} \sin t = \sqrt{6} V_{rms} \sin\left(t - \frac{7}{6}\right)$$

図3 (b)に相電圧と線間電圧のベクトル図を示します。この図から、幾何学的に次の2つのことが分かります。

\dot{V}_{ab} は \dot{V}_a より 30 度進み

$$|\dot{V}_{ab}| = |\dot{V}_a| \cos 30^\circ \times 2 = \sqrt{3} |\dot{V}_a|$$

\dot{V}_{bc} と \dot{V}_b 、および \dot{V}_{ca} と \dot{V}_c も同じ関係にあります。「線間電圧は相電圧の $\sqrt{3}$ 倍で 30 度進み」と覚えて下さい。

図4に全ての相電圧と線間電圧の波形を示します。図4はやや煩雑なので図4から v_{ab} と v_a だけを取り出したものを図5に示します。 v_{ab} は v_a の $\sqrt{3}$ 倍で 30 度進みであることが分かります。

なお、電気の世界の習慣として三相交流の公称値は線間電圧で表します。例えば、三相交流の代表

的な電圧として次のような電圧があります。

三相 200V……工場で良く使う電圧

三相 6600V……配電電圧（電柱に架設された電線の電圧）

三相 50 万 V……日本の最大送電電圧

これらの電圧は全て線間電圧を意味しています。

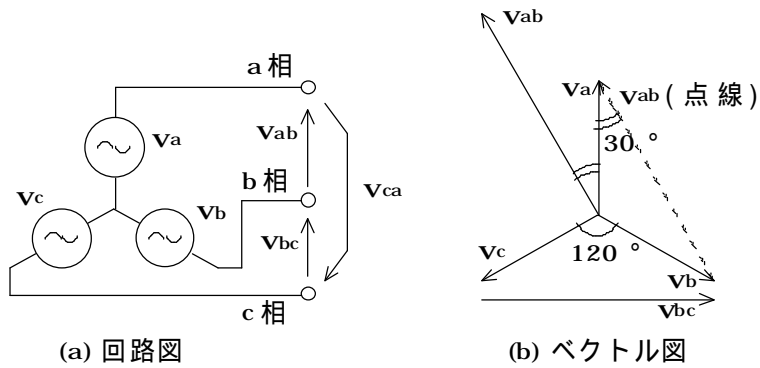


図3 相電圧と線間電圧

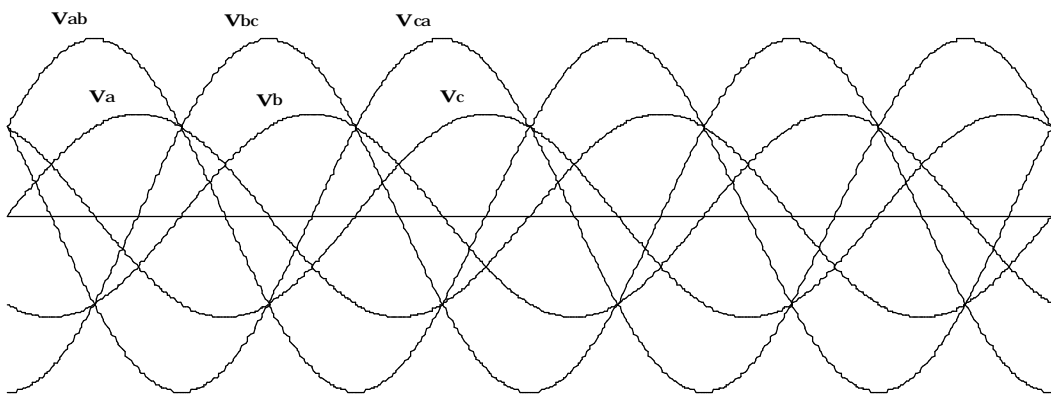


図4 相電圧と線間電圧の波形

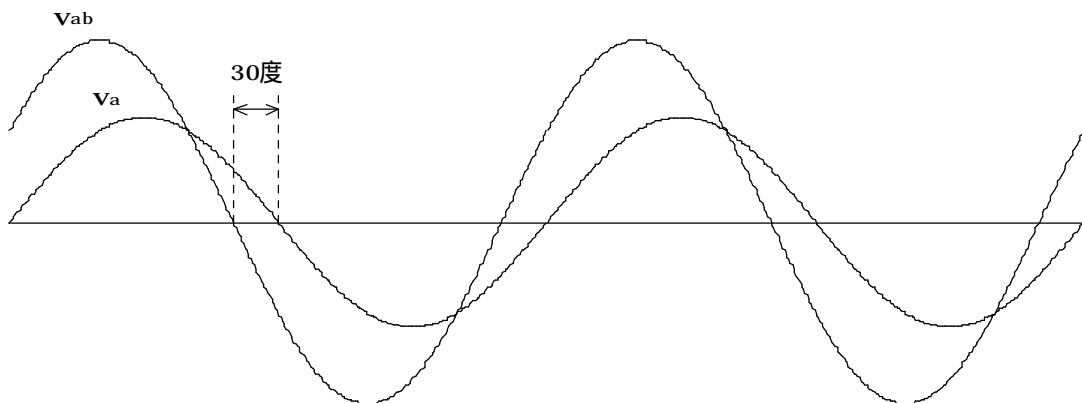


図5 va と vab

以上で三相交流の基礎の説明はおしまいです。本格的に三相交流を扱う時はさらなる学習が必要です。教科書や参考書で勉強して下さい。

以上