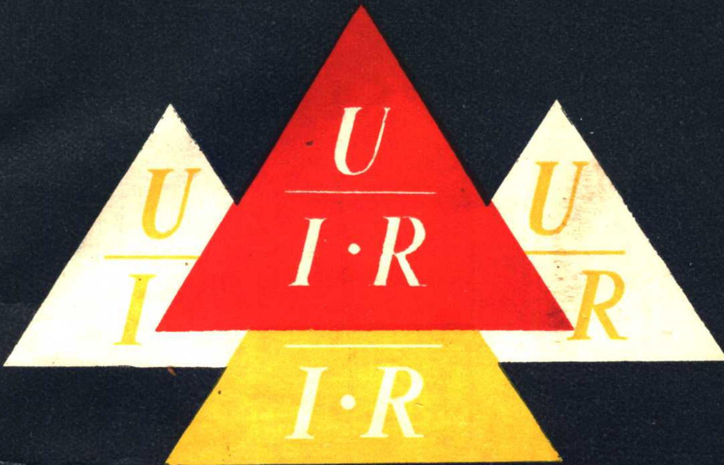

陈沛霖編著

电工学自学讀本（五）

交流电

内 容 提 要

本書是电工学自学讀本小叢書的第五分册，書中主要是介紹交流电的基本概念，以及交流电流的簡單运算方法。为了使初学者便于学習起見，本書中也扼要地講述了一些必需的三角原理。

本書的主要对象是具有初中文化程度的电信职工和一般業余电信爱好者們。

交 流 电

（电工学自学讀本之五）

編著者：陈 沛 霖

出版者：人 民 邮 电 出 版 社

北京东四6条13号

（北京市書刊出版業营業許可証出字第〇四八号）

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂

發行者：新 华 書 店

开本 787×1092 1/32	1958年12月北京第一版
印張 2 26/32 頁數 45	1958年12月北京第一次印刷
印刷字數 70·000 字	統一書号：15045·总857—有162
印數 1—25,500 册	定价：（9）0.28 元

序

要了解电信上各种电信器械的工作原理和应用，必須懂得交流电路在其中所起的作用；要了解电路的作用，就要懂得电信的基本理論，懂得交流电路的計算，而在計算交流电路以及学習电信方面的專業知識時，旋轉向量的运用則是非常重要的，初学电信的同志应該努力学会它。

本分册的主要目的是在于帮助讀者完全通过自習来理解交流电的概念，特别是体会出何以每一交流电势或电流可用一个旋轉向量来代替它？并使讀者学会，运用向量来进行交流电加減和分解的方法。

为了达到上述目的，本書自1—8节开始，先引进旋轉半徑的概念，然后于第二章說明旋轉半徑的頻率、週期与角速度的意义及关系，在第三章中說明何謂正弦交流电以及与之相关的一些名詞。再于末章中指出旋轉半徑与正弦交流电間的关系和可以相互替代的物理意义，以及应用旋轉半徑来替代正弦交流电進行加、減和分解的优点和方法，最后才指出旋轉半徑即为旋轉向量；这样使讀者对旋轉向量概念的接受比較自然，不会感到过分抽象和难于理解。

本册开始的几节講述了一些必用的簡單三角原理，因为它是学習交流电所不可少的数学知識。

因为只有学習了交流电路后，才能講到一些实际的应用問題，而本分册的学習內容主要是一些最基本的概念和运算，因此理論性多而可以結合的实际問題少，学習比較枯燥乏味；希望讀者能堅持自学下去，宁可慢点，但不要間断。讀者如能根据本書通过自学基本上掌握本分册所講的主要內容，因而在电信知識学習的道路上跨进一大步，那就是笔者所最欣慰的事。

在編写时，虽已尽量注意通俗并不厭求詳的重复說明，但仍难免有詳說不透之处，希望讀者能于学習后提出意見，由出版社轉給笔者，不胜感謝。

作　者

目　录

第一章 簡單三角原理

1-1 角及其測量單位

如果有兩根直綫 O-A 与 O-B，它們不像圖 1-1 (a) 那样重合在一起，也不像圖 1-1 (b) 那样平行，那末它們一定会像圖 1-1 (c) 那样相交，它們的交点是 O；于是直綫 O-A 与 O-B 就夾成了一个角。

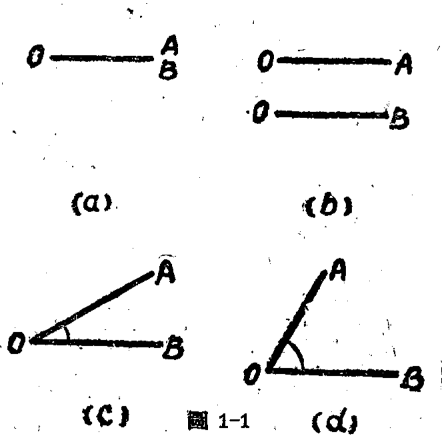

圖 1-1

圖 1-1 (c) 与圖 1-1 (d) 是兩个角，我們看得很清楚，它們一大一小。圖 1-1 (d) 的角比圖 1-1 (c) 的角要大。

角既然有大小，那就必須有一个計算角的大小的标准；就好像我們計算土地的大小、粮食的輕重、布匹的長短一样。这种計算的标准，我們叫做"單位"。我們計算土地用"亩"做單位，計算粮食的輕重用"担"或"斤"做單位，計算布匹用"丈"或"尺"做單位，我們計算角的大小，則用"度"做單位。

一度角究竟是多大呢？下面我們就要講到这一点。

假如有兩根直綫 A-B 和 C-D，像圖 1-2 那样互相垂直的相交，这样就形成了四个角，它們是角 1、角 2、角 3 和角 4；这四个角的大小一样。这样形狀的角，我們叫做"直角"。

小于直角的角叫做"銳角"，大于直角的角叫做"鈍角"，它們都

表示在圖 1-3 上。

一度角是多大，我們是怎样規定的呢？那就是我們把一整个圓分成 360 等

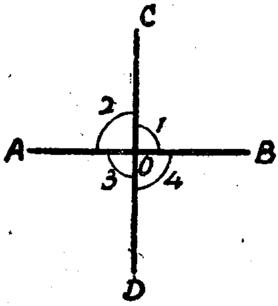

圖 1-2

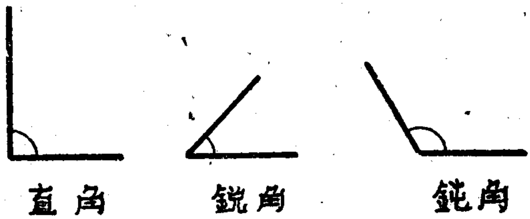

圖 1-3

分，每一等分的圓弧所对的圓心角，就是一度的角，由此得知，**一个直角是九十度的角**，写成 90°。

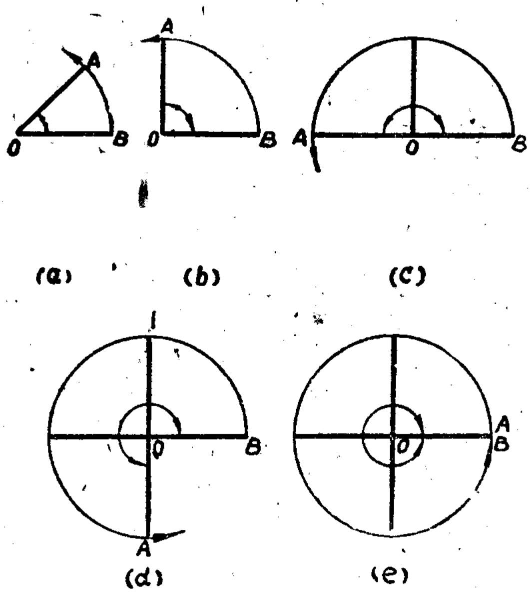

圖 1-4

既然一个直角的大小規定为 90°，而一根直綫，像圖 1-2 中的 A-B 或者 C-D，它們都是由兩个直角合成的，因此我們知道，**形成一根直綫的角是一个180°的角。**

如果兩根直綫 O-A 与 O-B 形成一个銳角，如圖1-4(a)所示。假設 O-B 不动，O-A 沿箭头方向旋轉；当轉到如圖1-4(b)位置时，形成

90°角； 繼續轉到和$O\text{-}B$成一直綫时，形成180°角，如圖1-4(c)所示；再繼續轉到如圖1-4(d)的位置时，剛好形成三个直角，即270°；最后当$O\text{-}A$轉一圈又回到$O\text{-}B$位置时，剛好轉了一个圓週，如圖1-4(e)所示，形成四个直角。所以**每一圓週角**（就是形成一个圓周的角）**是360°**。

因为直角是90°，所以直角的三分之一是30°，直角的三分之二是60°，直角的二分之一是45°，如圖1-5甲所示。这些角度，都是我們以后常会遇到的。

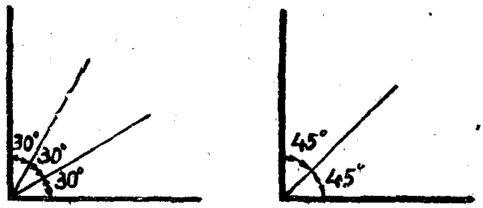

圖 1-5甲

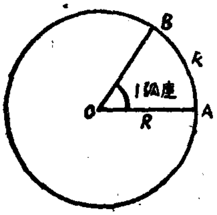

圖 1-5乙

計算角度大小的單位，除去上面所講的“度”外，我們还用另外一种單位，叫做“弳”或“弧度”；前者叫角度制，后者叫弧度制。就好像我們量長短，可以用市尺做單位，也可用公尺做單位一样。

在弧度制里，我們把等于半徑的長的弧叫做含有1弧度的弧，而1弧度的弧所对的圓心角，叫做1弧度的角。例如圖1-5乙，如果$\overset{\frown}{AB}$的長等于半徑R，那末$\overset{\frown}{AB}$就含有1弧度，其所对的圓心角（BOA角）就是1弧度的角。

因为圓的周長等于半徑的2π倍，所以一个圓周角（360°的角）的弧度数就是$\frac{2\pi R}{R}=2\pi$。因此，弧度与普通度之間的換算关系就是：

$360°=2\pi$ 弳　　　　$60°=\frac{\pi}{3}$ 弳

$$270^\circ = \frac{3}{2}\pi\text{径} \qquad 45^\circ = \frac{\pi}{4}\text{径}$$

$$180^\circ = \pi\text{径} \qquad 30^\circ = \frac{\pi}{6}\text{径}$$

$$90^\circ = \frac{\pi}{2}\text{径}$$

如果知道一个角度的普通度数，那末乘以 $\frac{\pi}{180}$，就得到弧度数；反过来，知道了弧度数，乘以$\frac{180^\circ}{\pi}$，就得到普通的度数。

例如 120° 等于 $120 \times \frac{\pi}{180} = \frac{2}{3}\pi = \frac{2}{3} \times 3.14 = 2.1$ 径。又如 6.908 径等于 $6.908 \times \frac{180^\circ}{\pi} = \frac{6.908}{3.14} \times 180^\circ = 2.2 \times 180^\circ = 396^\circ$。

在实用上，就以 3.14 做为 π，这样計算的差誤很小，以后我們就这样用。

讀者記好：以后看到記号“π”，就把它当做一个数“3.14”来看，或把它当做是 180° 来看。

复 習 提 綱

1. 知道測量角度的兩种單位：“度”与“径”，并知道它們之間的換算方法。

2. 知道一个圓週角是 360° 或 2π径，由四个直角形成。一直綫是 180° 或 π径，由二直角形成。直角为 90° 或$\frac{\pi}{2}$。

3. 知道大于直角的为鈍角，小于直角的为銳角。

1-2 象 限

圖 1-2 中两条互相垂直的直綫，把一个 360° 的圓周角分成四个直角，每一个直角两边所夾的区域，我們給它一个名字，叫做象限。

因为在 360° 的平面中，一共有四个这样的区域，为了便于区别起見，我們把它都編上号，其次序如圖 1-2 所示。第 1、第 2、第

3 与第 4 区域，分别叫做第一象限、第二象限、第三象限与第 4 象限。

1-3 三角形和它的种类

如果有三根直綫互相相交，就会圍成一个三角形，如圖 1-6 所示。圍成三角形的三根直綫，我們叫做三角形的三边，分别用 a、b 和 c 来代表。

每一三角形都有三个角。如果有一个角是 90°，如圖 1-6 (a) 所示，这个三角形就叫做**直角三角形**。

如果直角三角形中，夾成直角的兩边一样長，就是这兩边相等，像圖 1-6 (b) 中的 a 边与 b 边，这个直角三角形就叫做**等腰直角三角形**。

如果一个三角形，它的三边相等，如圖 1-6 (c)，这三角形就叫做**等边三角形**。

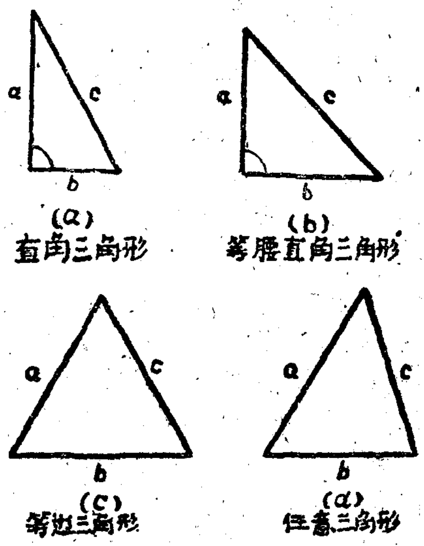

圖 1-6

如果三角形的三边互不相等，也沒有一个角是直角，像圖 1-6 (d)，这三角形就叫做**任意三角形**。

1-4 三角形的角度

圖 1-7 为一任意三角形，三个角的頂为 A、B 与 C。为了表示起来簡單清楚，我們总用符号“∠”来代表“角”这个字。任意三角形 ABC 它有三个角，它們是 ∠1、∠3 和 ∠5。現在我們要証明：任

何三角形，三角之和等于 180°，就是等于兩个直角。

現在我們就根据圖 1-7 来証明：先把 BC 直綫延長到 D，于是直綫 AC 与 CD 就夾成了一个角；再从 C 划一条直綫，和直綫 AB 平行，这样就把剛才的角分成兩个角，它們是∠2 与∠4。

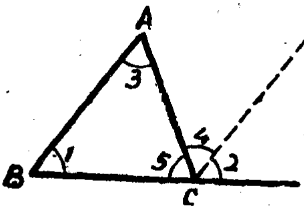

圖 1-7

从圖上我們看得很清楚

$$\angle 1 = \angle 2$$

$$\angle 3 = \angle 4$$

因此 $\angle 1 + \angle 3 + \angle 5 = \angle 2 + \angle 4 + \angle 5$

等号左边是三角形 ABC 的三角之和，而等号右边的 $\angle 2 + \angle 4 + \angle 5$ 剛好是由直綫 BCD 所形成。因为直綫是一个 180° 的角，所以任意三角形 ABC 的三角之和是 180。

現在我們回过来看圖 1-6 中的三角形。圖 1-6 (d) 是任意三角形，三角之和为 180°，三角的大小不定，随三角形的形狀而改变。圖 1-6 (c) 是一等边三角形，旣然三边相等，三个角也一定相等，所以每一个角都是 180° 的三分之一，即 60°。

圖 1-6 (a) 是一直角三角形，三角中有一角是 90°，則其余兩角之和一定也是 90°。

圖 1-6 (b) 是一等腰直角三角形。因为边 a 与边 b 相等，所以这三角形，除直角外，其余兩角一定相等；而这兩角之和是 90°，所以每一角都是 45°。

現在我們簡括的講一下：**等边三角形三角相等，各为 60°。直角三角形除直角外，其余二角之和为 90°。等腰直角三角形，除直角外，其余二角相等，各为 45°。**

这些三角形和它們的角度，都是在学交流电时常会遇到的。

复 習 提 綱

1.知道任何三角形三角之和为 180°。

2.知道三角形的种类和各种三角形三角的大小。

1-5 直角三角形边与角的变化关系

圖 1-8 为一直角三角形，頂角 C 是 90°，頂角 A 和頂角 B 的大小，我們分別用符号 α 与 β 来代表；这就是說頂角 A 是 α°，頂角 B 是 β°；不过表示度的小圈都省去不写。

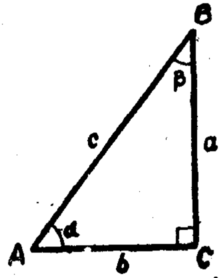

圖 1-8

直角三角形的三边，我們常給以專用名称：对頂角 A 的一边，叫做直角三角形的高边，并以 a 代表它的長短；对頂角 B 的一边，叫做直角三角形的底边，并以 b 代表它的長短；对頂角 C(即直角)的一边，叫做直角三角形的斜边，并以 C 代表它的長短。

圖 1-9 (a) 为三个直角三角形，它們的斜边 c 是一样的（即一

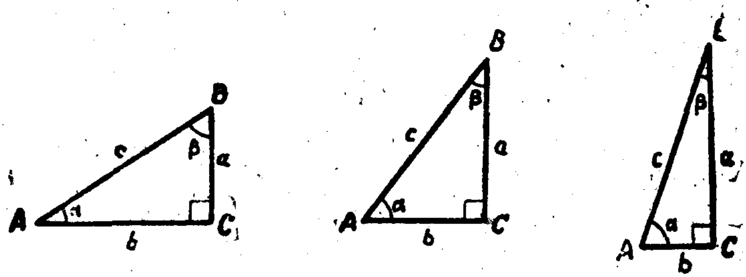

圖 1-9(a)

样長短）。比較这三个直角三角形，我們可以很清楚的看出，如斜边的長度不变而高边 a 增長时，底边 b 就縮短，α 增大，β 減小。以上的情况，我們也可以反过来講，就是当高边 a 減短时，底边 b

就要增長，α 減小，β 增大。

不过，如果直角三角形的高边 a 与底边 b，同时增大多少倍，或者縮短多少倍，像圖1-9(b)所示，則斜边 c 也会跟着增大相同倍数或

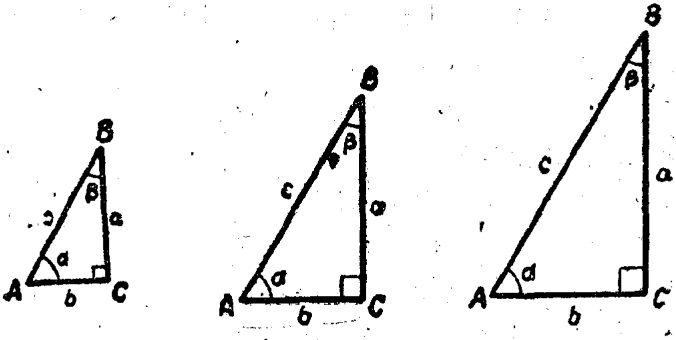

圖 1-9(b)

者縮短相同倍数，但是 α 和 β 完全不变。这时三个直角三角形的大小变了，但形狀完全未变，还是相似的。

根据以上的研究，我們得出这样的結論：**就是直角三角形的形狀改变了，銳角 α 和 β 也要改变；反过来，α 和 β 改变了，三角形的形狀也要改变。**

三角形形狀的改变，是由于三边的長短关系改变了；有的大了，有的小了，或者大的不一样，或者小的不一样；因此直角三角形的銳角 α 和 β，直接决定于三边的長短关系。**三边的長短关系一定，α 和 β 的大小就一定；反过来，α 和 β 的大小一定，三边長短的关系也一定了。**

1-6 直角三角形三边的关系

任何一个直角三角形，它們的三边之間，有以下的关系：

$$a^2+b^2=c^2，或 \sqrt{a^2+b^2}=c \qquad (1\text{-}1)$$

就是說，a 边的平方（即 $a\times a$ 或 a^2），加上 b 边的平方（即 $b\times b$ 或 b^2），等于 c 边的平方（即 $c\times c$ 或 c^2）。或者說，c 等于 a^2 加 b^2 再开平方。

我們不必化时間去証明这个公式，讀者从圖 1-10 就可以看得很清楚，不过以后要会使用这个公式。

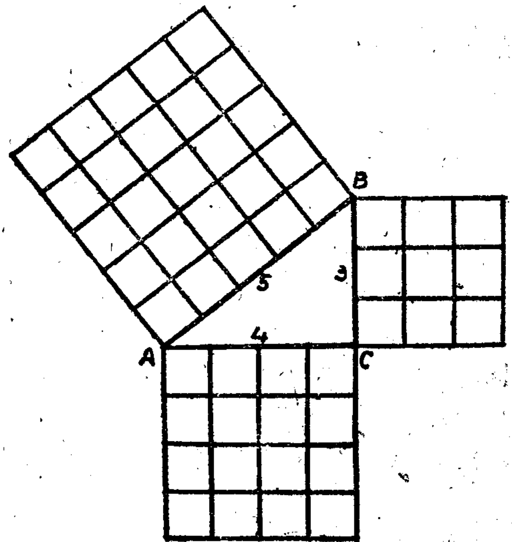

圖 1-10

圖 1-10 的直角三角形，高边 a 为 3，底边 b 为 4，斜边 c 一定为 5；因为

$$3^2+4^2=9+16$$
$$=25=5^2$$

在 a、b 与 c 三边中，只要知道任何兩边，就可以求出第三边。

例如知道 $a=2$，$c=3.2$，求 b？

因为
$$b^2=c^2-a^2$$
$$=3.2^2-2^2=10.24-4=6.24$$

所以
$$b=\sqrt{6.24}=2.5$$

另外，从圖 1-10 我們还知道，**任何直角三角形的斜边 c，总大于高边 a，也大于底边 b。**

1-7 正弦、余弦、正切和余切

在 1-5 节中已經指出，直角三角形的边和角的变化关系。我們

已經知道，角 α 或 β 的大小，不是單独由一边的变化来决定的，还要看其他边是怎样变化的；因为只要有一边發生变化，其余的兩边中至少有一边也要跟着变化。

在直角三角形中，高边 a 与斜边 c 的比值 $\frac{a}{c}$ （就是 a 被 c 来除所得的商），我們用符号 $\sin\alpha$ 来代表；即

$$\sin\alpha=\frac{a}{c} \tag{1-2}$$

1. 如 c 不变而 a 增大时，比值 $\sin\alpha$ 增大，角 α 也增大；反之，如 c 不变而 a 减小时，比值 $\sin\alpha$ 減小，α 也減小。

2. 如 a 不变而 c 减小时，比值 $\sin\alpha$ 增大，α 也增大；反之，如 a 不变而 c 增大时，比值 $\sin\alpha$ 減小，α 也減小。

3. 如同时 a 增大 c 減小，比值 $\sin\alpha$ 增大，α 也增大；反之，如同时 a 減小 c 增大，比值 $\sin\alpha$ 減小，α 也減小。

4. 如 a 与 c 同时增大或減小，而兩者增大或縮小的倍数一样，比值 $\sin\alpha$ 不变，α 也不变。

5. 如 a 与 c 同时增大，但 a 增加的倍数多，或者 a 与 c 同时減小，而 a 減小的倍数少，比值 $\sin\alpha$ 增大，α 也增大；反过来，如果 a 增加的倍数少，或者 a 減小的倍数多，比值 $\sin\alpha$ 減小，α 也減小。

总之：当比值 $\sin\alpha$ 增大时，α 也增大；比值 $\sin\alpha$ 減小时，α 也減小。反过来，当 α 增大时，$\sin\alpha$ 也增大；α 減小时，$\sin\alpha$ 也減小。

必須注意：不要把 $\sin\alpha$ 誤当作等于 α，α 是頂角 A 的角度，而 $\sin\alpha$ 是高斜兩边 a 与 c 的比值。

同样道理，在直角三角形中，底边 b 与斜边 c 的比值 $\frac{b}{c}$ （就是 b 被 c 来除所得的商），我們用符号 $\cos\alpha$ 来代表，即

$$\cos\alpha=\frac{b}{c} \tag{1-3}$$

关于比值 $\cos\alpha$ 与角度 α 随 b 与 c 而变的討論，和上面一样，

只要把上面的“a”换成“b”，同时把“$\sin\alpha$ 增大，α 增大”换成“$\cos\alpha$ 增大，α 减小”；把“$\sin\alpha$ 减小，α 减小”换成“$\cos\alpha$ 减小，α 增大”就行了。

换句話說，当比値 $\cos\alpha$ 增大时，α 反減小；比値 $\cos\alpha$ 減小时，α 反增大。反过来，当 α 增大时，$\cos\alpha$ 反減小；α 減小时，$\cos\alpha$ 反增大。

同样道理，在直角三角形中，高边 a 与底边 b 的比值 $\frac{a}{b}$，我們用符号 $\tan\alpha$ 来代表；即

$$\tan\alpha=\frac{a}{b} \tag{1-4}$$

关于比値 $\tan\alpha$ 与角度 α 随 a 与 b 而变的討論，和討論式(1-2)一样，只要把“c”换成“b”，“$\sin\alpha$”换成“$\tan\alpha$”即行，其余完全不变。

换句話說，当比値 $\tan\alpha$ 增大时，α 也增大；比値 $\tan\alpha$ 減小时，α 也減小。反过来，当 α 增大时，$\tan\alpha$ 也增大；α 減小时，$\tan\alpha$ 也減小。

以式(1-3)的左边去除式(1-2)的左边，应該和式(1-3)的右边去除式(1-2)的右边相等。簡單的說，以式(1-3)去除式(1-2)，我們有

$$\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}=\frac{\frac{a}{c}}{\frac{b}{c}}=\frac{a}{\cancel{c}}\times\frac{\cancel{c}}{b}=\frac{a}{b}$$

把得到的上式和式(1-4)比較，知道

$$\tan\alpha=\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} \tag{1-5}$$

式(1-5)的倒数我們用 $\cot\alpha$ 来代表，就是

$$\cot \alpha = \frac{1}{\tan \alpha} = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = \frac{b}{a} \tag{1-6}$$

以上的 $\sin \alpha$，$\cos \alpha$，$\tan \alpha$ 与 $\cot\alpha$ 的值，都是随 α 改变而改变的，在数学上称它們为三角函数，并且每一个函数給它一个專門名称：

$\sin \alpha$ 叫做角 α 的正弦，

$\cos \alpha$ 叫做角 α 的余弦，

$\tan \alpha$ 叫做角 α 的正切，

$\cot \alpha$ 叫做角 α 的余切。

如已知 a 与 c 的比值 $\sin \alpha$ 和斜边 c，应用式(1-2)，我們可以求出高边 a；因为

$$a = c \times \sin \alpha = c \sin \alpha \text{①} \tag{1-7}$$

同样，如果已知正弦 $\sin \alpha$ 与高边 a，应用式(1-2)；我們也可以求出斜边 c；因为

$$c = \frac{a}{\sin \alpha} \tag{1-8}$$

如已知 b 与 c 的比值 $\cos \alpha$ 和斜边 c，应用式(1-3)，我們可以求出底边 b；因为

$$b = c \times \cos \alpha = c \cos \alpha \tag{1-9}$$

同样，如果余弦 $\cos \alpha$ 与底边 b 知道了，应用式(1-3)，我們也可以求出斜边 c；因为

$$c = \frac{b}{\cos \alpha} \tag{1-10}$$

根据 1-5 节中所得的結論我們知道，两边的比値 $\sin \alpha$ 或 $\cos \alpha$ 或 $\tan \alpha$ 一定了，角度 α 也一定不变。所以只要知道任何一个比值

---

① 習慣上"×"号常常省去不用。

的大小，角度 α 的大小就可以求出。

数学家們做出一个**三角函数表**，只要知道角度 α，就可以从表上查出它的正弦、余弦、正切和余切的值（即大小）；反过来，知道了 α 的正弦、余弦、正切或是余切的值，也可以从表上查出角度 α 的大小。在本分册的末尾附上了一个極簡單的三角函数表，以备查用。現在来說明它的用法。

表中共排着五縱列，从最左数起依次是 α、$\sin\alpha$、$\cos\alpha$、$\tan\alpha$ 与 $\cot\alpha$。

例如知道了 $\alpha=21^\circ$，从 α 这列中找到 21，然后向右查出 $\sin\alpha=0.358$、$\cos\alpha=0.934$、$\tan\alpha=0.384$ 与 $\cot\alpha=2.605$。

又如知道了 $\cos\alpha=0.087$，从 $\cos\alpha$ 这列中找到 0.087，然后向左查出 $\sin\alpha=0.996$、$\alpha=85^\circ$，向右查出 $\tan\alpha=11.430$、$\cot\alpha=0.087$。

从表中我們看出一个問題，就是 $\sin 30^\circ=\cos 60^\circ$，$30^\circ+60^\circ=90^\circ$；$\sin 57^\circ=\cos 33^\circ$，$57^\circ+33^\circ=90^\circ$；总之 $\sin\alpha=\cos(90^\circ-\alpha)$ 或者 $\cos\alpha=\sin(90^\circ-\alpha)$。如果 $\alpha=77^\circ$，$90^\circ-\alpha$ 就等于 13°；如果 $\alpha=82^\circ$，$90^\circ-\alpha$ 就等于 8°；余类推。

此外，我們还發現 tan 与 cot 之間也有同样关系；即 $\tan\alpha=\cot(90^\circ-\alpha)$，$\cot\alpha=\tan(90^\circ-\alpha)$。

因此如果知道角度 α 要查 $\sin\alpha$ 的值，也等于去查 $\cos(90^\circ-\alpha)$ 的值；反之要查 $\cos\alpha$ 的值，也等于去查 $\sin(90^\circ-\alpha)$ 的值。对于 tan 与 cot 也是一样。

如果 α 的值不等于整数，即帶有小数的度数，本書附表即不够应用，应另从較詳細的三角函数表上去查。

下面的附表 1—1 是交流电中最常用的几种角度的正弦、余弦、正切和余切的三角函数表，这是**讀者必須記住**的。

表中“∞”是代表值为無限大的符号，就是函数的值是無穷大。